

Таргетная доставка лекарств на основе мультифункциональных дендримерных наносистем

Применение наночастиц в медицине позволяет преодолеть многие недостатки противоопухолевых препаратов, используемых в химиотерапии, – как правило, они выполняют роль молекулярной «упаковки» для последних, повышая их эффективность и уменьшая выраженность побочного действия. Существует множество разновидностей наночастиц, начиная от вирусных векторов, которые, по сути, повторяют природные наночастицы, достигшие наибольшей эффективности в процессе эволюции, но склонные вызывать иммунные реакции, до близких по структуре к клеточным мембранам липосом, что обеспечивает их низкую токсичность.

Виктория Жогла,
научный сотрудник
лаборатории
нанобиотехнологий
Института биофизики
и клеточной инженерии
НАН Беларуси, аспирант;
victoriya.zhogla@gmail.com

Елизавета Блетько,
специалист
по организации
токсикологических
испытаний медицинских
изделий ЦНТ «Евразия»
(Москва)

Сабина Гайибова,
старший научный сотрудник
лаборатории растительных
цитопротекторов Института
биоорганической химии
им. академика А.С. Садыкова
АН Республики Узбекистан,
кандидат биологических наук

Вадим Шманай,
заведующий лабораторией
химии биоконъюгатов
Института физико-
органической химии
НАН Беларуси, кандидат
химических наук

Наталья Щербина,
врач лабораторной
диагностики клеточного
центра Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН Беларуси,
кандидат биологических
наук

Аннотация. Таргетная доставка лекарственных веществ на основе дендримеров имеет ряд преимуществ при лечении онкологических заболеваний, так как осуществляется в конкретные ткани и органы, благодаря чему нежелательное влияние на здоровые клетки сводится к минимуму. Наночастицы не только снижают токсичность противоопухолевых препаратов, но и повышают их биодоступность и устойчивость в среде организма. Дендримеры ввиду их неиммунногенности и контролируемого синтеза считаются наиболее перспективными среди средств доставки лекарств, они продемонстрировали свою эффективность во многих областях биологии и медицины – в химиотерапии, разработке вакцин, доставке генетического материала. В данной статье приведен обзор мультифункциональных наносистем на их основе.

Ключевые слова: наносистемы, дендримеры, мiРНК, наносистемы, рак, наноконструкции, ПАМАМ-дендримеры, наноплатформы.

Для цитирования: Жогла В., Блетько Е., Гайибова С., Шманай В., Щербина Н. Таргетная доставка лекарств на основе мультифункциональных дендримерных наносистем // Наука и инновации. 2025. №5. С. 78–83.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-5-78-83>

Дендримеры (от греч. δένδρον – дерево) выделяются в отдельную группу благодаря своей уникальной химической структуре и свойствам. Это синтетические высоковетвистые полимерные наночастицы, для которых характерна моносферность и глобулярная форма. Их полимерные «ветви» многократно раздваиваются, и чем больше раз это происходит, тем более жесткой становится сферическая молекула, и тем большее число функциональных групп оказывается на ее поверхности. Эти группы, как и сами ветви, можно химически модифицировать, что позволяет изменять свойства данных наночастиц таким образом, чтобы они наиболее эффективно

связывались с определенными лекарственными веществами или рецепторами на поверхности клетки и обеспечивали направленную доставку или реагировали на внешние воздействия, высвобождая лекарства в необходимом месте в нужное время.

В представленной статье приводится обзор наиболее перспективных исследований дендримеров и их применения в медицинской сфере. Рассмотрены варианты их модификации, а также возможность использования ультразвука и электромагнитного излучения для дополнительной точечной стимуляции дендримерных комплексов в месте их действия.

Комплексные наноносители для доставки лекарств и металлов

Металлодендримеры на основе нитрила-поли(алкилиденамина) в качестве носителей металлоорганического комплекса $[Ru(Z5-C_5H_5)(PPh_3)_2]^+$ для противоопухолевого эффекта разработали Масиэль и др. [1]. Эффективность этих частиц была проверена на 6 линиях раковых клеток *in vitro* и на мышинной модели ксенотрансплантата MCF-7 *in vivo*. Было показано, что они обладают невысокой системной токсичностью, а также низким накоплением в основных органах мышей, концентрируясь преимущественно в опухоли и эффективно ограничивая ее рост посредством некроза и апоптоза [1].

