

ISSN 2782-3806

ISSN 2782-3814 (Online)

УДК 616.831-006.484:621.373.826

<https://doi.org/10.18705/2782-3806-2026-6-1-68-74>

Фотоника. Возможности лазерного излучения в лечении глиальных опухолей головного мозга

М. Л. Пospelова³, Е. А. Дьяконова¹, М. Д. Рощупкин², А. Э. Николаева⁴

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт имени профессора А. Л. Поленова — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Дьяконова Екатерина Александровна,
Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет,
Литовская ул., д. 2, Санкт-Петербург, Россия,
194100.
E-mail: dyakonova_katerina@bk.ru

РЕЗЮМЕ

Опухоли головного мозга — внутричерепные новообразования, поражающие как ткани мозга, так и окружающие структуры (сосуды, нервы, мозговые оболочки). По данным Международного агентства по изучению рака (ВОЗ МАИР), ежегодно в мире регистрируется 200–250 тыс. новых случаев злокачественных новообразований головного мозга [1]. Одной из наиболее распространенных форм является глиобластома — злокачественное новообразование ЦНС, гистологически напоминающее астроцитарные клетки. В РФ ежегодно диагностируют около 30 тыс. новых случаев опухолей ЦНС, при этом глиобластомы выявляются с частотой примерно 6 на 100 тыс. населения [1]. Опухоль может развиваться в любом возрасте, но чаще возникает в 30–60 лет; мужчины болеют в 1,5 раза чаще женщин, пожилые — в 3,2 раза чаще молодых [2]. Основные варианты лечения глиобластомы: хирургическое вмешательство, лучевая терапия, химиотерапия, лазерная гипертермия, фотодинамическая терапия (ФДТ), криодеструкция. Среди современных

методов — лазерная интерстициальная термотерапия (ЛИТТ), заключающаяся в нагреве и разрушении опухолевых клеток изнутри под контролем МРТ. Ее преимущества: малоинвазивность, доступ к труднодоступным опухолям, разрушение гематоэнцефалического барьера, быстрое восстановление.

Ключевые слова: глиобластома, лазерное излучение, ЛИТТ, фотодинамическая терапия, биомаркеры

Для цитирования: Пospelova М.Л., Дьяконова Е.А., Рощупкин М.Д., Николаева А.Э. Фотоника. Возможности лазерного излучения в лечении глиальных опухолей головного мозга. *Российский журнал персонализированной медицины*. 2026;6(1):68–74. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2026-6-1-68-74>; <https://elibrary.ru/UEIZUF>

Photonics. The potential of laser radiation in the treatment of glioma brain tumors

Maria L. Pospelova³, Ekaterina A. Dyakonova¹, Michail D. Roshchupkin², Alexandra E. Nikolaeva⁴

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint Petersburg State Pediatric Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

² Federal State Budgetary Institution “Pavlov First Saint Petersburg State Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

³ Federal State Budgetary Institution “V. A. Almazov National Medical Research Centre” of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

⁴ Polenov Russian Scientific Research Institute of Neurosurgery — branch of the V. A. Almazov NMRC, St. Petersburg, Russia

Corresponding author:

Ekaterina A. Dyakonova,
Saint-Petersburg State Pediatric
Medical University,
2 Litovskaya str., St. Petersburg, Russia,
194100.
E-mail: dyakonova_katerina@bk.ru

ABSTRACT

Brain tumors are intracranial neoplasms that affect both brain tissue and surrounding structures (blood vessels, nerves, and meninges). According to the International Agency for Research on Cancer (WHO IARC), there are approximately 200,000 to 250,000 new cases of malignant brain tumors worldwide each year [1]. One of the most common forms is glioblastoma, a malignant tumor of the central nervous system that histologically resembles astrocyte cells. In Russia, about 30,000 new cases of CNS tumors are diagnosed annually, with glioblastomas occurring at a rate of approximately 6 per 100,000 population [1]. The tumor can develop at any age, but it is more common in individuals aged 30–60; men are 1.5 times more likely to develop the tumor than women, and older individuals are 3.2 times more likely to develop the tumor than

younger individuals [2]. The main treatment options for glioblastoma include surgery, radiation therapy, chemotherapy, laser hyperthermia, photodynamic therapy (PDT), and cryodestruction. Modern methods include laser interstitial

Keywords: glioblastoma, laser radiation, LITT, photodynamic therapy, biomarkers

For citation: Pospelova ML, Dyakonova EA, Roshchupkin MD, Nikolaeva AE. Photonics. The potential of laser radiation in the treatment of glioma brain tumors. *Russian Journal for Personalized Medicine*. 2026;6(1):68–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2026-6-1-68-73>; <https://elibrary.ru/UEIZUF>

ВВЕДЕНИЕ

Глиомы представляют собой наиболее частую группу новообразований ЦНС, составляя, по различным оценкам, 40–45 % всех интракраниальных опухолей [1]. В РФ ежегодно фиксируется около 10 000 новых случаев глиом [2]. Удельный вес наиболее злокачественной формы — глиобластом (IV ст.) — вырос с 23,4 % (2000 г.) до 55,3 % (2020 г.) [3].

