

Краткий отчет о выполнении проекта № 14-22-00118
«Генерация и нелинейное преобразование излучения в схеме волоконного ВКР- лазера с
прямой диодной накачкой большой мощности» в 2017-2018гг.

В 2017 году проведена оптимизация полностью волоконной схемы ВКР-лазера с прямой накачкой градиентного многомодового световода мощными многомодовыми лазерными диодами (ЛД) в части увеличения коэффициента заведения излучения диодной накачки, эффективности селекции основной поперечной моды волоконными брэгговскими решётками (ВБР) и возвращения в резонатор ВКР-лазера непреобразованного излучения накачки. В частности, коэффициент заведения излучения трех ЛД увеличен до 75% за счёт использования специально изготовленного многомодового объединителя накачки и многомодового градиентного световода увеличенного диаметра (100 мкм). В результате дифференциальная эффективность ВКР-преобразования при длине световода 1,1 км достигла 84%, а максимальная выходная мощность лазера на 954 нм превысила 62 Вт на пороге генерации второй стоксовой компоненты. Продемонстрирована возможность увеличения эффективности селекции основной поперечной моды за счёт оптимизации поперечного размера резонаторных ВБР, формируемых при разной фокусировке фемтосекундного излучения в центральной области многомодовой сердцевины градиентного световода, за счёт чего качество пучка ВКР-лазера было улучшено до 2,2-2,6 при сравнимом пороге, мощности и эффективности генерации на 954 нм. Разработаны и реализованы внрезонаторные многомодовые ВБР, отражающие назад непреобразованное излучение накачки: установка на выходе лазера массива многомодовых высокоотражающих ВБР позволила уменьшить проходящую мощность накачки на 30-40% и соответственно уменьшить пороговую мощность с 120 до ~90 Вт. При этом мощность генерации (вдали от порога) также увеличивается на 20-40% при небольшом снижении дифференциальной эффективности.

Разработана технология записи волоконных длиннопериодных решёток (ДПР) и наклонных брэгговских решёток методом поперечного сканирования фс импульсами сердцевины градиентного световода, исследованы их характеристики и влияние на порог генерации 2-го стоксова порядка в схеме волоконного ВКР-лазера с прямой диодной накачкой. Изготовлен образец наклонной ВБР в градиентном световоде (сердцевина 100 мкм) с амплитудой оболочечного резонанса -12 дБ, что позволило получить желаемый эффект увеличения порога второй стоксовой компоненты на 996 нм (примерно на 10%).

Получена генерация на разных длинах волн в схеме полностью волоконного (с сердцевинной 100 мкм) ВКР-лазера с прямой диодной накачкой, в том числе каскадная генерация 1 и 2 порядка. В частности, реализована генерация ВКР-лазера с накачкой на 915 нм и перестройкой вблизи максимума усиления 1-го стоксова порядка в диапазоне 950-958 нм с выходной мощностью 55-65 Вт, а в ВКР-лазере с ВБР резонатором на 950 нм получена эффективная каскадная генерация 2-го стоксова порядка на 990 и 978 нм. Мощность генерации на 978 нм составила около 15 Вт, а параметр качества пучка $M2=1,7-2$, что заметно лучше, чем у первой стоксовой компоненты. Продемонстрирована возможность генерации второй гармоники (ГВГ) разработанного ВКР-лазера с прямой диодной накачкой на разных длинах волн в кристаллах PPLN с выходным излучением в синем диапазоне (477 и ~489 нм).

