

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2026-62-14>

УДК 621.373.826

Марценюк Василь Петрович¹, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-5622-1038>

Багрій-Заяць Оксана Андріївна², к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5533-3561>

Махрук Зоряна Василівна², к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-8909-0644>

Сверстюк Андрій Степанович², д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-8644-0776>

Кучвара Олександра Мирославівна², к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-0248-3224>

Валяшек Володимир Богданович³, к.фіз.-мат.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-8186-6396>

¹Університет Бельсько-Бяла, м. Бельсько-Бяла, Польща

²Тернопільський національний медичний університет ім. І.Я. Горбачевського, м. Тернопіль, Україна

³Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

НАУКОВО-АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕДИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Марценюк В.П., Багрій-Заяць О.А., Махрук З.В., Сверстюк А.С., Кучвара О.М., Валяшек В.Б. Науково-аналітичне дослідження медичного застосування лазерних технологій. У статті представлено науково-аналітичне дослідження сучасних підходів до застосування лазерних технологій у медицині. Проведено комплексний аналіз публікацій у базі даних Scopus за 1980–2025 роки, що дало змогу визначити ключові тенденції розвитку, провідні наукові центри, авторів, країни-лідери та напрями фінансування у сфері лазерної медицини. Встановлено зростання кількості наукових робіт, присвячених лазерним технологіям, що свідчить про підвищення інтересу до їхнього використання у діагностиці, терапії, хірургії, онкології та офтальмології. Проаналізовано показники цитованості, наукові журнали, динаміку фінансування й напрями подальших досліджень. Виявлено, що провідну роль відіграють установи США та Китаю, а головним джерелом фінансування є Національний фонд природничих наук Китаю. Результати підтверджують ефективність лазерних методів у клінічній практиці та перспективність їх подальшої інтеграції в систему персоналізованої медицини. Отримані висновки можуть бути використані для формування стратегій розвитку лазерної медицини, оптимізації досліджень і впровадження інноваційних технологій у медичну практику.

Ключові слова: лазерна медицина, лазерні технології, лазерна хірургія, лазерна терапія, лазерна абляція, оптичні квантові генератори, фототермальна терапія.

Martsenyuk V., Bahrii-Zaiats O., Makhruk Z., Sverstyuk A., Kuchvara O., Valiashek V. Scientific and analytical research of medical application of laser technologies. The article presents a scientific and analytical study of modern approaches to the medical application of laser technologies. A comprehensive analysis of publications in the Scopus database for 1980–2025 was conducted, identifying the main development trends, leading research centers, authors, funding sources, and countries in the field of laser medicine. The results demonstrate a steady growth in scientific publications related to laser technologies, reflecting increasing interest in their use for diagnostics, therapy, surgery, oncology, and ophthalmology. Citation indicators, major journals, and funding dynamics were analyzed to determine key directions for future research. The study revealed that institutions in the United States and China dominate this scientific domain, with the National Natural Science Foundation of China being the main funding organization. The findings confirm the relevance and effectiveness of laser-based medical methods and their growing integration into personalized medicine systems. The study results can serve as a foundation for developing strategies to enhance laser medicine, optimize research collaboration, and promote the implementation of innovative laser technologies in clinical practice.

Keywords: laser medicine, laser technologies, laser surgery, laser therapy, laser ablation, optical quantum generators, photothermal therapy.

Вступ. Сучасна медицина перебуває на етапі активної інтеграції високотехнологічних рішень, серед яких провідне місце посідають лазерні технології. Завдяки своїм унікальним фізичним властивостям лазерне випромінювання застосовується в діагностиці, терапії, хірургії та реабілітації, відкриваючи нові можливості для підвищення ефективності лікування та мінімізації інвазивності процедур. Використання лазерів у медицині охоплює широкий спектр напрямів: від офтальмології, дерматології та стоматології до онкології та кардіохірургії.

Сучасні лазерні технології широко застосовуються у медичній діагностиці та терапії, забезпечуючи високу точність, вибірковість і мінімальну інвазивність. Одним із найважливіших напрямів є раннє виявлення онкологічних захворювань, зокрема карциноми, за допомогою

лазерного флуоресцентного аналізу. Дослідження Джаліашвілі та співавторів [1] показало, що спектральні характеристики флуоресценції дозволяють диференціювати нормальні та патологічні клітини щитоподібної залози, що відкриває перспективи для розробки нових діагностичних методик.