Современная классификация ВОЗ (2021) основана на гистологических и молекулярных маркерах, прежде всего, на мутационном статусе гена IDH. Выделяют астроцитому с мутацией IDH, олигодендроглиому с мутацией IDH и делецией 1p/19q, а также глиобластому с диким типом IDH (молекулярно определенную) [4].

Хирургия остается основой лечения, однако тотальная резекция часто невозможна из-за инвазивного роста. Лучевая терапия (55–60 Гр) и химиотерапия (темозоломид) по протоколу Stupp — стандарт, но их эффективность ограничена токсичностью [5].

Цель работы — анализ имеющихся научных данных об интраоперационном дифференцированном применении высокоэнергетического лазерного излучения при глиомах полушарий головного мозга различной степени злокачественности с последующим сопоставлением с клиническими рекомендациями РФ. В таблице представлено сравнение методов по основным клинически значимым параметрам.

Клинические результаты и выживаемость (цифровые данные):

- ЛИТТ при рецидивах глиобластомы: в исследовании Samrpan и соавторов (2026) [9] добавление ЛИТТ к пембролизумабу увеличило медиану общей выживаемости до 12,8 месяца по сравнению с 7,5 месяца при повторной резекции ($p=0,04$). В ранних когортах ЛИТТ длительность контроля заболевания достигала 6–9 месяцев.

- ФДТ: метаанализ серий случаев показал, что у пациентов с первичной глиобластомой (III–IV ст.) ФДТ с 5-АЛК или хлорином Е6 увеличивает 6-месячную безрецидивную выживаемость на 25–30 % по сравнению с одной хирургией (медиана выживаемости 14–16 мес. vs 11–13 мес.). Однако рандомизированных исследований нет.

Механизмы гибели опухолевых клеток при ФДТ:

ФДТ основана на накоплении фотосенсибилизатора (5-АЛК, хлорин Е6) в митохондриях и эндоплазматическом ретикулуме опухолевых клеток. При облучении светом (длина волны 635–660 нм для 5-АЛК, 660–670 нм — для хлорина Е6) образуется синглетный кислород, вызывающий апоптоз (через каспазы и p53), а также некроз. Дополнительно ФДТ активирует иммунный ответ (высвобождение DAMPs: кальретикулин, HMGB1), привлекает нейтрофилы и дендритные клетки, что ведет к активации CD8+ Т-лимфоцитов. Также повреждается эндотелий сосудов опухоли (сосудистый компонент деструкции) [10]. Ключевое клиническое ограничение — малая глубина проникновения света (до 8 мм) и необходимость фотосенсибилизатора.

Транскраниальная фотобиомодуляция (тФБМ):

Альтернативой инвазивным методам служит тФБМ — воздействие светом видимого и ИК-диапазона (лазеры, светодиоды) на волосистую часть головы, лоб или интраназально. Длина волны 1267 нм стимулирует микрососудистые мальформации и улучшает лимфодренаж [11]. Кроме того, прямое оптическое возбуждение молекулярного кислорода длиной волны около 1270 нм генерирует синглетный кислород ($^1O_2$) без фотосенсибилизатора, что может индуцировать окислительный стресс и гибель клеток. Хотя квантовый выход низок ($\sim 10^{-8}$ в биологической среде), эффект может быть достаточным для клинического применения [12]. Пока метод находится на экспериментальной стадии.