Михлевска и др. [2] синтезировали соединения, состоящие из включенных в липосомы дендримеров и образующие комплекс с противораковым препаратом доксорубицином. Их эффективность была проверена *in vitro*. Установлено, что покрытие дендримеров липидами значительно снижает их гемотоксичность и цитотоксичность. В целом эти наноконструкции были более эффективны против раковых клеток и менее токсичны для здоровых. Комплексный наноноситель для доставки маргетуксимаба и кверцетина в клетки рака молочной железы создали

Хакинахад и др. [3]. После его применения выросла экспрессия апоптотических генов *Bax* и *Caspase9*, которые приводят к апоптозу раковых клеток.

AaTs-1 – известный тетрапептид, получаемый из яда скорпиона *Androctonus australis* и оказывающий антипролиферативное действие на раковые клетки. Мослах и др. [4] создали наноконструкции на основе последовательностей AaTs-1 в виде двуразветвленных, тетраразветвленных и окторастветвленных дендримеров, которые в 10–25 раз сильнее подавляли пролиферацию клеток глиобластомы по сравнению с мономерной формой, причем их основным действием было усиление фосфорилированных форм ERK1/2 и AKT и повышение экспрессии p53.

Лю и др. [5] получили наноконструкции на основе ПЭГ-дендритного полилизина-G4 в сочетании с платиной для лечения рака, причем было показано, что они накапливаются преимущественно в опухолевых клетках с высоким внутриклеточным высвобождением платины. Исследования *in vivo* на модели мышей продемонстрировали эффективность этого соединения в отношении гепатоцеллюлярной карциномы. В свою очередь Чарномизи и др. [6] синтезировали дендримерный наноконструкция имидазола платины (II) с ПАМАМ и обнаружили, что он обладает более высокой цитотоксической активностью на клетках рака молочной железы MCF-7 и MDA-MB-231, чем чистая платина, а также на модели эмбриона рыбки данио. Основным механизмом этой активности был апоптоз каспазы-9 (внутренний путь) и каспазы-8 (внешний путь) (рисунки).

Камачо и др. [7] изучали противораковое действие транс-(R, R)-1,2-диаминоциклогексан-

дихлорплатины(II) в комплексе с карбоксилатными ПАМАМ-дендримерами. Они обнаружили, что наноконструкция обладает цитотоксичностью в отношении многочисленных видов рака и не проявляет гемотоксичности. Джугель и др. [8] проанализировали эффективность миРНК *BIRC5/Survivin in vitro* и *in vivo* для опухолевых клеток, экспрессирующих поверхностный маркерный антиген стволовых клеток предстательной железы, используя комплекс с модифицированными мальтозой поли(пропилиминовыми) дендримерами. Эти наноконструкции индуцировали нокдаун гена люциферазы светлячка и экспрессию сурвивина, в результате чего на модели мышей с ксенотрансплантатом было продемонстрировано значительное подавление роста опухоли.

Ортез и др. [9] синтезировали наносистему на основе ПАМАМ-дендримера и метотрексата для лечения глиомы. Авторы установили, что ацетилированные на 25% ПАМАМ-дендримеры 4-й генерации обладают низкой токсичностью, образуют комплексы с большим количеством лекарственных препаратов и способны проникать в нейроны гиппокампа. Они также оказывали значительный цитотоксический эффект на клетки глиомы U87. Домбковска и др. [10] соединили нейротрофический фактор головного мозга с дендримером, функционализированным ПЭГ, для лечения клеток нейробластомы SH-SY5Y. Полученные данные показали, что такие наноконструкции с дендримерами могут доставлять нейротрофический фактор головного мозга в клетки.

