УДК 544.526.5 *Оригинальная статья*

Сорбционный анализ и фотокаталитическая активность порошка графитоподобного нитрида углерода

К.Д. Буй[1], З.В. Шомахов[2], С.С. Налимова[1], Е.В. Мараева[1], А.А. Наймарк[1], Е.С. Попов[1], А.И. Максимов[1], В.А. Мошников[1]

[1]ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5

[2]ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

360004, Россия, Кабардино-Балкарская республика, Нальчик, ул. Чернышевского, 173

congdoan6997@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2026.18.604

Аннотация: Графитоподобный нитрид углерода ($g–C_3N_4$) рассматривается как перспективный фотокатализатор для эффективного разложения стабильных органических красителей в сточных водах, однако связь его структурно-дисперсных характеристик с фотокаталитической активностью изучена недостаточно. В работе проведена комплексная характеризация порошка $g–C_3N_4$, синтезированного методом термической поликонденсации мочевины при 550°C с последующей обработкой соляной кислотой и ультразвуковым расслоением. Удельная площадь поверхности определена методом Брунауэра-Эммета-Теллера и составила 52 м^2/г. На основе экспериментальных данных сорбции выполнена оценка геометрических параметров частиц в рамках модели нанолистов. Показано, что толщина нанолистов слабо зависит от аспектного отношения и составляет 17 нм, что соответствует примерно 50 атомным слоям при частичном расслоении блоков. Фотокаталитическая активность материала исследована при разложении красителя родамина 6Ж под ультрафиолетовым облучением (395 нм). Процесс деградации подчиняется кинетике псевдопервого порядка. При увеличении массы катализатора с 12 до 26 мг степень разложения красителя за 120 минут возрастает с 23,2 до 67,9%, а константа скорости увеличивается от $2{,}1\cdot10^{-3}$ до $9{,}3\cdot10^{-3}$ мин$^{-1}$ благодаря росту числа доступных активных центров.

Ключевые слова: графитоподобный нитрид углерода, метод Брунауэра-Эммета-Теллера*, удельная поверхность, нанолисты, фотокаталитическое разложение родамина 6Ж.*

Буй Конг Доан – аспирант 4 года обучения кафедры микро- и наноэлектроники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Шомахов Замир Валериевич – к.ф.-м.н., директор института электроники, робототехники и искусственного интеллекта ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Налимова Светлана Сергеевна – к.ф.-м.н., доцент кафедры микро- и наноэлектроники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Мараева Евгения Владимировна – к.ф.-м.н., доцент кафедры микро- и наноэлектроники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Наймарк Алексей Александрович – студент 4 курса кафедры микро- и наноэлектроники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Попов Еремей Сергеевич – студент 4 курса кафедры микро- и наноэлектроники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Максимов Александр Иванович – к.ф.-м.н., доцент кафедры микро- и наноэлектроники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Мошников Вячеслав Алексеевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры микро- и наноэлектроники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

© К.Д. Буй, З.В. Шомахов, С.С. Налимова, Е.В. Мараева, А.А. Наймарк, Е.С. Попов, А.И. Максимов, В.А. Мошников, 2026

Original paper

Sorption analysis and photocatalytic activity of graphitic carbon nitride powder

C.D. Bui[1], Z.V. Shomakhov[2], S.S. Nalimova[1], E.V. Maraeva[1], A.A. Naimark[1], E.S. Popov[1], A.I. Maximov[1], V.A. Moshnikov[1]