Значний інтерес викликає фотодинамічна терапія (ФДТ), заснована на фотоелектричних ефектах лазерного збудження молекул фотосенсибілізатора, які під дією випромінювання утворюють активні форми кисню – синглетний кисень або гідроксильні радикали, що мають цитотоксичну дію. Нещодавні дослідження свідчать, що фотодинамічна імунотерапія пухлин демонструє значні успіхи у комбінуванні локальної дії лазера з активацією імунної відповіді [2]. При цьому сучасні підходи спрямовані на вдосконалення сенсибілізаторів із вузькими спектральними лініями поглинання та зменшення токсичних ефектів [3].

В офтальмології лазери відіграють ключову роль у фоторефракційній кератопластиці та лікуванні нейротрофічної кератопатії, де ультрафіолетові лазери забезпечують високу точність втручань і знижують ризик пошкодження тканин [4]. В урології перспективним напрямом є використання лазерно-індукованої плазмової спектроскопії (LIPS) для елементного аналізу уролітів. Дослідження Фанга [5] довело, що метод LIPS є ефективним, мінімально інвазивним і придатним для застосування *in vivo* під час лазерної літотрипсії.

ФДТ також успішно застосовується при лікуванні дисплазії нижнього відділу стравоходу (стравоходу Барретта), раку сечового міхура та шкірних захворювань [6]. У галузі офтальмології лазерна фотокоагуляція є одним із найрезультативніших методів лікування ретинопатії. Зокрема, дослідження [7, 8] підтверджують ефективність лазерного впливу при діабетичній ретинопатії та макулярному набряку, де сфокусований промінь сприяє герметизації пошкоджених судин і зниженню ризику втрати зору.

Таким чином, огляд сучасних наукових досліджень свідчить, що лазерні технології займають ключове місце в розвитку неінвазивної діагностики та прецизійної терапії. З огляду на швидкий прогрес у галузях лазерної фізики, біофотоніки та наномедицини, проведення науково-аналітичного дослідження медичного застосування лазерних технологій є надзвичайно актуальним для узагальнення сучасних тенденцій, оцінки ефективності методів і прогнозування подальших напрямів розвитку цієї міждисциплінарної галузі.

Також зростання кількості наукових публікацій у базі Scopus підтверджує стійку тенденцію до інтенсифікації досліджень у цій сфері, що зумовлено як швидким технологічним розвитком, так і потребою у високоточних, безпечних та персоналізованих методах лікування. Науково-аналітичний підхід до вивчення застосувань лазерних технологій у медицині дозволяє виявити ключові тенденції, перспективи розвитку та визначити напрямки для подальших досліджень. Таким чином, актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю системного аналізу сучасного стану та перспектив використання лазерних технологій у медицині з метою формування цілісного уявлення про їхній потенціал у майбутньому розвитку охорони здоров'я.

Мета дослідження. Мета даного дослідження є проведення науково-аналітичного аналізу сучасних підходів та перспектив застосування лазерних технологій в медицині, що включає визначення ключових тенденцій і можливостей для подальшого розвитку, а також аналіз клінічних, технічних та інноваційних аспектів використання лазерів за даними публікаціями у наукометричній базі Scopus.

Теоретична частина. Для оцінювання актуальності наукового-аналітичного дослідження медичного застосування лазерних технологій та сучасні тенденції та перспективи розвитку в дослідженні даного питання в наукометричній базі Scopus було сформульовано аналітичний запит ("laser medicine" OR "LASER") AND ("laser technology" OR "laser surgery" OR "laser eye surgery" OR "laser therapy" OR "laser ablation" OR "optical quantum generators" OR "photothermal therapy" OR "photodynamic therapy" OR "laser applications" OR "medical lasers" OR "laser diagnostics" OR "laser treatment" OR "minimally invasive laser" OR "laser-assisted surgery").