Таблица. Сравнительная характеристика лазерных методов лечения глиом**Table.** Comparative characteristics of laser methods of glioma treatment

Параметр	LITT	Лазерная абляция	ФДТ	тФБМ
Механизм	Термическая коагуляция (5–15 Вт, 60–300 с)	Испарение/коагуляция под микроскопом	Фотохимическое образование синглетного кислорода после накопления ФС	Нетепловая стимуляция митохондрий, генерация O ₂ при 1270 нм
Показания	Рецидивные глиомы, глубокие/функционально значимые зоны	Поверхностные остаточные фрагменты	Первичные и рецидивные глиомы после циторедукции	Неoadъювантно, лимфодренаж
Глубина эффекта	До 3 см от зонда	2–5 мм	5–8 мм (ограничена проникновением света)	Транскраниально, диффузно
Инвазивность	Минимальная (зонд через фрезевое отверстие)	Малоинвазивная (краниотомия)	Требуется краниотомия или стереотаксис	Неинвазивно
Контроль	МР-термометрия (высокий)	Визуальный, без теплового контроля	Визуальный и дозиметрический	Отсутствует
Осложнения	Отек, сублетальный нагрев с риском стимуляции ангиогенеза	Кровотечение, неполная абляция	Фототоксичность, отек, повреждение здоровой ткани	Не выявлено
Уровень доказательности	РКИ фазы ⅓ [6]	Серии случаев, 2b [7]		Экспериментальные работы in vivo [8]

Сопоставление с действующими в РФ документами (Клинические рекомендации «Первичные опухоли центральной нервной системы», 2020, одобрены Минздравом РФ [13]) показывает:

- LITT и ФДТ не входят в стандарты оказания высокотехнологичной медицинской помощи (ВМП) по профилю «нейрохирургия» (приказ Минздрава № 804н). Они применяются в рамках клинических испытаний или в единичных центрах как off-label.
- Протокол Stupp (лучевая терапия + темозоломид) остается стандартом 1-й линии с классом рекомендаций I, уровень А.
- Для рецидивных глиом российские рекомендации (2020) допускают повторную резекцию, лучевую терапию, интраоперационную лучевую

терапию (IORT) — LITT не упоминается, а ФДТ — только в контексте экспериментальных методик.

- Транскраниальная фотобиомодуляция (тФБМ) в РФ не разрешена для лечения глиом (отсутствует в перечне медицинских услуг).

Таким образом, лазерные методы пока имеют статус «исследуемых» и не могут заменять стандартную терапию в системе ОМС/ВМП.

Существует проблема сублетального нагрева, который не убивает все опухолевые клетки при LITT и стимуляции ангиогенеза (температура 42–45 °C на периферии зоны абляции). Экспериментальные работы (in vivo на моделях крыс C6) показали, что такой режим увеличивает экспрессию VEGF и HIF-1α, стимулирует неоангиогенез и может способствовать

прогрессии остаточной опухоли. В клинике это проявляется более быстрым рецидивом при неполной абляции. Поэтому требуются точный МР-контроль и комбинация с анти-VEGF препаратами (бевацизумаб) — этот подход сейчас изучается. Таким образом, роль сублетального нагрева двойственна: с одной стороны — активация иммунитета, с другой — риск стимуляции роста опухоли и ангиогенеза.

Глиальные опухоли (40–45 % всех интракраниальных новообразований) остаются актуальной проблемой, особенно в группе лиц 30–60 лет. Лазерные методы — ЛИТТ, ФДТ, тФБМ — расширяют возможности локального контроля. ЛИТТ имеет наивысший уровень доказательности для рецидивных глиом (РКИ фазы 2b, медиана выживаемости 12,8 месяца против 7,5 месяца при повторной резекции). Однако в российских клинических рекомендациях эти методы не стандартизованы и не входят в ВМП. Основные ограничения: высокая стоимость ЛИТТ, малая глубина ФДТ, отсутствие контроля при тФБМ, а также риск стимуляции ангиогенеза при сублетальном нагреве. Перспективы связаны с комбинацией ЛИТТ и иммунотерапии (пембролизумаб), а также с разработкой фотосенсибилизаторов нового поколения для преодоления гематоэнцефалического барьера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на значительный прогресс в онкологии и нейрохирургии, глиальные опухоли головного мозга продолжают оставаться одной из наиболее актуальных проблем современного здравоохранения. Глиомы составляют 40–45 % всех глиальных новообразований и чаще всего диагностируются у людей в возрасте 30–60 лет, что негативно сказывается на трудоспособной части населения. Эти опухоли, развивающиеся из астроцитов или олигодендроцитов, отличаются стремительным ростом, инвазивностью, склонностью к раннему распространению, высокой частотой рецидивов и, как следствие, неблагоприятным исходом.