[1]*Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint Petersburg, Russia*

[2]*Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia*

DOI: 10.26456/pcascnn/2026.18.604

Abstract: Graphitic carbon nitride ($g–C_3N_4$) is considered a promising metal-free photocatalyst for the efficient degradation of stable organic dyes in wastewater, however, the relationship between its structural-dispersive characteristics and photocatalytic activity remains insufficiently studied. In this work, a comprehensive characterization was performed on $g–C_3N_4$ powder synthesized via thermal polycondensation of urea at 550°C, followed by treatment with hydrochloric acid and ultrasonic exfoliation. The specific surface area, determined by the Brunauer-Emmett-Teller method, was 52 m^2/g. Based on experimental sorption data, geometric parameters of the particles were evaluated within the framework of the nanosheet model. It is shown that the nanosheet thickness depends only weakly on the aspect ratio and is 17 nm, which corresponds to approximately 50 atomic layers under partial exfoliation of blocks. The photocatalytic activity of the material was investigated during the degradation of Rhodamine 6G dye under ultraviolet irradiation (395 nm). The degradation process obeys pseudo-first-order kinetics. As the catalyst loading is increased from 12 to 26 mg, the degradation degree of the dye over 120 minutes rises from 23,2% to 67,9%, and the rate constant increases from $2{,}1\cdot10^{-3}$ to $9{,}3\cdot10^{-3}$ min^{-1} due to the growth in the number of available active sites.

Keywords: graphitic carbon nitride, Brunauer-Emmett-Teller method, specific surface area, nanosheets, photocatalytic degradation of rhodamine 6G.

Cong Doan Bui – 4th year postgraduate student, Department of Micro- and Nanoelectronics, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», ORCID: 0000-0002-9937-9078

Zamir V. Shomakhov – Ph. D., Director of the Institute of Electronics, Robotics and Artificial Intelligence, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, ORCID: 0000-0001-5738-2626

Svetlana S. Nalimova – Ph. D., Associate Professor, Department of Micro- and Nanoelectronics, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», ORCID: 0000-0003-3065-3961

Evgeniya V. Maraeva – Ph. D., Associate Professor, Department of Micro- and Nanoelectronics, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», ORCID: 0000-0002-0000-7953

Aleksei A. Naimark – 4th year student, Department of Micro- and Nanoelectronics, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

Eremei S. Popov – 4th year student, Department of Micro- and Nanoelectronics, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

Alexander I. Maximov – Ph. D., Associate Professor, Department of Micro- and Nanoelectronics, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», ORCID: 0000-0003-0195-8870

Vyacheslav A. Moshnikov – Dr. Sc., Professor, Department of Micro- and Nanoelectronics, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», ORCID: 0000-0001-6500-5492

Поступила в редакцию/received: 15.07.2026; после рецензирования/revised: 22.08.2026; принята/accepted: 27.09.2026.

1. Введение

Развитие промышленности вызывает загрязнение воды красителями с ежегодным выбросом около 280 тысяч тонн сточных вод. Катионный краситель родамин 6Ж (Р6Ж) токсичен, стабилен при температуре до 220°C и опасен для здоровья. Традиционные методы очистки (физическая адсорбция, коагуляция/флокуляция и биологическая обработка) малоэффективны. Полупроводниковый фотокатализ представляет перспективное решение для деградации его до безопасных CO_2 и H_2O.

Графитоподобный нитрид углерода $g-C_3N_4$ обладает шириной запрещенной зоны около 2,7 эВ, что обеспечивает поглощение видимого света до 460 нм [1]. Кристаллическая структура этого полимерного полупроводника построена из ковалентно связанных три-s-триазиновых фрагментов. Синтез материала осуществляется путем термической полимеризации при температуре от 500 до 650°C [2]. Однако объемный материал характеризуется крайне низкой удельной площадью поверхности (< 10 м^2/г) [3]. Для преодоления этого ограничения применяется расслоение структуры с получением двумерных нанолистов. Термическое расслоение при температурах от 550 до 600°C позволяет увеличить удельную площадь поверхности до 84,2 м^2/г [4], 121,4 м^2/г [5] или до 212 м^2/г [6]. Жидкофазное ультразвуковое расслоение в растворе изопропанола повышает ее до 384 м^2/г [7]. Химическое расслоение с использованием сильных неорганических кислот (H_2SO_4, HNO_3) обеспечивает достижение площади поверхности около 109,30 м^2/г [8]. Такое существенное увеличение удельной площади поверхности ускоряет кинетику фотокаталитической деградации органических загрязнителей [7].