Разработана технология записи случайных брэгговских решёток и исследовано их влияние на ВКР генерацию на примере одномодового световода, проведено сравнение со случайной обратной связью на рэлеевском рассеянии. В отличие от случайного лазера на рэлеевском рассеянии, такой вариант ВКР-лазера позволяет получать линейно-поляризованную одночастотную генерацию в относительно коротком световоде. Также были исследованы новые схемы селекции продольных мод на основе волоконного отражательного интерферометра (ВОИ) с тонкой металлической пленкой. В волоконном лазере с полупроводниковым оптическим усилителем и ВОИ продемонстрирована одночастотная линейно-поляризованная генерация мощностью ~1 мВт с шириной линии 217 кГц. Использование тонкой металлической пленки затрудняет его применение в мощных волоконных лазерах с накачкой многомодовыми лазерными диодами. Для преодоления данного недостатка была предложена и впервые реализована схема

полностью дифракционного варианта ВОИ на основе диэлектрического рассеивателя, что открывает перспективы для применения ВОИ для селекции мод в мощных волоконных лазерах.

В 2018 году разработаны основы технологии записи решёток со случайной 1Д-3Д (как в продольном, так и поперечных направлениях) структурой и изучено их влияние на спектр, модовый состав и пространственно-временную динамику волоконного ВКР-лазера. В частности, оптимизирована конфигурация ВКР-лазера на основе массива слабоотражающих ВБР со случайной фазой и амплитудой: пороговая мощность накачки составила менее 1 Вт, при выходной мощности на уровне десятков милливатт наблюдается одночастотная генерация с шириной <50 кГц, максимальная мощность достигает 6 Вт при ширине линии <80 пм. Исследованы свойства ВБР, записанных фс лазером со смещением по продольной и поперечной координате одновременно на модельном объекте (2-сердцевинном световоде с сильной связью сердцевин): при продольном расстоянии между ВБР много меньше длины биений, решётки образуют аналог интерферометра Майкельсона, что приводит к модуляции спектрального контура отражения. Это позволило получить многоволновую ВКР-генерацию с шириной отдельного пика сравнимой с величиной аппаратной функции анализатора (20 пм) в припороговом режиме, а добавление на выход волокна третьей решётки позволяет селективировать один узкий пик (<50 пм) при уровне выходной мощности несколько Ватт.

Получена генерация лазерных пучков с разным профилем интенсивности за счёт формирования методом фемтосекундной записи ВБР со специальной поперечной (2Д) структурой в сердцевине многомодового градиентного световода: изготовлены фс-ВБР для оптимальной селекции как основной (LP01), так и следующей поперечной моды (LP11) и применены в качестве выходных отражателей резонатора ВКР-лазера на основе градиентного световода с прямой диодной накачкой, в котором продемонстрирована преимущественная генерация соответствующей моды. В лазере с преимущественной генерацией основной моды (LP01) обнаружено, что примесь высших мод и режим генерации существенным образом зависят от сдвига длины волны отражения ВБР относительно спектрального максимума ВКР-усиления. В 100-мкм градиентном ВКР-лазере с диодной накачкой на 915 нм генерация на коротковолновом крыле контура усиления (950 нм) стабильна практически во всем диапазоне мощностей и имеет лучшее качество пучка ($M2=2-2.2$), тогда как генерация на длинноволновом крыле (958 нм) нестабильна при мощности <45 Вт и имеет худшее качество пучка ($M2=3-3.5$) поскольку здесь моды высшего порядка имеют больший коэффициент усиления по отношению к основной поперечной моде.

Реализованы новые схемы импульсной генерации многомодового волоконного ВКР-лазера с диодной накачкой и изучены различные режимы распространения и нелинейного преобразования импульсов в градиентных световодах и пассивных резонаторах. В частности, с помощью акустооптического модулятора получен режим модуляции добротности ВКР-лазера на основе многомодового градиентного световода с диаметром сердцевины 62.5 мкм с диодной накачкой на 976 нм: импульсы на 1020 нм с энергией до 20 мкДж содержат кроме основного импульса длительностью ~ 10 мкс затухающие уширенные сателлиты с периодом 37 мкс (соответствующим времени обхода резонатора) из-за частичного пропускания мод высшего порядка закрытым модулятором. Получен и исследован режим синхронизации мод такого ВКР-лазера: на частоте обхода (27 кГц) наблюдается комплекс из нескольких коротких импульсов (~ 2 нс), количество которых растёт с ростом мощности накачки, при этом энергия каждого импульса (~ 2 мкДж) ограничена порогом ВКР преобразования во вторую стоксову компоненту (1065 нм). Структура спектра и измеренный параметр качества ($M2=3-4$) свидетельствует о значительной примеси нескольких поперечных мод, но генерируемый пучок имеет стабильные характеристики, что свидетельствует о формировании в многомодовом градиентном световоде устойчивых пространственно-временных структур с участием керровской нелинейности, которая существенна при достигнутой пиковой мощности (~ 1 кВт);

