

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent112378>

Сравнительная характеристика химической структуры ормокоеров и традиционных композитов

Г.Е. Бордина, Н.П. Лопина, А.А. Андреев

Тверской государственный медицинский университет, г. Тверь, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор преимуществ применения ормокоеров в сравнении с традиционными композиционными пломбировочными материалами с химической точки зрения. Ормокоеры представляют собой модифицированный тип гибридных органо-неорганических стоматологических материалов. Их разработали с целью уменьшения полимеризационной усадки пломбировочных материалов, улучшения краевой адаптации, абразивной стойкости и повышения биосовместимости по сравнению с композитами. Новая матрица была получена на основе неорганических полимеров, в качестве которых выступают поликонденсированные силоксаны (триблок-сополимеры). Образование неорганической цепи из молекул происходит с помощью гидролиза и поликонденсации Si(OR)-групп. Из хлорсодержащих силанов образуются неустойчивые органосиланолы, поскольку с одним атомом углерода связаны как минимум две гидроксильные группы. Таких соединений не существует, так как они быстро изомеризуются с образованием карбонильных соединений (альдегидов, кетонов). Полученные органосиланолы затем олигомеризуются с образованием полисилоксанов с полимеризованными группами. Основой получения ормокоеров является золь-гель-процесс. Классический подход включает формирование неорганической сетки гидролизом и конденсацией мономерного органического алкоксисоединения с последующим сшиванием введенных реактивных групп, например, ультрафиолетовой полимеризацией. Традиционный синтез ормокоеров начинается с того, что алкоксисиланы функционализируются алкоксидами металлов с образованием Si-O-Si-наноструктур. Одним из металлов, функционализирующих алкоксисиланы, является титан. Помимо алкоксида титана, также могут использоваться цирконий- или алюминий-алкоксиды. Эти олигомеры замещают традиционные метакриловые мономеры в композитах. Доступные сегодня на рынке композиционные пломбировочные материалы, основанные на технологии ормокоеров, не являются чисто ормокоерными системами. Для регулирования вязкости конденсата используются традиционные метакрилатные мономеры-разбавители, что не способствует улучшению биосовместимости. На наш взгляд, именно наличие амидной группы в структуре ормокоеров обуславливает повышение их биосовместимости с белковыми соединениями тканей зубов.

Ключевые слова: ормокоер; композит; триблок-сополимер; золь-гель-процесс.

Как цитировать:

Бордина Г.Е., Лопина Н.П., Андреев А.А. Сравнительная характеристика химической структуры ормокоеров и традиционных композитов // Российский стоматологический журнал. 2022. Т. 26, № 6. С. 503–512. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent112378>

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent112378>

Comparative characteristics of the chemical structure of ormokers and traditional composites

Galina E. Bordina, Nadezhda P. Lopina, Alexey A. Andreev

Tver State Medical University, Tver, Russian Federation

ABSTRACT

This article presents a review of the advantages of using ormokers rather than composite filling material from a chemical point of view. Ormokers are a modified type of hybrid organo-inorganic dental material. They were developed to reduce the shrinkage of filling material from polymerization, improve edge adaptation and abrasion resistance, and increase biocompatibility (compared to composites). The new matrix is based on inorganic polymers, which are polycondensed siloxanes (triblock copolymers). The formation of an inorganic chain of molecules occurs by hydrolysis and polycondensation of Si(OR) groups. Unstable organosilanols are formed from chlorine-containing silanes, as at least two hydroxyl groups are associated with one carbon atom. Such compounds do not exist, as they are rapidly isomerized to form carbonyl compounds (aldehydes and ketones). The resulting organosilanols are then oligomerized to form polysiloxanes with polymerized groups. The basis for the production of ormokers is the sol-gel process. The classical approach involves the formation of an inorganic grid by hydrolysis and condensation of a monomeric organic alkoxy compound followed by crosslinking of the introduced reactive groups (e.g., ultraviolet polymerization). The traditional synthesis of ormokers begins with the finding that alkoxysilanes are functionalized by metal alkoxides to form Si-O-Si nanostructures. One of the metals that functionalizes alkoxysilanes is titanium. In addition to titanium alkoxide, zirconium- or aluminum-alkoxides can be used. These oligomers replace traditional methacrylic monomers in composites. Composite filling materials available today based on the ormoker technology are not pure ormoker systems. Traditional methacrylate monomers-diluents are used to regulate the viscosity of the condensate, which does not improve biocompatibility. The presence of an amide group in the structure of the ormoker increases their biocompatibility with protein compounds in dental tissues.

Keywords: ormoker; composite; triblock-copolymer; sol-gel process.