Исследования деградации родамина Б [9] и метиленового синего [10] занимают 40% работ по фотокатализу на $g-C_3N_4$. При этом публикации по деградации Р6Ж составляют менее 1% [11]. Сильно полярная катионная структура Р6Ж обеспечивает электростатическое взаимодействие и избирательное $\pi-\pi$-связывание с отрицательно заряженной поверхностью слоев $g-C_3N_4$ [12]. Существуют противоречия механизмов снижения фотоактивности при избытке катализатора из-за экранирования или агрегации [13].

В данной работе порошок $2D$ $g-C_3N_4$ синтезирован методом термической поликонденсации. С применением метода тепловой десорбции азота проведен комплексный сорбционный анализ полученного материала и определена его удельная площадь поверхности по модели Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ). Выполнена оценка геометрических параметров частиц в модели нанолистов. Исследована фотокаталитическая активность полученного материала при разложении Р6Ж под ультрафиолетовым облучением и определены кинетические параметры процесса в зависимости от массы катализатора.

2. Методика эксперимента и описание результатов

Для синтеза объемного порошка $g-C_3N_4$ навеску мочевины массой 10 г помещали в закрытый тигель и подвергали термической поликонденсации в муфельной печи при температуре 550°C. Полученный порошок обрабатывали в соляной кислоте, после чего многократно

промывали дистиллированной водой до нейтрального значения pH. Далее полученную суспензию подвергали ультразвуковому диспергированию. Порошок $2D$ $g-C_3N_4$ выделяли центрифугированием и высушивали при 80°C. Далее процесс отжига проводился в 450°C в 30 минут.

Исследование удельной поверхности порошка $g-C_3N_4$ проводилось с использованием прибора Sorbi MS (Россия), оснащенного станцией предварительной подготовки образцов Sorbi Prep. Для оценки удельной поверхности был применён метод БЭТ [14, 15]. В качестве газа адсорбата использовался азот. Прибор был предварительно откалиброван с помощью стандартного образца Al_2O_3 с известной удельной поверхностью (106 м^2/г). Перед измерением порошки подвергли предварительному прогреву в станции пробоподготовки в потоке гелия при температуре 150°C в течение 45 минут.

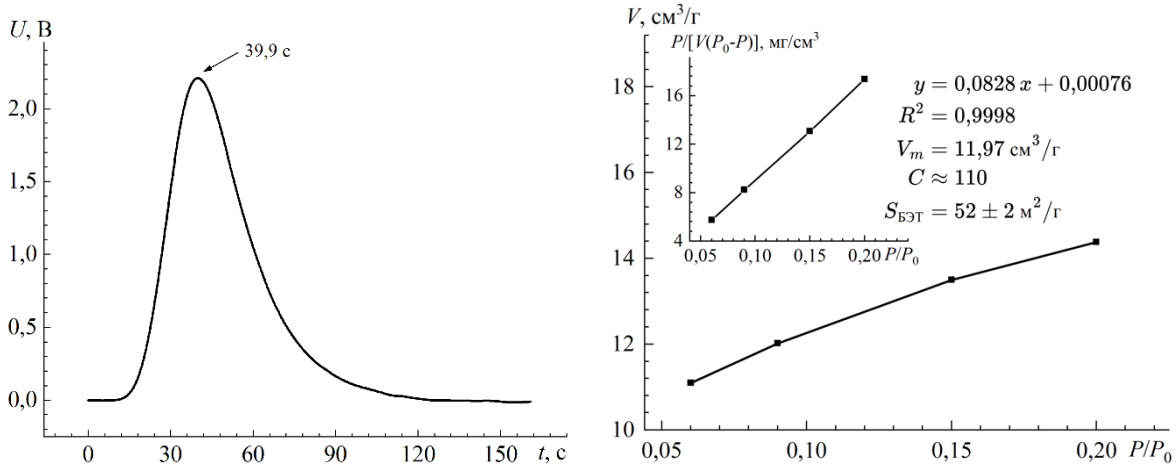
Для исследования фотокаталитической активности $2D$ $g-C_3N_4$ вводили в водный раствор родамина 6Ж с начальной концентрацией 11 мг/л. Суспензию обрабатывали ультразвуком и перемешивали магнитной мешалкой в темноте 30 мин (t = 0 мин), затем облучали ультрафиолетовой лампой (395 нм). Оптическую плотность измеряли каждые 30 мин на спектрофотометре ПЭ-5400УФ.