Documents by year

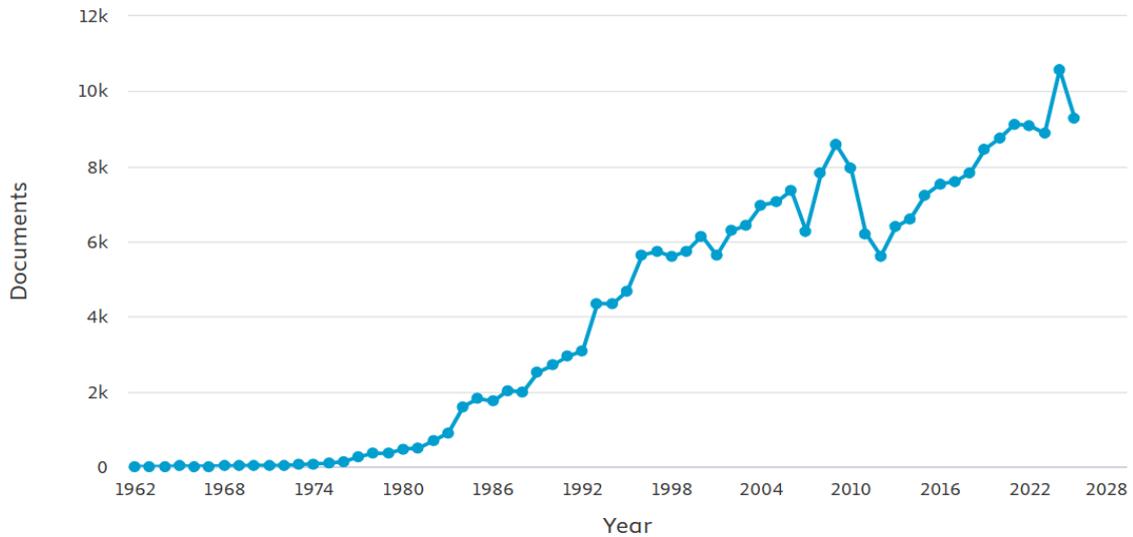


Рис.1 – Результати пошукового запиту в наукометричній базі Scopus (загальна кількість праць за роками)

На наш пошуковий запит по даній темі в наукометричній базі Scopus знайдено 254 755 наукових праць з 1980 по 2025 роки, з них 94 437 з 2015 по 2025 роки, тобто, за останнє десятиріччя. Найбільша кількість літературних джерел по досліджуваній тематиці припадає на останні 3 роки. Зокрема в 2022 році було опубліковано 9076 публікацій, 2023 – 8882, 2024 – 10577, 2025 – 9282, що підтверджує актуальність дослідження даної проблеми та невпинне зростання інтересу до неї в усьому світі (рис. 1). Загалом спостерігаємо зростання кількості публікацій протягом останніх десяти років, що додатково доводить високий науковий інтерес до досліджуваної тематики.

Порівняння цитувань у Cite Score, SIR, і бази даних SNIP показує зростання з 2022 по 2026 р.- найбільший приріст журналу Lasers in Surgery and Medicine та з Lasers in Medical Science, що свідчить про велику важливість у медицині (рис. 2).

Documents per year by source

Compare the document counts for up to 10 sources.

[Compare sources and view CiteScore, SJR, and SNIP data](#)