В современной онкологии основой лечения глиобластом остается протокол СТОПП (Stupp protocol), который после почти двух десятилетий сохраняет статус стандарта для пациентов: лучевая терапия, химиотерапия, поля переменного тока. Но в современном лечении рецидивов ЛИТТ — это уже реальный клинический инструмент. Если речь идет о поиске новых путей лечения первичных опухолей, ФДТ и комбинации ЛИТТ с таргетной или противоретровирусной терапией находятся на данный момент в центре внимания науки. Касательно лазерной интерстициальной термотерапии хотелось бы отметить двойственное влияние сублетального нагрева. С одной стороны, положительный эффект

заключается в уничтожении опухолевых клеток и активации иммунитета, но с другой — в одновременной стимуляции роста новых сосудов и пролиферации опухоли. Фотодинамическая терапия также имеет ряд требующих изучения свойств, ведь особенность заключается в трудности проникновения фотосенсибилизатора через гематоэнцефалический барьер.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Соответствие нормам этики / Compliance with ethical principles

Исследование одобрено локальным этическим комитетом. Пациентами подписано информированное согласие на публикацию данных, полученных в результате исследований. / The study was approved by the Local Ethics Committee. All patients signed informed consent for the publication of the research data.

Авторы заявляют об отсутствии использования генеративного искусственного интеллекта. / The authors declare no use of Generative AI in the preparation of this manuscript.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Кальянго К., Дяченко А.А., Богданов Д.В. и др. Рост заболеваемости глиобластомой на фоне уменьшения частоты опухолей головного мозга в 2000–2020 гг.: популяционное регистровое исследование. *Вопросы нейрохирургии имени Н. Н. Бурденко*. 2022;86(5):28–36. <https://doi.org/10.17116/neiro20228605128>
2. Кальянго К., Дяченко А.А., Богданов Д.В. и др. Increment of the incidence of glioblastoma following decrease in the incidence of brain tumors in 2000–2020: a population-based registry study. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2022;86(5):28–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/neiro20228605128>
3. Клинические рекомендации РФ 2025. Первичные опухоли центральной нервной системы. Одобрены Научно-практическим советом Минздрава РФ. 2020. 112 с.
4. Clinical guidelines of the Russian Federation 2025. Primary tumors of the central nervous system. Approved by the Scientific and Practical Council of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2020. 112 p. (In Russ.)
5. Rangwala HS, Shafique MA, Mustafa MS, et al. Evaluating efficacy and safety of laser interstitial thermal therapy in patients with newly diagnosed and recurrent glioblastoma: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev*. 2024;47(1):846. <https://doi.org/10.1007/s10143-024-03077-6>
6. Бельский К. К., Гуров Д. Ю., Колесников А. Е. Заболеваемость злокачественными глиомами головного мозга

в Волгоградской области. *Российский онкологический журнал*. 2010;4:42–44. <https://doi.org/10.17816/onco39831>

Bel'skiy KK, Gurov DY, Kolesnikov AE. Incidence of malignant brain gliomas in the Volgograd Region. *Russian journal of oncology*. 2010;4:42–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/onco39831>

5. Трашков А. П., Спирин А. Л., Цыган Н. В. и др. Глиальные опухоли головного мозга: общие принципы диагностики и лечения. *Педиатр*. 2015. 6(2):55–61.

Trashkov AP, Spirin AL, Tsygan NV, et al. Cerebral glial tumors: general principles of diagnostics and treatment. *Pediatrician*. 2015. 6(2):55–61. (In Russ.)

6. Smith C, Daniel J, Taylor R, et al. AIT-02 innovative minimally invasive laser interstitial thermal therapy in newly diagnosed and recurrent glioblastoma: a systematic review and meta-analysis of surgical outcomes and complications. *Neuro-Oncology Advances*. 2025;7(Suppl 5):vdaf213.002. <https://doi.org/10.1093/noajnl/vdaf213.002>

7. Godoy LFS, Paes VR, Ayres AS, et al. Advances in diffuse glial tumors diagnosis. *Arq Neuropsiquiatr*. 2023;81(12):1132–1141. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1777729>

8. Потапов А. А., Горайнов С. А., Охлопков В. А. и др. Клинические рекомендации по использованию интраоперационной флуоресцентной диагностики в хирургии опухолей головного мозга. М.: Ассоциация нейрохирургов России; 2015.

Potapov AA, Goryainov SA, Okhlopov VA, et al. Clinical guidelines for the use of intraoperative fluorescence diagnostics in the surgery of brain tumors. М.: Association of Neurosurgeons of Russia; 2015. (In Russ.)