На рис. 1 представлены результаты сорбционного анализа порошка $g-C_3N_4$, полученные с помощью датчика теплопроводности при относительном парциальном давлении газа адсорбата P/P_0 = 0,06. Кривая десорбции (а) имеет одиночный симметричный пик с максимумом при 39,9 с и полным возвратом к базовой линии. Изотерма (б) отвечает полимолекулярной адсорбции. Линейная аппроксимация (в) даёт коэффициент детерминации R^2 = 0,9998, объём монослоя V_m = 11,97 см^3/г, константу БЭТ $C \approx 110$ и удельную площадь поверхности $S_{БЭТ}$ = 52 ± 2 м^2/г.

По полученному значению удельной поверхности была произведена оценка размеров частиц. Графитоподобный нитрид углерода имеет слоистую структуру, поэтому анализ размеров проводился в приближении формы частиц в виде нанолистов. Под аспектным отношением n в данном случае понимается отношение латерального размера пластины a к её толщине h. Результаты расчёта приведены в Таблице 1.

Число слоёв N рассчитано при межплоскостном расстоянии d_{002} = 0,326 нм, отвечающем рефлексу (002) при $2\theta \approx 27{,}4°$ (справочное значение). Толщина нанолистов слабо зависит от выбранного аспектного отношения и составляет 17 ± 1 нм для 50 слоев. Теоретический предел удельной поверхности изолированного монослоя при $h = d_{002}$ составляет около 2600 м^2/г. Значение 52 м^2/г соответствует лишь частично

расслоённому материалу, в котором нанолисты остаются упакованными в блоки, а азот адсорбируется преимущественно на их внешней поверхности.



а б

Рис. 1. Сорбционный анализ порошка $g-C_3N_4$: (а) сигнал десорбции с датчика теплопроводности; (б) изотерма адсорбции азота при 77 К в области применимости модели БЭТ; на вставке – линеаризация уравнения БЭТ с параметрами регрессии.

Таблица 1. Результаты оценки размеров частиц $g-C_3N_4$ в модели нанолистов при различных значениях аспектного отношения n (плотность $\rho =$ 2,33 г/см^3, $S_{БЭТ}$ = 52 м^2/г).

Аспектное отношение $n = a / h$	10	20	50	100	200
Толщина h, нм	19,8	18,2	17,2	16,8	16,7
Латеральный размер a, нм	198	363	858	1684	3334
Число слоёв $N = h / d_{002}$	61	56	53	52	51

На рис. 2 показаны спектры поглощения раствора Р6Ж. Интенсивность полосы поглощения при 525 нм монотонно уменьшается с ростом времени облучения, что отражает деструкцию хромофора. Наибольшее снижение наблюдается при 26 мг $g-C_3N_4$, подтверждая рост эффективности с увеличением навески. Увеличение навески $g-C_3N_4$ с 12 до 26 мг приводит к нелинейному росту степени деградации Р6Ж за 120 минут с 23,2 до 67,9%.

Кинетика фотодеградации Р6Ж на $g-C_3N_4$ представлена на рис. 3. Концентрация красителя снижалась с увеличением массы фотокатализатора с 0,77 до 0,32 после 120 мин реакции. Линейность зависимостей $\ln(C / C_0)$ от времени подтверждает псевдопервый порядок реакции. Константа скорости возрастает от $2{,}1\cdot10^{-3}$ до $9{,}3\cdot10^{-3}$ мин$^{-1}$, что отражает увеличение числа доступных активных центров на поверхности $g-C_3N_4$.