Хао и др. [11] использовали сложные наносистемы на основе ПАМАМ-дендримеров 5-й генерации, модифицированные

комплексом полиэтиленгликоля и фенилборной кислоты (ПЭГ-ФБА) в качестве целевого наноконструктора для хелатирования меди (II), а затем инкапсулирования чувствительного к гипоксии препарата тирапазамина для усиленной химиотерапии. Образовавшийся наноконструкция обладал хорошей стабильностью и гемосовместимостью и мог быстро высвобождать ионы меди (II) и тирапазамин в слабокислых участках опухоли. Эксперименты *in vivo* показали, что данный комплекс способен накапливаться в опухоли, эффективно ингибировать ее рост и метастазирование и метаболитизироваться без системной токсичности [11]. Ван и др. [12] синтезировали ацетилированные ПАМАМ-дендримеры 5-й генерации, конъюгированные с тойокамицином и модифицированной железом дубильной кислотой. Наноконструкция смогла высвободить тойокамицин в микроокружение опухоли и эффективно ингибировать адаптацию раковых клеток. Более того, дополненная железом дубильная кислота генерировала цитотоксические гидроксильные радикалы посредством реакции Фентона, что усиливало токсичность на раковых клетках *in vitro* и опухолей молочной железы *in vivo*. Покрытие из модифицированной таким образом кислоты обеспечивало выдающуюся T_1 релаксацию для магнитно-резонансной томографии опухолей, взвешенных по T_1 , *in vivo* [12].

Фан и др. [13] работали над тераностическим наноконструктором на основе функционализированных пиридином ПАМАМ-дендримеров 5-й генерации в комплексе с медью (II) как для синергетической радиохимиотерапии опухолей, так и для их магнитно-

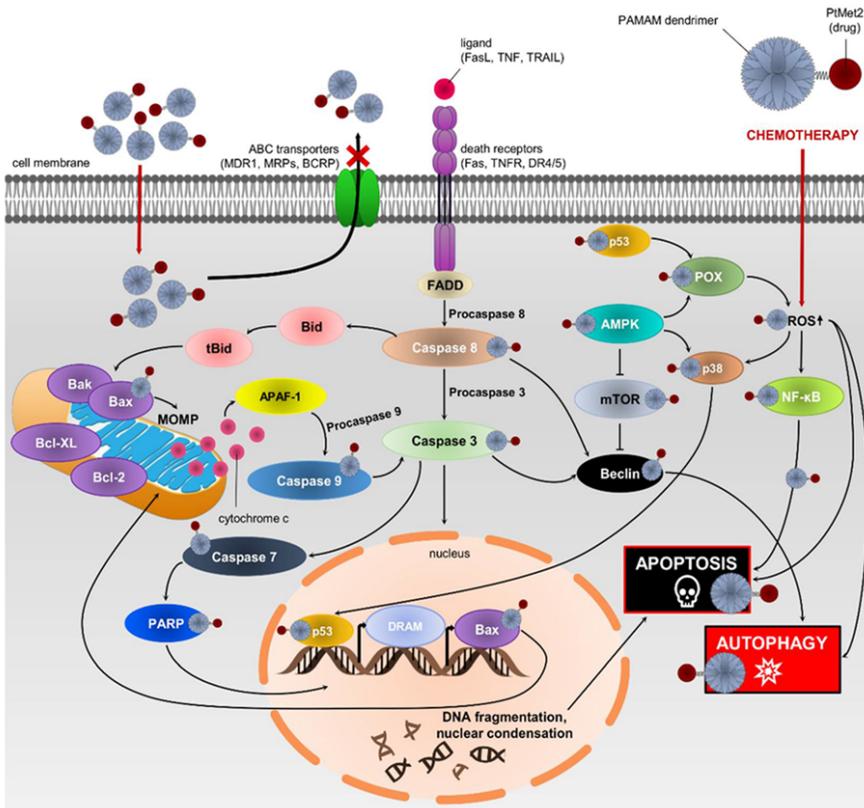


Рисунок. Схематическое изображение возможного противоракового механизма действия PtMet2–PAMAM в клетках MCF-7 и MDA-MB-231. Источник: [6]

резонансной томографии. Было обнаружено, что такие наноконструкции в значительной степени индуцируют апоптоз раковых клеток *in vitro*. Благодаря наличию меди (II) они имели релаксацию $r1\ 0,7024\ \text{мМ}^{-1}\ \text{с}^{-1}$, что позволяло эффективно проводить магнитно-резонансную визуализацию опухолевых тканей *in vivo*. Кроме того, они обеспечили усиленный цитотоксический эффект в отношении опухоли и метастазов [13].