Проведена оптимизация и получены стабильные режимы непрерывной генерации полностью волоконного ВКР-лазера с прямой диодной накачкой на 915 и 940 нм в различных схемах ВБР резонатора (обычного и каскадного) с генерацией пучка улучшенного качества на

разных длинах волн в диапазоне 950-1000 нм и генерацией второй гармоники на 477 и 488 нм в нелинейных кристаллах. В частности, в ВКР-лазере с накачкой на 915 нм реализована, исследована и оптимизирована каскадная генерация второй стоксовой компоненты на разных длинах волн (976 и 996 нм). Показано, что использование для второго порядка полукрытого резонатора с одной плотной ВБР и случайной распределённой обратной связью (СРОС) на рэлеевском рассеянии вместо линейного резонатора из двух ВБР позволяет значительно увеличить мощность, качество и эффективность генерации, а также обеспечить перестройку длины волны выходного излучения без существенной потери мощности - в эксперименте продемонстрирован диапазон 978-996 нм. Максимальная дифференциальная эффективность преобразования накачки во вторую стоксову компоненту достигает 70% (на 996 нм), а выходная мощность - 27 Вт при качестве пучка $M^2 \sim 1.6$. В ВКР-лазере с накачкой на ~ 940 нм реализована мощная генерация на 976 нм в первом порядке с параметрами, незначительно превышающими полученные ранее параметры генерации на 954 нм (с диодной накачкой на 915 нм) в той же схеме с 100-мкм градиентным световодом длиной 1.1 км, при этом возможно увеличение мощности до 100 Вт и более, однако для длительной работы в этом режиме необходимо устранить технические проблемы при выводе такой мощности. Решение этих проблем в схеме с тандемной (каскадной) накачкой многомодовыми лазерными диодами на 976 нм и многомодовыми иттербиевыми волоконными лазерами на 1030 нм позволило увеличить мощность ВКР-генерации в градиентном световоде с ВБР резонатором на 1080 нм до 135 Вт при качестве пучка $M^2 = 2.5$. Кроме того, реализована генерация второй гармоники в нелинейном кристалле MgO:PPLN мощностью около 1 Вт на 477 нм при мощности ВКР-лазера с диодной накачкой около 25 Вт неполяризованного излучения на 954 нм, при этом мощность ГВГ растёт квадратично с коэффициентом 0,0016 1/Вт. Сравнимые результаты получены для ГВГ на 488 нм, при этом ВКР-генерация второго порядка даёт большую эффективность ГВГ благодаря лучшему качеству пучка в этом случае.

На основе проведенных исследований были созданы лабораторные макеты лазеров для экспериментов по их практическому применению в разных областях. А именно, полностью волоконный мощный ВКР- лазер с прямой диодной накачкой и генерацией в области 976 нм с высоким качеством пучка, что позволяет применять его как яркий источник накачки волоконных и твердотельных лазеров; полностью волоконный мощный ВКР- лазер с прямой диодной накачкой и генерацией в области 954 нм и/или 996 нм с высоким качеством пучка, что также позволяет применять его как яркий источник накачки волоконных и твердотельных лазеров; генератор второй гармоники на основе нелинейного кристалла к вышеупомянутым лазерам, позволяющий генерировать синее излучение мощностью до 1 Вт на 477 нм или 488 нм, как замена газоразрядным аргоновым лазерам в широкой области их применений, что позволяет решать и новые задачи визуализации в биомедицинской диагностике и в лазерных дисплеях. А также источник мощных (~ 2 мкДж) коротких (~ 2 нс) импульсов на ~ 1 мкм (с возможностью ГВГ на $\sim 0,5$ мкм) для синхронной накачки других импульсных твердотельных и волоконных лазеров (в т.ч. фемтосекундных) и решения задач спектроскопии с временным разрешением, биомедицинской диагностики и микрообработки материалов.