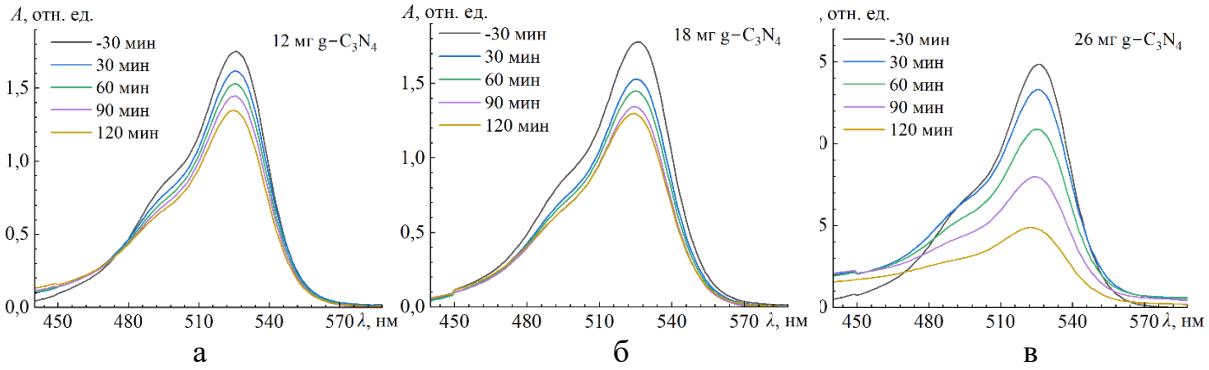


Рис. 2. Спектры поглощения раствора родамина 6Ж при фотокаталитическом разложении на $g-C_3N_4$ в течение 120 мин: (а) 12 мг, (б) 18 мг, (в) 26 мг фотокатализатора.

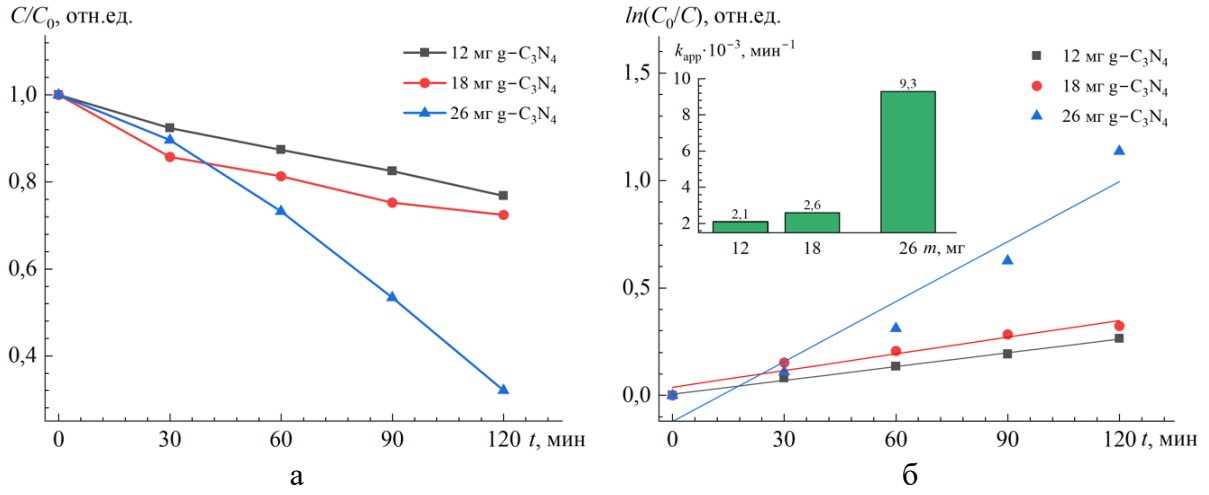


Рис. 3. Кинетика фотодеградации родамина 6Ж на $g-C_3N_4$: (а) зависимость C/C_0 от времени облучения; (б) линеаризация в координатах $\ln(C/C_0)$ от t; на вставке – константы скорости k_{app} для навесок 12, 18 и 26 мг.