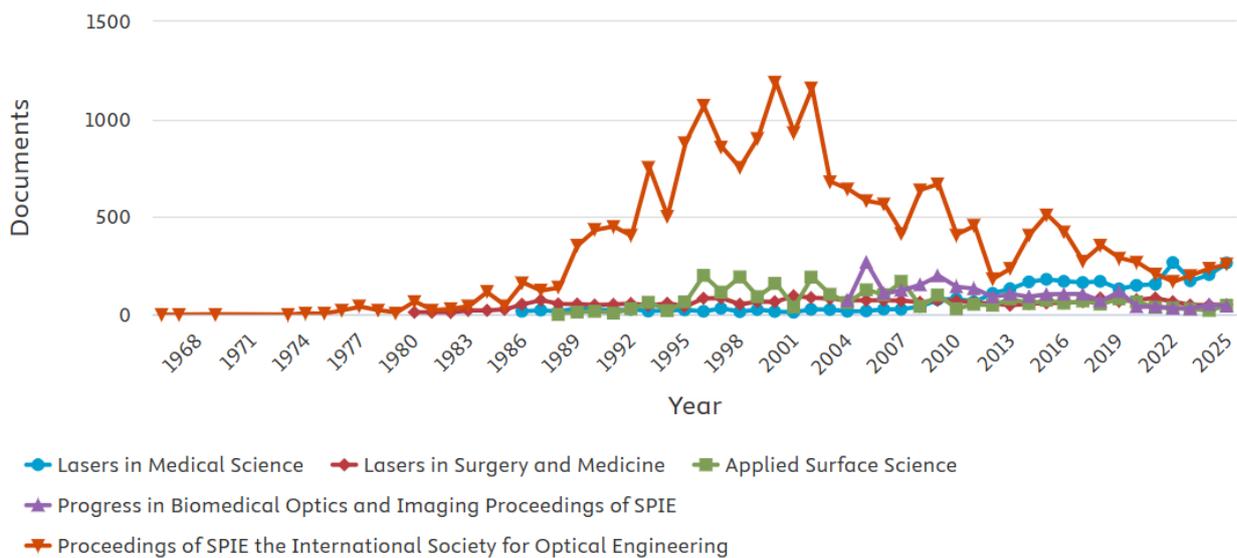


Рис. 2 – Результати пошукового запиту в наукометричній базі Scopus (загальна кількість робіт і порівняння в Cite Score, SIR, SNIP)

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.

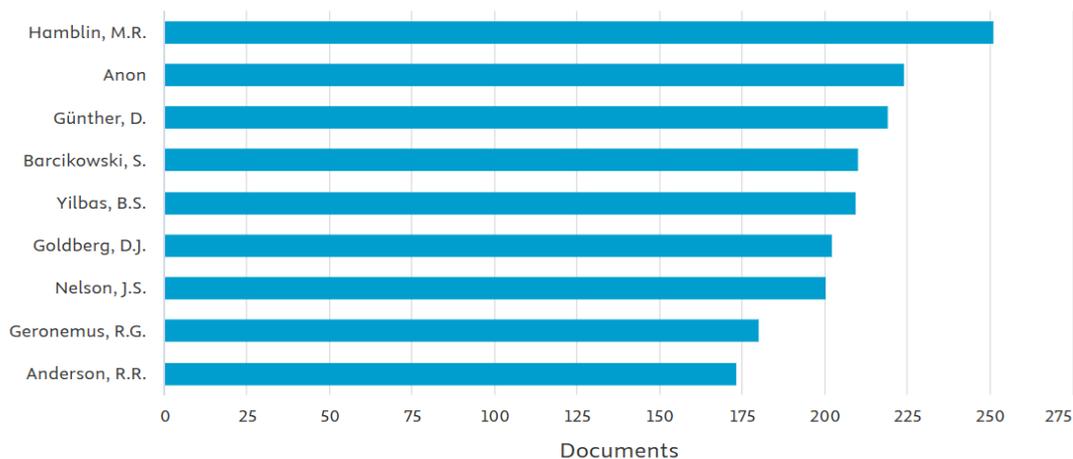


Рис. 3 – Результати пошукового запиту в наукометричній базі Scopus (автори)

Щодо основних авторів, то лідерство у вивченні даної проблеми мають такі науковці, як Hamblin, M.R. – 251, Anon – 224, Gunther, D. – 219. Barcikowski, S. – 210, Yilbas, B.S. – 209 та Goldberg, D.J. – 202 наукових праць (рис. 3).

В розрізі наукових закладів (рис. 4) провідні позиції займають Китайська академія наук – 5511, Міністерство освіти КНР – 3076, Національний центр наукових досліджень (НЦНД) Франції – 2481, Університет Сан-Паулу – 1901, Гарвардська медична школа – 1784, Університет Китайської академії наук – 1603, наукових робіт.

Documents by affiliation

Compare the document counts for up to 15 affiliations.