Таким образом, все запланированные на данном этапе работы выполнены, при этом обнаружены и исследованы новые эффекты и режимы генерации непрерывного волоконного ВКР- лазера с прямой диодной накачкой. Полученные за год результаты представлены в 38 докладах (из них 8 приглашенных, 25 устных и 5 стендовых) на ведущих международных конференциях в области оптики, фотоники и лазерной физики, и опубликованы в 2 монографиях и 44 статьях, из них 26 - в высокорейтинговых журналах из баз Web of Science и Scopus, а 18 - РИНЦ. Результаты проекта отражены в Интернете на странице лаборатории волоконной оптики ИАиЭ: <http://www.iae.nsk.su/index.php/ru/laboratory-sites/117>

Публикации по проекту

1. S.A.Babin, E.V.Podivilov, D.A. Shapiro. Fiber lasers with distributed feedback. *Chapter in book «Compendium on Electromagnetic Analysis - V5 Optics and Photonics II: Applications»*, pp.19-68, ed. V.Markel, World Scientific, in print.
2. I.S. Chekhovskoy, O. S. Sidelnikov, A. A. Reduyk, A. M. Rubenchik, O. V.Shtyrina, M. P. Fedoruk, S. K.Turitsyn, E. A. Zlobina, S. I. Kablukov, S. A. Babin, K. Krupa, V. Couderc, A. Tonello, A. Barth´el´emy, G.Millot, and S. Wabnitz, “ Nonlinear Waves in Multimode Fibers” pp.1-55, *chapter in book “Handbook of Optical Fibers”*, ed. by Gang-Ding Peng, Springer, Singapore, 2018.
3. S. A. Babin. High-brightness all-fiber Raman lasers directly pumped by multimode laser diodes. *High Power Laser Sci. and Eng.* (in print).
4. E. A. Evmenova, A. G. Kuznetsov, I. N. Nemov, A. A. Wolf, A. V. Dostovalov, S. I. Kablukov, S. A. Babin. Cascaded random lasing in a multimode LD-pumped graded-index fiber. *Sci. Rep.* **8** (1), 17495 (2018).
5. М.И. Скворцов, С.Р. Абдуллина, А.А. Вольф, И.А. Лобач, А.В. Достовалов, С.А. Бабин. Узкополосный волоконный ВКР-лазер на основе двухсердцевинного световода с ВБР, записанными фемтосекундным излучением. *Квант. электроника* **48** (12) 1089-1094 (2018).
6. А.А. Вольф, А.В. Достовалов, С. Вабниц, С.А. Бабин Фемтосекундная запись структур показателя преломления в многомодовых и многосердцевинных волоконных световодах. *Квант. электроника* **48** (12) 1128-1131 (2018).
7. Скворцов М.И., Абдуллина С.Р., Власов А.А. Оптимизация волоконного ВКР-лазера на основе массива волоконных брэгговских решеток. *Прикл. фотоника* **5** (3) 257-264 (2018).