3. Заключение

Синтезирован порошок $g-C_3N_4$ в форме двумерных нанолистов. Методом БЭТ определена удельная поверхность порошка $S = 52 \pm 2$ м^2/г. Оценка размеров частиц в модели плоских пластин даёт толщину нанолистов 17 ± 1 нм (около 50 слоёв). Это указывает на частичное расслоение материала, при котором азот имеет доступ преимущественно к внешней поверхности блоков слоёв. Показана фотокаталитическая активность полученного материала при разложении Р6Ж под УФ-облучением 395 нм. Процесс подчиняется кинетике псевдопервого порядка, константа скорости возрастает от $2{,}1\cdot10^{-3}$ до $9{,}3\cdot10^{-3}$ мин$^{-1}$ при увеличении навески с 12 до 26 мг. Дальнейшие исследования будут направлены на повышение степени расслоения и формирование мезопористой структуры для увеличения удельной поверхности, а также на смещение фотоотклика в видимую область путём допирования и создания гетеропереходов [16].

Библиографический список:

1. **Буй, К.Д.** Графитоподобный нитрид углерода: свойства и применение в газовой сенсорике. Обзор / К.Д. Буй, С.С. Налимова, В.Т.А. Нгуен // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2025. – Т. 27. – № 2. – С. 177-189. DOI: 10.17308/kcmf.2025.27/12763.
2. **Bui, C.D.** Alcohol sensing behavior and impedance spectroscopy characterization of g–C_3N_4 nanosheets / C.D. Bui, S. Nalimova, V. Kondratev et al. // Nanomaterials. – 2026. – V. 16. – I. 3. – Art. № 213. – 16 p. DOI: 10.3390/nano16030213.
3. **Wu, M.-R.** High-performance lithium-sulfur battery based on porous N-rich g–C_3N_4 nanotubes via a self-template method / M.-R. Wu, M.-Y. Gao, S.-Y. Zhang et al. // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2021. – V. 28. – I. 10. – P. 1656-1665. DOI: 10.1007/s12613-021-2319-x.
4. **Cao, S.** g–C_3N_4-based photocatalysts for hydrogen generation / S. Cao, J. Yu // The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2014. – V. 5. – I. 12. – P. 2101-2107. DOI: 10.1021/jz500546b.
5. **Beyhaqi, A.** Exfoliated and plicated g–C_3N_4 nanosheets for efficient photocatalytic organic degradation and hydrogen evolution / A. Beyhaqi, S.M.T. Azimi, Z. Chen et al. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – V. 46. – I. 39. – P. 20547-20559. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.03.174.
6. **Stefa, S.** Highly porous thin-layer g–C_3N_4 nanosheets with enhanced adsorption capacity / S. Stefa, M. Griniezaki, M. Dimitropoulos et al. // ACS Applied Nano Materials. – 2023. – V. 6. – I. 3. – P. 1732-1743. DOI: 10.1021/acsanm.2c04632.
7. **Das, S.** Unlocking the potential of thermally exfoliated ultrathin g–C_3N_4 nanosheets: abundant active sites for enhanced solar photocatalysis / S. Das, S. Pramanik, R.G. Nair et al. // New Journal of Chemistry. – 2023. – V. 47. – I. 26. – P. 12418-12430. DOI: 10.1039/D3NJ01946B.