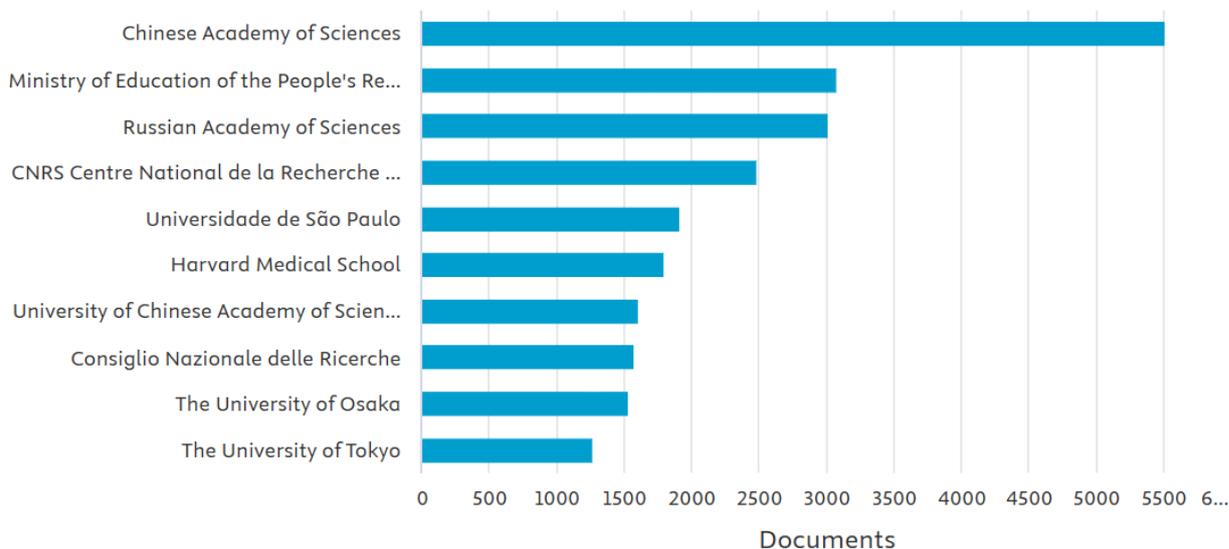


Рис. 4 – Результати пошукового запиту в наукометричній базі Scopus (університети)

В розрізі країн, кількість публікацій найбільше у науковців США – 59614, Китаю – 38667, Німеччини – 22617, Японії – 16938, Велико Британії – 14388, Італії – 11109, Франції – 10608, та Канади – 7073 (рис.5).

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

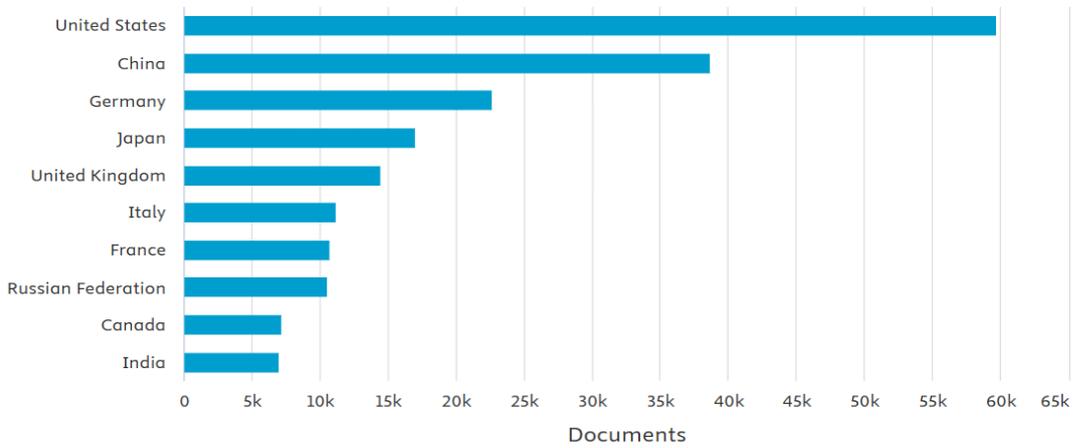


Рис. 5 – Результати пошукового запиту в наукометричній базі Scopus (країни)

Серед усіх наукових праць найбільше переважали дослідницькі статті в журналах – (66.8%), а також матеріали доповідей конференцій – (20.3%) оглядові статті – (7.0%) та розділи в книгах – (1,6%), (рис.6).