8. В.С. Терентьев, А.А. Власов, С.Р. Абдуллина, В.А. Симонов, М.И. Скворцов, С.А. Бабин. Узкополосный волоконный отражатель на основе отражательного нтерферометра с волоконной брэгговской решеткой. *Квант. электроника* **48** (8) 728 – 732 (2018).
9. E. A. Evmenova, S. I. Kablukov, I. N. Nemov, A. A. Wolf, A. V. Dostovalov, V. A. Tyrtysnyy, D. V. Myasnikov, and S. A. Babin. High-efficiency LD-pumped all-fiber Raman laser based on a 100- μm core graded-index fiber. *Laser Phys. Lett.* **15**, 095101 (2018).
10. Y. Glick, Y. Shamir, A. A. Wolf, A. V. Dostovalov, S. A. Babin, S. Pearl Highly efficient all-fiber continuous-wave Raman graded-index fiber laser pumped by a fiber laser. *Opt. Lett.* **43** (5) 1027-1030 (2018).
11. A. E. Budarnykh, I. A. Lobach, E. A. Zlobina, V. V. Velmiskin, S. I. Kablukov, S. L. Semjonov, S. A. Babin. Raman fiber laser with random distributed feedback based on a twin-core fiber. *Opt. Lett.* **43**(3) 567-570 (2018).
12. S. A. Babin, E. A. Zlobina, S. I. Kablukov, A. A. Wolf, I. N. Nemov, A. V. Dostovalov, V. A. Tyrtysnyy, and D. V. Myasnikov. Diode-pumped all-fiber Raman lasers with high beam quality. *Proc. SPIE*, vol. 10512: Fiber Lasers XV: Technology and Systems, Editors: Ingmar Hartl, Adrian L. Carter, article 105121V, 6pp. (2018).
13. I. A. Lobach, S. I. Kablukov, S. A. Babin. Cascaded Raman lasing in a PM phosphosilicate fiber with random distributed feedback , *Proc. SPIE*, vol.10516: Nonlinear Frequency Generation and Conversion: Materials and Devices XVII, Editors: K.L.Vodopyanov, K.L.Schepler, article 105160C, 7pp. (2018).
14. A. Wolf, M. Kotyushev, A. Dostovalov, and S. Babin. Femtosecond core-scanning inscription of tilted fiber Bragg gratings. *Proc. SPIE*, vol.10681L: Micro-Structured and Specialty Optical Fibres V, K. Kalli, A. Mendez, C.-A. Bungeart, eds., 1068112 (09 may 2018).
15. E. A. Zlobina, S. I. Kablukov, A. A. Wolf, I. N. Nemov, A. V. Dostovalov, and S. A. Babin. Transverse mode selection in diode-pumped multimode fiber Raman lasers. *Proc. SPIE*, vol.10683: Fiber Lasers and Glass Photonics: Materials through Applications, S. Taccheo, J. I. Mackenzie, and M. Ferrari, eds., art. 1068334 (2018).
16. S. A. Babin. New schemes and regimes of CW and pulsed Raman fiber lasers. *Proc. SPIE*, vol.10637: Laser Technology for Defense and Security XIV (DCS 2018), ed. by M. Dubinskiy, T. C. Newell, art. 1063706 (04 May 2018).