Ма и др. [14] исследовали наноплатформу для лечения карциномы поджелудочной железы, состоящую из ПАМAM-дендримеров 5-й генерации, модифицированных хелатором железа (III) гидроксиминолин-2-карбоновой кислотой, со включенными во внутренних полостях наночастицами золота и хелатированным

железом (III). Наноплатформа обеспечивала рН-зависимый профиль высвобождения железа (III) и генерировала активные формы кислорода в микроокружении опухоли, а также служила носителем плазмидной ДНК (кодирующей белок p53) для доставки его в раковые ткани. Разработка индуцировала как апоптоз клеток, усиленный доставкой гена p53, так и окислительный стресс *in vitro*, в то время как эксперименты *in vivo* на модели ксенотрансплантационной опухоли показали, что данный вариант имел высокую эффективность за счет подавления белков GPX-4 и SLC7A11, а также наблюдалось повышение регуляции белков p53 и PTEN. Наноконструкция обеспечивала визуализацию опухоли путем экспрессии зеленого флуоресцентного белка [14].

Чен и др. [15] синтезировали фосфорсодержащие дендроны, металлизированные медью (II) и алюминием (III), и продемонстрировали их воздействие на клеточных линиях рака молочной железы *in vitro*. Содержащие медь (II) варианты обеспечивают каспазо-независимый путь гибели клеток, а алюминий (III) – работают по каспазо-зависимому пути [15].

Создание наноконструкций, которые используют эффект повышенного поглощения и удержания веществ опухолью (EPR-эффект), играет важную роль в лечении рака. Сюй и др. [16] разработали наногели на основе ПАМAM-дендримера 3-й генерации, перекрестно сшитого N, N'-бис(акрилоил)цистамином и захваченного наночастицами золота для конъюгации с комплексом гадолиния и RGD-пептидом (состоящим из остатков аргинина, глицина и аспарагиновой кислоты). Такая сложная наносистема была направлена в опухолевые ткани при помощи усиленного эффекта поглощения и удержания и обработана посредством двухмодельной компьютерной/магнитно-резонансной томографии для опухолей поджелудочной железы *in vivo*.

Поскольку известно, что AKR1C3 представляет собой фермент, влияющий на биосинтез андрогенов и способствующий развитию рака предстательной железы *in vitro*, Кюй и др. [17] исследовали наноконструкцию, состоящую из PEG3500, ПАМAM-дендримера и соединенного с аптамером простат-специфического мембранного антигена (ПСМА), для доставки миРНК с целью подавления AKR1C3. Показано, что он результативно справляется с поставленной задачей. Данная

исследовательская группа обнаружила в общей сложности 42 белка, участвующих в регуляции клеточного цикла. Эти многофункциональные наноконструкции были успешно применены для лечения мультиформной глиобластомы [17].

В обзоре Шетти и др. [18] были описаны примеры использования липосом, полимерных наночастиц, наночастиц золота, дендримеров, квантовых точек и сложных наносистем для лечения глиобластомы.

Учеными из Казанского химического института им. А.М. Бутлерова (Россия) были впервые синтезированы дендримерные соединения с тиакаликсареновым ядром [19]. Совместные исследования с коллегами Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси показали, что эти наноконструкции могут применяться в качестве векторов мРНК в опухолевые клетки [20].

Канонико и др. [21] для лечения рака разработали ПАММ-дендример, модифицированный звеньями 4-N-метилпиперазин-1,8-нафталимида и образующий комплекс с ионами меди (II). Данные показали, что такие наноконструкции приводили к гибели опухолевых клеток линии U937 путем апоптоза, а также обеспечивали флуоресцентную визуализацию раковых клеток. Аналогичным образом Лю и др. [22] описали новый наноконструкция ПАММ-NK4 и проверили его на самках мышей линии *nude* с раком молочной железы, который, как показал эксперимент, данное соединение ингибировало.