Documents by type

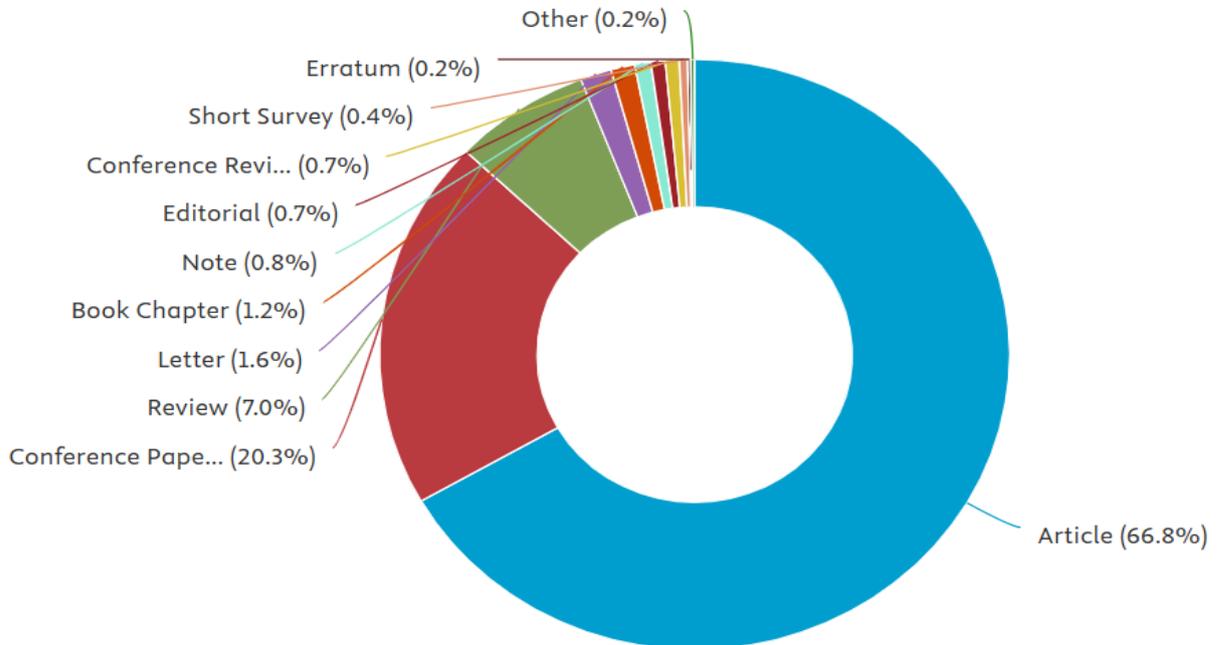


Рис. 6 – Результати пошукового запиту в наукометричній базі Scopus (види публікацій)

Найбільше статей було видано у таких наукових рубриках, як медицина – 18,0%, фізика та астрономія – 17,8%, інженерія – 17,6%, матеріалознавство – 15,0%, комп'ютерні науки – 6,2%, хімія – 5,6%, та математика – 4,8% (рис.7).

Documents by subject area

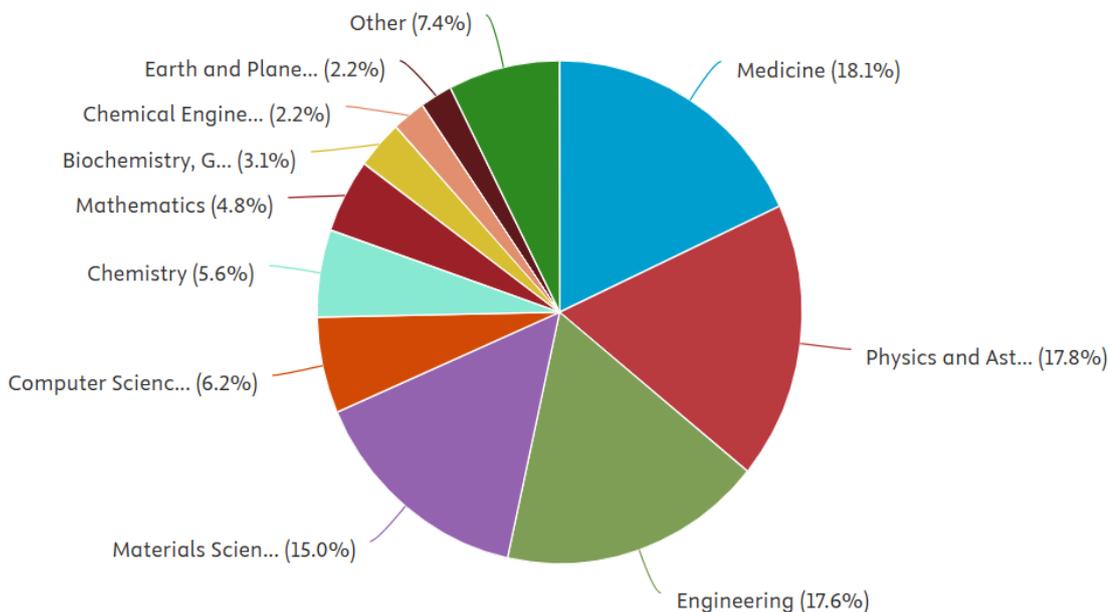


Рис. 7 – Результати пошукового запиту в наукометричній базі Scopus (розподіл праць за галузями)

Щодо основних фінансових спонсорів, то лідерство у вивченні даної проблеми мають такі інвестори, як Національний фонд природничих наук Китаю – 13754, Національний науковий фонд – 3074, Національна ключова програма досліджень і розробок Китаю – 2793, Національні інститути охорони здоров'я – 2109, Японське товариство сприяння науці – 1915, Німецьке науково-дослідний інститут – 1784 та Європейська комісія – 1781 (рис.8).