8. **Kong, L.** Porous size dependent g–C_3N_4 for efficient photocatalysts: regulation syntheses and physical mechanism / L. Kong, J. Wang, X. Mu et al. // Materials Today Energy. – 2019. – V. 13. – P. 11-21. DOI: 10.1016/j.mtener.2019.04.011.
9. **Zhang, M.** Thermal polymerisation synthesis of g–C_3N_4 for photocatalytic degradation of Rhodamine B dye under natural sunlight / M. Zhang, M. Xing, B. Dong et al. // Water. – 2023. – V. 15. – I. 16. – Art. № 2903. – 15 p. DOI: 10.3390/w15162903.
10. **Salve, V.** Enhanced photocatalytic activity of SnO_2@g–C_3N_4 heterojunctions for methylene blue and bisphenol-A degradation: effect of interface structure and porous nature / V. Salve, P. Agale, S. Balgude et al. // RSC Advances. – 2025. – V. 15. – I. 20. – P. 15651-15669. DOI: 10.1039/D5RA01762A.
11. **Chandio, A.G.** Synthesis of visible-light-driven heterojunction graphitic carbon nitride (g–C_3N_4/FeO/TiP) material: an efficient photocatalytic agent for degradation of Rhodamine 6G from wastewater / A.G. Chandio, A.W. Memon, N.A. Nahyoon et al. // Diamond and Related Materials. – 2024. – V. 148. – Art. № 111398. – 11 p. DOI: 10.1016/j.diamond.2024.111398.
12. **Chubenko, E.** Optical properties of carbon nitride thin films fabricated by rapid chemical vapor deposition / E. Chubenko, S. Maximov, C.D. Bui et al. // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2025. – V. 195. – Art. № 109617. – 9 p. DOI: 10.1016/j.mssp.2025.109617.
13. **Banu, A.** Synthesis of polymeric 2D-graphitic carbon nitride (g–C_3N_4) nanosheets for sustainable photodegradation of organic pollutants / A. Banu, B. Sinha, S. Sikdar // Heliyon. – 2024. – V. 10. – I. 13. – Art. № e33354. – 15 p. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33354.
14. **Мараева, Е.В.** Тепловая десорбция азота как способ контроля размеров наночастиц в композициях на основе оксида цинка и гидроксиапатита / Е.В. Мараева, В.А. Мошников // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2021. – Вып. 13. – С. 294-299. DOI: 10.26456/pcascnn/2021.13.294.
15. **Maraeva, E.** Sorption analysis of composites based on zinc oxide for catalysis and medical materials science / E. Maraeva, D. Radaykin, A. Bobkov et al. // Chimica Techno Acta. – 2022. – V. 9. – I. 4. – Art. № 20229422. – 6 p. DOI: 10.15826/chimtech.2022.9.4.22.
16. **Абрашова, Е.В.** Наночастицы, наносистемы и их применение. Каталитические наносистемы / Е.В. Абрашова, М.А. Аникина, А.А. Бобков и др.; под ред. В.А. Мошникова, А.И. Максимова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. – 220 с.