Трухильо-Ноласко и др. [23] обнаружили, что молекула C19 ((2S)-N-(2,5-дихлорфенил)-2-((3,4-диметоксифенил)-метиламинпропанамида) блокирует связь белка KRAS с мембраной в раковых клетках,

и поэтому использовали дендримерный наноконструкция ($^{177}\text{Lu(III)-DN(C}_{19}\text{)-CXCR4L}$), инкапсулировавший C19, состоящий из радиоактивного зонда лютеция-177, что обеспечило двойную терапию рака поджелудочной железы. В клетках опухоли наблюдался синергический эффект (радио- и химиотерапии), что приводило к их апоптозу.

Танака и др. [24] обработали меланому наноконструкцией, состоящей из плазмидной ДНК, полиэтиленимина, γ -полиглутаминовой кислоты и ПАММ-дендримера, модифицированного радиоактивным зондом индием-111. Авторы обнаружили, что данный комплекс накапливается в печени, селезенке и легких *in vivo* у мышей. По сравнению со здоровыми особями, на моделях животных с метастатическим раком легких B16-F10 наблюдалось значительно более высокое соотношение накопления радиоактивной метки в легких и крови.

Совместное действие ультразвука и наноконструкций на основе металлов

Фан и др. [25] использовали ультразвук для ускоренного транспорта наноконструкции на основе комплексов фосфорных дендримеров с медью (II) в опухолевые ткани. Наноконструкция оказывала двойной эффект, позволяя проводить МР-визуализацию с релаксацией r_1 $0,7024 \text{ мМ}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и ингибируя рост клеток рака поджелудочной железы. Основными механизмами действия изученного наноконструкции были повышение синтеза белков Вах, P53 и PTEN, подавление экспрессии Bcl-2 и снижение внутриклеточной концентрации АТФ. При работе с опухолями, обработан-

ными ультразвуковой технологией UTMD (Ultrasound-Targeted Microbubble Destruction), комплексы фосфорных дендримеров с медью накапливались в опухолях из-за индуцированной временной высокой проницаемости стенок капилляров и клеточных мембран посредством сонопорации. Такое воздействие на мышей не вызывало каких-либо побочных изменений в их организме и имело низкую системную токсичность комплексов или лечения UTMD. Таким образом, представленные комплексы улучшали МР-визуализацию опухолей и повышали эффективность химиотерапии [25].

Исследования в Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси

Совместно с Университетом Донхуа (Китай, руководитель – профессор Ш. Ши) сотрудниками института начаты исследования по созданию и изучению эффективности 3 наноконструкций на основе ПАММ и фосфорных дендримеров для совместной доставки гликопротеина фибронектина и лекарственного препарата эдаравона для достижения синергического антиоксидантного действия, модуляции макрофагов и ревазуляризирующей терапии на модели ишемического инсульта *in vitro* и *in vivo*.

Совместно с тем же университетом ведется работа по разработке и изучению эффективности *in vitro* и *in vivo* гибридных наностимуляторов для сонодинамической терапии рака поджелудочной железы и анализ их способности к подавлению экспрессии белков, позволяющих опухолевым клеткам избегать узнавания иммунной системой (руководитель – профессор Ц. Ли).