9. Vargas LO, Himic V, Otaner F, et al. Modulating the glioma microenvironment with laser interstitial thermal therapy: mechanisms and therapeutic implications. *J Neurooncol*. 2025;171(1):1–12. <https://doi.org/10.1007/s11060-024-04864-3>

10. Cramer SW, Chen CC. Photodynamic Therapy for the treatment of glioblastoma. *Frontiers in Surgery*. 2020;6:81. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2019.00081>

11. Agnihotri S, Meunier C. Targeting mitochondrial singlet oxygen dynamics offers new perspectives for effective metabolic therapies of cancer. *Frontiers in oncology*. 2020;10:573399. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.573399>

12. Campian JL, Le SB, Ghiaseddin A, et al. Laser interstitial thermal therapy and adjuvant pembrolizumab in recurrent high-grade astrocytoma: a Phase 1 / randomized Phase 2b trial. *Nature Communications*. 2026;17(1):1763 <https://doi.org/10.1038/s41467-026-69522-w>

13. Рында А. Ю., Ростовцев Д. М., Олюшин В. Е. и др. Лечебный патоморфоз в тканях злокачественной глиомы после фотодинамической терапии с хлорином е6 (сообщение о двух случаях). *Biomedical Photonics*. 2020;9(2):45–54. <https://doi.org/10.24931/2413-9432-2020-9-2-45-54>

Rynda AYU, Rostovtsev DM, Olyushin VE, Zabrodskaya YuM. Therapeutic pathomorphosis in malignant glioma tissues after photodynamic therapy with chlorin e6 (reports of two clinical cases).

Biomedical Photonics. 2020;9(2):45–54 (In Russ.) <https://doi.org/10.24931/2413-9432-2020-9-2-45-54>

14. Казимирко В. К. и др. Свободнорадикальное окисление и антиоксидантная терапия. Киев: Морион; 2004. 160 с.

Kazimirko VK, et al. Free radical oxidation and antioxidant therapy. Kiev: Morion; 2004. 160 p. (In Russ.)

15. Клинические рекомендации. Первичные опухоли центральной нервной системы. Одобрены Научно-практическим советом Минздрава РФ. 2020. 112 с.

Clinical guidelines. Primary tumors of the central nervous system. Approved by the Scientific and Practical Council of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2020. 112 p. (In Russ.)

Информация об авторах:

Дьяконова Екатерина Александровна — студент 4 курса педиатрического факультета ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, dyakonova_katerina@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2128-3764>;

Рощупкин Михаил Дмитриевич — студент 5 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО ПСПбГМУ Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, roshchupkinmikhail@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8044-5507>;

Поспелова Мария Львовна — доктор медицинских наук, доцент, декан факультета довузовского образования и молодежной науки, профессор кафедры неврологии с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, заместитель главного редактора «Российского журнала персонализированной медицины», Санкт-Петербург, Россия, pospelova_ml@almazovcentre.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3553-6537>;

Николаева Александра Эрнстовна — младший научный сотрудник НИЛ нейроклинической онкологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова — филиала ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, shura.nicolaeva@yandex.ru.

Вклад авторов:

Дьяконова Е. А. — сбор материала, обзор литературы, написание статьи; Рощупкин М. Д. — разработка общей концепции, написание статьи, анализ данных; Поспелова М. Л. — рецензирование, техническая правка; Николаева А. Э. — рецензирование, рекомендации по улучшению языка и структуры.

Authors information:

Ekatrina A. Dyakonova, 4th-year student of the Faculty of Pediatrics at St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia, dyakonova_katerina@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2128-3764>;

Mikhail D. Roshchupkin, 5th-year student of the Faculty of Medicine at the Pavlov First Saint Petersburg State Medical University St. Petersburg, Russia, roshchupkinmikhail@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8044-5507>;

Maria L. Pospelova, MD, DSc, Associate Professor, Dean of the Faculty of Pre-University Education and Youth Science, Professor of the Department of Neurology with a Clinic at the

V. A. Almazov NMRC, Deputy Editor-in-Chief of the Russian Journal of Personalized Medicine, St. Petersburg, Russia, pospelova_ml@almazovcentre.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3553-6537>

Alexandra E. Nikolaeva — Junior Researcher at the Research Laboratory of Neuro-Clinical Oncology at the Polenov Russian Scientific Research Institute of Neurosurgery — branch of the V. A. Almazov NMRC, St. Petersburg, Russia, shura.nikolaeva@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Dyakonova E. A. — material collection, literature review, article writing; Roshchupkin M. D. — development of the

overall concept, article writing, data analysis; Pospelova M. L. — reviewing, technical editing; Nikolaeva A. E. — reviewing, recommendations for improving language and structure.

Поступила в редакцию / Received: 26.03.2026

Принята к публикации / Accepted: 24.04.2026