Documents by funding sponsor

Compare the document counts for up to 15 funding sponsors.

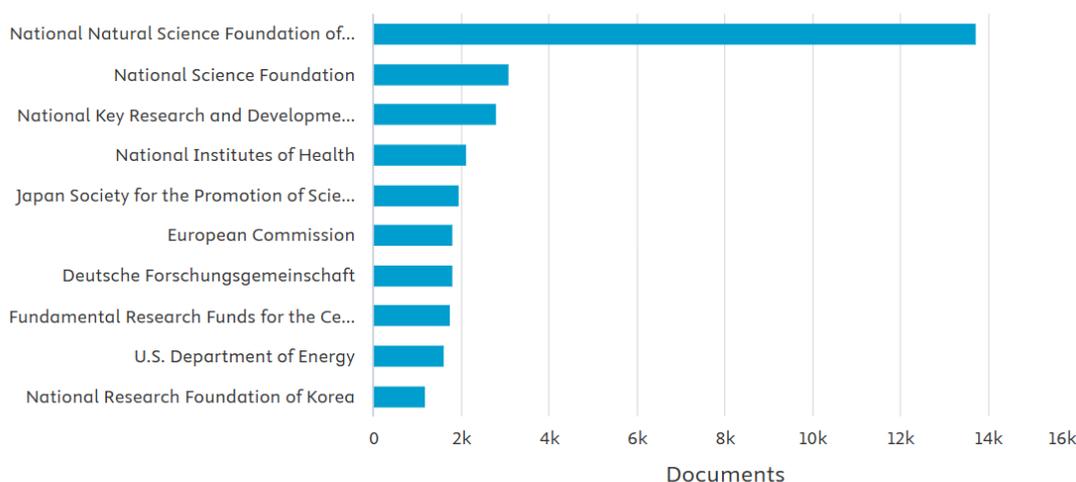


Рис. 8 – Результати пошукового запиту в наукометричній базі Scopus (фінансові спонсори)

Висновки. У даній статті проведено аналітичний огляд публікацій у наукометричній базі Scopus при дослідженні сучасного стану питань медичного застосування лазерних технологій та

сучасні тенденції та перспективи розвитку. Проведено аналіз робіт по роках, країнах, журналах, категоріях. Окремо представлено авторів з найбільшою кількістю робіт з врахуванням країн та наукових закладів. На основі отриманих даних аналітичного огляду літературних джерел з допомогою програми Scopus можна зробити висновок про зростаючий науковий інтерес до проблеми дослідження сучасного стану питань. Аналіз фінансування підтверджує важливість державної та міжнародної підтримки для розвитку лазерних досліджень. Лазери дедалі ширше застосовуються у хірургії, онкології, офтальмології, дерматології та інших галузях медицини. Подальші дослідження мають бути зосереджені на удосконаленні технологій, підвищенні безпеки та розробці нових клінічних застосувань.

Список бібліографічного опису:

1. Джалишвілі З. В., Медоїдзе Т. Д., Мелікішвілі З. Г., Мардалеїшвілі К. М., Рамсден Дж. Дж. Лазерно-збуджена флуоресценція нормальних та аномальних клітин щитоподібної залози людини: пілотне дослідження. Листи з лазерної фізики, 2004. Вип. 1(10). С. 521–524. URL: <https://doi.org/10.1002/lapl.200410112> (дата звернення: 23.02.2026).
2. Шень Л., Чжоу Т., Фан Ю., Чанг Х., Ван Ю., Сун Дж., Сін Л., Цзян Х. Нещодавній прогрес у фотодинамічній імунотерапії пухлин. Китайський хімічний листи, 2020. Вип. 31(7). С. 1709–1716. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2020.02.007> (дата звернення: 23.02.2026).
3. Гунайдин Г., Гедік М. Е., Аян С. Фотодинамічна терапія — поточні обмеження та нові підходи. Рубежі в хімії, 2021. Вип. 9. URL: <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.691697> (дата звернення: 23.02.2026).
4. НаП'єр Е., Камачо М., Макдевітт Т. Ф., Суїні А. Р. Нейротрофічна кератопатія: сучасні проблеми та майбутні перспективи. Літописи медицини, 2022. Вип. 54(1). С. 666–673. URL: <https://doi.org/10.1080/07853890.2022.2045035> (дата звернення: 23.02.2026).
5. Фанг Х., Ахмад С. Р., Майо М., Ікбал С. Елементний аналіз сечових каменів за допомогою лазерно-індукованої плазмової спектроскопії. Лазери в медичній науці, 2005. Вип. 20(3–4). С. 132–137. URL: <https://doi.org/10.1007/s10103-005-0356-8> (дата звернення: 23.02.2026).
6. Конда В. Я., Далал К. Оптимальне лікування стравоходу Барретта: фармакологічне, ендоскопічне та хірургічне втручання. Терапевтичне та клінічне управління ризиками, 2011. С. 447–458. URL: <https://doi.org/10.2147/tcrm.s23425> (дата звернення: 23.02.2026).
7. Неффендорф Дж. Е., Хільдебранд Г. Д., Даунс С. М. Портативні лазерні пристрої та лазерно-індукована ретинопатія (ЛІР) у дітей: огляд літератури. Око, 2019. Вип. 33(8). С. 1203–1214. URL: <https://doi.org/10.1038/s41433-019-0395-1> (дата звернення: 23.02.2026).
8. Еверетт Л. А., Паулус Ю. М. Лазерна терапія у лікуванні діабетичної ретинопатії та діабетичного макулярного набряку. Поточні звіти про діабет, 2021. Вип. 21(9). URL: <https://doi.org/10.1007/s11892-021-01403-6> (дата звернення: 23.02.2026).

References:

1. Jaliashvili Z. V., Medoidze T. D., Melikishvili Z. G., Mardaleishvili K. M., Ramsden J. J. Laser-excited fluorescence from normal and abnormal human thyroid cells: a pilot study. *Laser Physics Letters*. Heidelberg, 2004. Vol. 1, No. 10. P. 521–524. Available at: <https://doi.org/10.1002/lapl.200410112> (accessed: 23.02.2026).
2. Shen L., Zhou T., Fan Y., Chang X., Wang Y., Sun J., Xing L., Jiang H. Recent progress in tumor photodynamic immunotherapy. *Chinese Chemical Letters*. Beijing, 2020. Vol. 31, No. 7. P. 1709–1716. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2020.02.007> (accessed: 23.02.2026).
3. Gunaydin G., Gedik M. E., Ayan S. Photodynamic therapy – current limitations and novel approaches. *Frontiers in Chemistry*. Lausanne, 2021. Available at: <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.691697> (accessed: 23.02.2026).
4. Napier E., Camacho M., McDevitt T. F., Sweeney A. R. Neurotrophic keratopathy: current challenges and future prospects. *Annals of Medicine*. London, 2022. Vol. 54, No. 1. P. 666–673. Available at: <https://doi.org/10.1080/07853890.2022.2045035> (accessed: 23.02.2026).
5. Fang X., Ahmad S. R., Mayo M., Iqbal S. Elemental analysis of urinary calculi by laser induced plasma spectroscopy. *Lasers in Medical Science*. London, 2005. Vol. 20, No. 3–4. P. 132–137. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-005-0356-8> (accessed: 23.02.2026).
6. Konda V., Dalal K. Optimal management of Barrett's esophagus: pharmacologic, endoscopic, and surgical interventions. *Therapeutics and Clinical Risk Management*. Auckland, 2011. P. 447–458. Available at: <https://doi.org/10.2147/TCRM.S23425> (accessed: 23.02.2026).
7. Neffendorf J. E., Hildebrand G. D., Downes S. M. Handheld laser devices and laser-induced retinopathy (LIR) in children: an overview of the literature. *Eye*. London, 2019. Vol. 33, No. 8. P. 1203–1214. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41433-019-0395-1> (accessed: 23.02.2026).
8. Everett L. A., Paulus Y. M. Laser therapy in the treatment of diabetic retinopathy and diabetic macular edema. *Current Diabetes Reports*. New York, 2021. Vol. 21, No. 9. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11892-021-01403-6> (accessed: 23.02.2026).

Історія статті:

Отримано: 28.01.2026 Доопрацьовано: 23.02.2026 Прийнято до друку: 23.03.2026 Опубліковано: 29.03.2026