Выводы

Дендримеры – относительно новые нанотехнологические полимеры, обладающие уникальными особенностями: они имеют глобулярную форму и ветви мономерных субъединиц, расходящиеся в стороны от центрального ядра, образуют функциональную топологическую структуру. Эти наночастицы находят свое применение как носители лекарственных препаратов и генетического материала, антиоксидантные агенты, агенты визуализации и адъюванты. Одним из основных их преимуществ является быстрое выведение из организма (в отличие от наночастиц металлов, фуллеренов и углеродных нанотрубок), что позволяет создавать биобезопасные соединения. Некоторые дендримеры были клинически одобрены и используются в качестве лекарств [14], но многие наноконструкции требуют дальнейшего изучения. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- New insights into ruthenium(II) metallodendrimers as anticancer drug nanocarriers: from synthesis to preclinic behavior / D. Maciel [et al.] // J. Mater. Chem. B. 2022. №10. P. 8945–8959.
- Lipid-coated ruthenium dendrimer conjugated with doxorubicin in anti-cancer drug delivery: Introducing protocols / S. Michlewska [et al.] // Colloids Surf. B Biointerfaces. 2023. №227. P. 113371. Doi: 10.1016/j.colsurfb.2023.113371.
- Margetuximab conjugated-PEG-PAMAM G4 nanocomplex: a smart nano-device for suppression of breast cancer / Y. Khakinahad [et al.] // Biomed Eng. Lett. 2022. Apr. 5, №12(3). P. 317–329. Doi: 10.1007/s13534-022-00225-z.
- Strengthening Anti-Glioblastoma Effect by Multi-Branched Dendrimers Design of a Scorpion Venom Tetrapeptide / W. Moslah [et al.] // Molecules. 2022. №26, 27(3). P. 806. Doi: 10.3390/molecules27030806.
- Linear-Dendritic Polymer-Platinum Complexes Forming Well-Defined Nanocapsules for Acid-Responsive Drug Delivery / K. Liu [et al.] // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2021. №13 (37). P. 44028–44040. Doi: 10.1021/acami.1c12156.
- Mechanism of Anticancer Action of Novel Imidazole Platinum(II) Complex Conjugated with G2 PAMAM-OH Dendrimer in Breast Cancer Cells / R. Czarnomysy [et al.] // Int. J. Mol. Sci. 2021. May 25, №22 (11). P. 5581. Doi: 10.3390/ijms22115581.
- Camacho C. Use of Half-Generation PAMAM Dendrimers (G0.5-G3.5) with Carboxylate End-Groups to Improve the DACHPtCl2 and 5-FU Efficacy as Anticancer Drugs / C. Camacho, H. Tomás, J. Rodrigues // Molecules. 2021. May 14, №26 (10). P. 2924. Doi: 10.3390/molecules26102924.
- Targeted RNAi of BIRC5/Survivin Using Antibody-Conjugated Poly(Propylene Imine)-Based Polyplexes Inhibits Growth of PSCA-Positive Tumors / W. Jugel [et al.] // Pharmaceutics. 2021. May 8. №13 (5). P. 676. Doi: 10.3390/pharmaceutics13050676.
- Polyamidoamine-based nanovector for the efficient delivery of methotrexate to U87 glioma cells / N. Ortiz [et al.] // Nanomedicine (Lond). 2020. Dec. 15, №28. P. 2771–2784. Doi: 10.2217/nnm-2020-0305.
- Novel design of (PEG-ylated)PAMAM-based nanoparticles for sustained delivery of BDNF to neurotoxin-injured differentiated neuroblastoma cells / M. Dąbkowska [et al.] // J. Nanobiotechnology. 2020. Aug 31, №18 (1). P. 120. Doi: 10.1186/s12951-020-00673-8.
- A tumor microenvironment-responsive poly(amidoamine) dendrimer nanopatform for hypoxia-responsive chemo/chemodynamic therapy / H. Yingchao, [et al.] // J. Nanobiotechnology. 2022. №20. P. 43.
- Metal-Phenolic-Network-Coated Dendrimer-Drug Conjugates for Tumor MR Imaging and Chemo/Chemodynamic Therapy via Amplification of Endoplasmic Reticulum Stress / W. Zhiqiang [et al.] // Adv. Mater. 2022. №34. P. 2107009.