References:

1. Bui C.D., Nalimova S.S., Nguyen V.T.A. *Grafitopodobnyi nitrid ugleroda: svoistva i primenenie v gazovoi sensorike. Obzor* [Graphite-like carbon nitride: properties and application in gas sensorics. Review], *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy [Condensed Matter and Interphases]*, 2025, vol. 27, no. 2, pp. 177-189. DOI: 10.17308/kcmf.2025.27/12763. (In Russian).

2. Bui C.D., Nalimova S., Kondratev V. et al. Alcohol sensing behavior and impedance spectroscopy characterization of g–C_3N_4 nanosheets, *Nanomaterials*, 2026, vol. 16, issue 3, art. no. 213, 16 p. DOI: 10.3390/nano16030213.
3. Wu M.-R., Gao M.-Y., Zhang S.-Y. et al. High-performance lithium-sulfur battery based on porous N-rich g–C_3N_4 nanotubes via a self-template method, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2021, vol. 28, issue 10, pp. 1656-1665. DOI: 10.1007/s12613-021-2319-x.
4. Cao S., Yu J. g–C_3N_4-based photocatalysts for hydrogen generation, *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2014, vol. 5, issue 12, pp. 2101-2107. DOI: 10.1021/jz500546b.
5. Beyhaqi A., Azimi S.M.T., Chen Z. et al. Exfoliated and plicated g–C_3N_4 nanosheets for efficient photocatalytic organic degradation and hydrogen evolution, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, vol. 46, issue 39, pp. 20547-20559. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.03.174.
6. Stefa S., Griniezaki M., Dimitropoulos M. et al. Highly porous thin-layer g–C_3N_4 nanosheets with enhanced adsorption capacity, *ACS Applied Nano Materials*, 2023, vol. 6, issue 3, pp. 1732-1743. DOI: 10.1021/acsanm.2c04632.
7. Das S., Pramanik S., Nair R.G. et al. Unlocking the potential of thermally exfoliated ultrathin g–C_3N_4 nanosheets: abundant active sites for enhanced solar photocatalysis, *New Journal of Chemistry*, 2023, vol. 47, issue 26, pp. 12418-12430. DOI: 10.1039/D3NJ01946B.
8. Kong L., Wang J., Mu X. et al. Porous size dependent g–C_3N_4 for efficient photocatalysts: regulation syntheses and physical mechanism, *Materials Today Energy*, 2019, vol. 13, pp. 11-21. DOI: 10.1016/j.mtener.2019.04.011.
9. Zhang M., Xing M., Dong B. et al. Thermal polymerisation synthesis of g–C_3N_4 for photocatalytic degradation of Rhodamine B dye under natural sunlight, *Water*, 2023, vol. 15, issue 16, art. no. 2903, 15 p. DOI: 10.3390/w15162903.
10. Salve V., Agale P., Balgude S. et al. Enhanced photocatalytic activity of SnO_2@g–C_3N_4 heterojunctions for methylene blue and bisphenol-A degradation: effect of interface structure and porous nature, *RSC Advances*, 2025, vol. 15, issue 20, pp. 15651-15669. DOI: 10.1039/D5RA01762A.
11. Chandio A.G., Memon A.W., Nahyoon N.A. et al. Synthesis of visible-light-driven heterojunction graphitic carbon nitride (g–C_3N_4/FeO/TiP) material: an efficient photocatalytic agent for degradation of Rhodamine 6G from wastewater, *Diamond and Related Materials*, 2024, vol. 148, art. no. 111398, 11 p. DOI: 10.1016/j.diamond.2024.111398.
12. Chubenko E., Maximov S., Bui C.D. et al. Optical properties of carbon nitride thin films fabricated by rapid chemical vapor deposition, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2025, vol. 195, art. no. 109617, 9 p. DOI: 10.1016/j.mssp.2025.109617.
13. Banu A., Sinha B., Sikdar S. Synthesis of polymeric 2D-graphitic carbon nitride (g–C_3N_4) nanosheets for sustainable photodegradation of organic pollutants, *Heliyon*, 2024, vol. 10, issue 13, art. no. e33354, 15 p. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33354.
14. Maraeva E.V., Moshnikov V.A. Teplovaya desorbtsiya azota kak sposob kontrolya razmerov nanochastits v kompozitsiyakh na osnove oksida tsinka i gidroksiapatita [Nitrogen thermal desorption of as a control method for determination of the nanoparticle size in compositions based on zinc oxide and hydroxyapatite], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov [Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials]*, 2021, issue 13, pp. 294-299. DOI: 10.26456/pcascnn/2021.13.294.
15. Maraeva E., Radaykin D., Bobkov A. et al. Sorption analysis of composites based on zinc oxide for catalysis and medical materials science, *Chimica Techno Acta*, 2022, vol. 9, issue 4, art. no. 20229422, 6 p. DOI: 10.15826/chimtech.2022.9.4.22.
16. Abrashova E.V., Anikina M.A., Bobkov A.A. et al. *Nanochastitsy, nanosistemy i ikh primenenie. Kataliticheskie nanosistemy* [Nanoparticles, nanosystems and their application. Catalytic nanosystems], ed. by V.A. Moshnikov, A.I. Maksimov. St. Petersburg, SPbETU «LETI» Publ., 2022, 220 p. (In Russian).