17. A.V. Dostovalov, A.A. Wolf, E.A. Zlobina, M.I. Skvortsov, S.I. Kablukov, S.A. Babin. Advanced features of femtosecond pulse inscribed fiber Bragg gratings for fiber lasers. The VIII International Symposium "MODERN PROBLEMS OF LASER PHYSICS" (*MPLP -2018*, Novosibirsk, Russia, 25 August – 01 September, 2018), Tech. digest, p.63-64.
18. S.A. Babin. Diode-pumped Raman fiber lasers. The VIII International Symposium "MODERN PROBLEMS OF LASER PHYSICS" (*MPLP -2018*, Novosibirsk, Russia, 25 August – 01 September, 2018), Tech. digest, p.68-69.
19. М.И. Скворцов, А.А. Вольф, А.В. Достовалов, А.А. Власов, С.А. Бабин «Волоконный лазер с распределенной обратной связью на основе ВБР с фазовым сдвигом, изготовленной с применением фемтосекундного излучения» // Материалы Российского семинара по волоконным лазерам – 2018 (г. Новосибирск, 3-7 сентября 2018 г.), с. 63-64.
20. С.Р. Абдуллина, М.И. Скворцов, А.А. Вольф, А.В. Достовалов, И.А. Лобач, А.А. Власов, С. Вабниц, С.А. Бабин. Волоконный ВКР-лазер на основе двухсердцевинного световода с ВБР, записанными фемтосекундным излучением // Материалы Российского семинара по волоконным лазерам - 2018, с. 74-75 (г. Новосибирск, 3-7 сентября 2018 г.) с.74-75.
21. Е. А. Евменова, С. И. Каблуков, А. Г. Кузнецов, И. Н. Немов, А. А. Вольф, А. В. Достовалов, С. А. Бабин, "Случайная непрерывная генерация каскадного ВКР-лазера в градиентном световоде с многомодовой диодной накачкой," // Материалы Российского семинара по волоконным лазерам – 2018 (г. Новосибирск, 3-7 сентября 2018 г.), с. 76-77.
22. М. И. Скворцов, С. Р. Абдуллина, А. А. Власов, Е. А. Евменова, И. Д. Ватник, Е. В. Подивиллов, and С. А. Бабин, "Оптимизация волоконного ВКР-лазера на основе массива волоконных брэгговских решеток," // Материалы Российского семинара по волоконным лазерам – 2018 (г. Новосибирск, 3-7 сентября 2018 г.), с. 102-103.
23. А.А. Вольф, А.В. Достовалов, С.Вабниц, С.А. Бабин «Фемтосекундная запись структур показателя преломления в многомодовых и многосердцевинных волоконных световодах» Материалы Российского семинара по волоконным лазерам – 2018 (г. Новосибирск, 3-7 сентября 2018 г.), с. 200-201.
24. Skvortsov M.I., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Vlasov A.A., Babin S.A. Distributed feedback fiber laser based on fiber Bragg grating inscribed by femtosecond point-by-point technique. The proceedings of 2018 International Conference Laser Optics, 2018 (WoS publication).
25. S. A. Babin, E. A. Zlobina, and S. I. Kablukov. Multimode fiber Raman lasers directly pumped by laser diodes. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **24**, 1400310 (2018).
26. M.I. Skvortsov, A.A. Wolf, A.V. Dostovalov, A.A. Vlasov, V.A. Akulov, S.A. Babin. Distributed feedback fiber laser based on fiber Bragg grating inscribed by femtosecond point-by-point technique. *Las. Phys. Lett.* (in print)
27. E. A. Zlobina, S. I. Kablukov, A. A. Wolf, I. N. Nemov, A. V. Dostovalov, V. A. Tyrtysnyy, D. V. Myasnikov, S. A. Babin. Generating high-quality beam in a multimode LD-pumped all-fiber Raman laser. *Opt. Express* **25** (11), 12581-12587 (2017).
28. I. A. Lobach, S. I. Kablukov, and S. A. Babin. Linearly polarized cascaded Raman fiber laser with random distributed feedback operating beyond 1.5 μm . *Opt. Lett.* **42**(18), 3526-3529 (2017).
29. I. A. Lobach, R. V. Drobyshev, A. A. Fotiadi, E. V. Podivilov, S. I. Kablukov, S. A. Babin. Open-cavity fiber laser with distributed feedback based on externally or self- induced dynamic gratings. *Opt. Lett.* **42** (20), 4207-4210 (2017).
30. I. D. Vatik, E. A. Zlobina, S. I. Kablukov, and S. A. Babin. Multi-peak structure of generation spectrum of random distributed feedback fiber Raman lasers. *Opt. Express* **25** (3), 2703-2708 (2017).
31. A. V. Dostovalov, A. A. Wolf, E. A. Zlobina, S. I. Kablukov, S. A. Babin. Femtosecond-pulse inscription of fiber Bragg gratings in multimode graded index fiber. *Proc. SPIE*, vol.: 1009: Laser Applications in Microelectronic and Optoelectronic Manufacturing (LAMOM) XXII, ed. by B. Neuenschwander, C. P. Grigoropoulos, T. Makimura, G. Račiukaitis, paper 100910L, 6 p. (2017).