- Poly(amidoamine) Dendrimer-Coordinated Copper(II) Complexes as a Theranostic Nanopatform for the Radiotherapy-Enhanced Magnetic Resonance Imaging and Chemotherapy of Tumors and Tumor Metastasis / F. Yu [et al.] // Nano Lett. 2019. №19. P. 1216–1226.
- Apoptosis-enhanced ferroptosis therapy of pancreatic carcinoma through PAMAM dendrimer-iron(III) complex-based plasmid delivery / M. Wenjing [et al.] // Sci. China. 2022. Vol. 65, №4. P. 778–788.
- Potent Anticancer Efficacy of First-In-Class Cull and Aulll Metaled Phosphorus Dendrons with Distinct Cell Death Pathways / C. Liang [et al.] // Chem. Eur. J. 2020 № 26. P. 5903–5910.
- Multifunctional Low-Generation Dendrimer Nanogels as an Emerging Probe for Tumor-Specific CT/MR Dual-Modal Imaging. J. Biol. Macromol. / X. Xu [et al.] // 2023. Feb 13, №24 (2). P. 967–976. Doi: 10.1021/acs.biomac.2c01403.
- siAKR1C3@PPA complex nucleic acid nanoparticles inhibit castration-resistant prostate cancer *in vitro* / X. Cui [et al.] // Front Oncol. 2022. №12. P. 1069033. Doi: 10.3389/fonc.2022.1069033..
- Multifunctional nanocarriers for delivering siRNA and siRNA in glioblastoma therapy: advances in nanobiotechnology-based cancer therapy / K. Shetty [et al.] // 3 Biotech. 2022. 12 (11). P. 301. Doi: 10.1007/s13205-022-03365-2.
- PAMAM-calix-dendrimers: Synthesis and Thiacalixarene Conformation Effect on DNA Binding / O. Mostovaya [et al.] // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22. P. 11901.
- Non-viral systems based on PAMAM-calix-dendrimers for regulatory siRNA delivery into cancer cells / P. Padnya [et al.] // Int. J. Mol. Sci. 2024. №25 (23). P. 12614. Doi:10.3390/ijms252312614.
- Characterization of a fluorescent 1,8-naphthalimide-functionalized PAMAM dendrimer and its Cu(II) complexes as cytotoxic drugs: EPR and biological studies in myeloid tumor cells / B. Canonico [et al.] // Biol. Chem. 2021. Dec. 10, №403 (3). P. 345–360. Doi: 10.1515/hsz-2021-0388.
- Preparing PAMAM-NK4 nano complexes and examining their *in vitro* growth suppression effects in breast cancer / M. Liu [et al.] // Gland Surg. 2021. №10. P. 2695–2704. Doi: 10.21037/gst-21-443.
- Development of 177Lu-DN(C19)-CXCR4 Ligand Nanosystem for Combinatorial Therapy in Pancreatic Cancer / M. Trujillo-Nolasco [et al.] // J. Biomed. Nanotechnol. 2021. №17 (2). P. 263–278. Doi: 10.1166/jbn.2021.3016.
- A Radiolabeled Self-assembled Nanoparticle Probe for Diagnosis of Lung-Metastatic Melanoma / T. Tanaka [et al.] // Biol. Pharm. Bull. 2021. №44(3). P. 410–415. Doi: 10.1248/bpb.b20-00810.
- Phosphorus dendrimer-based copper(II) complexes enable ultrasound-enhanced tumor theranostics / F. Yu [et al.] // Nano Today. 2020. №33. P. 100899.

Статья поступила в редакцию
04.01.2025 г.

■ **Summary.** Targeted delivery of drugs based on dendrimers has a number of advantages for the treatment of cancer. The drug is delivered to specific tissues and organs, thereby minimizing the undesirable effect on healthy cells. Nanoparticles not only reduce the toxicity of anticancer drugs, but also increase their bioavailability and stability in the body. Dendrimers are considered the most promising as drug delivery vehicles due to their non-immunogenicity and controlled synthesis. They have shown their effectiveness in many areas of biology and medicine, namely chemotherapy, vaccine development, and delivery of genetic material. This article provides an overview of multifunctional dendrimer nanosystems that can be used for drug delivery in the treatment and diagnosis of cancer.

■ **Keywords:** carriers, dendrimers, siRNA, nanosystems, cancer, nanocomplexes, PAMAM dendrimers, nanopatforms.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-05-78-83>