32. S. A. Babin. Generation of chirped pulses at new wavelengths via Raman and FWM processes in fibers. *Advanced Photonics 2017* (IPR, NOMA, Sensors, Networks, SPPCom, PS), paper IW1A.1, OSA Conf. Papers, 2017 (invited paper, WoS publication).
33. D. S. Kharenko, I. S. Zhdanov, A. E. Bednyakova, E. V. Podivilov, M. P. Fedoruk, A. Apolonski, S. K. Turitsyn, S. A. Babin. All-fiber highly-chirped dissipative soliton generation in the telecom range. *Opt. Lett.* **42** (16), 3221-3224 (2017).
34. В.С. Терентьев, В.А. Симонов. Многолучевой волоконный отражательный интерферометр на основе полностью диэлектрической дифракционной структуры. *Квант. электроника* **47** (10), 971–976 (2017).
35. Я.В. Захаров, А.Г. Кузнецов, Е.В. Подивилов, С.А. Бабин. Расчет и экспериментальная проверка коллиматора с керровской линзой для синхронизации мод волоконного лазера. *Квант. электроника* **47** (10), 882–886 (2017).
36. М.И. Скворцов, С.Р. Абдуллина, А.А. Власов, Е.А. Злобина, И.А. Лобач, В.С. Терентьев и С.А. Бабин. Волоконный ВКР-лазер со случайной распределенной обратной связью на основе массива волоконных брэгговских решеток. *Квант. электроника* **47** (8), 696–700 (2017).
37. Каблуков С.И., Злобина Е.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Немов И.Н., Бабин С.А. Динамика генерации ВКР-лазера на основе многомодового градиентного световода. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 25-26 (2017).
38. Подивилов Е.В., Каблуков С.И., Бабин С.А., Лобач И.А., Дробышев Р.В., Фотиади А.А. Волоконный лазер с самоорганизующейся распределенной обратной связью на динамических решётках. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 37-38 (2017).
39. Е. В. Подивилов, Д.С. Харенко, А. Е. Беднякова, М. П. Федорук, С. А. Бабин. Генерация спектрального комба чирпованных импульсов. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 49-50 (2017).
40. Злобина Е.А., Каблуков С.И., Вольф А.А., Немов И.Н., Достовалов А.В., Тыртышный В.А., Мясников Д.В., Бабин С.А. Полностью волоконный ВКР-лазер на основе градиентного световода с многомодовой диодной накачкой. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 51-52 (2017).
41. Скворцов М.И., Абдуллина С.Р., Власов А.А., Злобина Е.А., Ватник И.Д., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Исследование характеристик волоконного ВКР-лазера на основе массива брэгговских решеток. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 65-66 (2017).
42. Лобач И.А., Скворцов М.И., Каблуков С.И., Бабин С.А. Линейно-поляризованный волоконный ВКР-лазер со случайной распределенной обратной связью на основе фосфосиликатного световода. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 69-70 (2017).
43. А. А. Вольф, А. В. Достовалов, М. Ю. Котюшев, А. В. Парыгин, and С. А. Бабин. Фемтосекундная запись волоконных решеток показателя преломления методом поперечного сканирования сердцевин световода. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 125-127.
44. А. А. Вольф, С. С. Якушин, М. И. Скворцов, А. В. Достовалов, С. А. Бабин. Исследование влияния изгибных деформаций на фемтосекундные поточечные ВБР в многосердцевинном волоконном световоде. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 227-228 (2017).
45. Бударных А.Е., Лобач И.А., Каблуков С.И., Бабин С.А., Вельмискин В.В., Семёнов С.Л. Волоконный ВКР-лазер со случайной распределенной обратной связью на основе двухсердцевинного световода. *Фотон-экспресс*, № 6(142), 299-300 (2017).
46. Р.В. Дробышев, В.С. Терентьев, Ю.А. Тимиртдинов, И.А. Лобач, С.И. Каблуков. Широкополосный иттербиевый волоконный лазер с модуляцией усиления. *Прикладная фотоника* **4**(1) 47-60 (2017).