To cite this article:

Bordina GE, Lopina NP, Andreev AA. Comparative characteristics of the chemical structure of ormokers and traditional composites. *Russian Journal of Dentistry*. 2022;26(6):503–512. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent112378>

Received: 04.11.2022

Accepted: 10.11.2022

Published: 17.12.2022

ВВЕДЕНИЕ

В стоматологии в настоящее время остаётся открытым вопрос создания пломбировочных материалов, обладающих минимальной усадкой, высокой прочностью и биосовместимостью с тканями зубов [1–3]. Данным требованиям отвечают традиционные композиционные пломбировочные материалы, имеющие неорганический наполнитель, а также ормомеры (органически модифицированная керамика), которые представляют собой модифицированный тип гибридных органико-неорганических стоматологических материалов [3, 4]. Их разработали с целью уменьшения полимеризационной усадки пломбировочных материалов, улучшения краевой адаптации, абразивной стойкости и повышения биосовместимости. Они представлены комбинацией цепочек из неорганической двуокиси кремния, метакрилатов и наполнителя из керамики, имеют высокую наполненность, благодаря которой имеют хорошую плотность и небольшую усадку [4, 5].

Следует отметить, что для создания прочного контакта композитных материалов с тканями зубов предварительно используют адгезивные системы [6].

Новая матрица

Преимущества ормомеров:

- низкая полимеризационная усадка — 1,9% (что меньше, чем у традиционных композитов, в 2 раза), обеспечивающая плотное краевое прилегание и продолжительную изоляцию;
- очень хорошая биологическая совместимость благодаря минимальному выделению свободных мономеров;
- проникновение в узкие фиссуры за счёт текучести;
- точное наложение без сползания и капель;
- очень высокая стойкость к истиранию: содержание пломбировочного материала составляет 54%;
- специальные канюли маленького размера для введения материала;
- продолжительное выделение фтора;
- простой визуальный контроль [1, 4].

Такая матрица лучше соединяется с частицами неорганического наполнителя материала, что улучшает физико-механические свойства материала [7].

Показания к применению ормомеров:

- запечатывание фиссур, ямок и небольших полостей;
- запечатывание временных зубов;
- защита повреждённых участков эмали;
- крепление ортодонтических аппаратов;
- изоляция композитных или цементных пломб;
- пломбирование небольших кариозных повреждений;
- устранение небольших дефектов в композиционных и амальгамных пломбах [7–9].

Новая матрица была получена на основе неорганических полимеров, в качестве которых выступают поликонденсированные силоксаны (триблок-сополимеры). Образование неорганической цепи из молекул происходит с помощью гидролиза и поликонденсации Si(OR)-групп [8, 10]. Из хлорсодержащих силанов образуются неустойчивые органосиланолы (рис. 1 *a*), поскольку с одним атомом углерода связаны как минимум две гидроксильные группы. Таких соединений не существует, так как они быстро изомеризуются с образованием карбонильных соединений (альдегидов, кетонов). Полученные органосиланолы затем олигомеризуются с образованием полисилоксанов с полимеризованными группами (рис. 1 *b*).

В матрице наблюдается комбинация звеньев полисилоксана с ковалентно связанными группами. Такая матрица является многофункциональной, в отличие от традиционных метакрилатов, при её полимеризации образуется трёхмерно связанный полимер ормомер [10]. Различие в построении матриц обуславливает различие в свойствах обычных композитов и полимерных материалов [11].

Ормомеры и стоматологические материалы на их основе были разработаны Fraunhofer Institute for Silicate Research ISC (Würzburg, Германия) в 1990-е гг. Термин *ormocer* является зарегистрированной торговой маркой компании Fraunhofer-Gesellschaft (FhG). В 1998 г. компанией Degussa Dental (Германия) был представлен первый коммерческий стоматологический материал на основе ормомеров *Definite* [2–4].

Получение ормомеров

Основой получения ормомеров является золь-гель-процесс (рис. 2) [12]. В настоящее время известно три

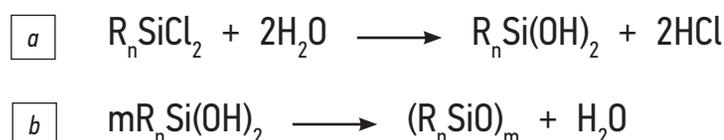


Рис. 1. Получение полисилоксана на примере дихлорсилана: *a*) реакция получения диорганосиланола из дихлорсилана; *b*) олигомеризация неустойчивого диорганосиланола с образованием полисилоксана.

Fig. 1. Obtaining polysiloxane as an example of a dichlorosilane: *a*) reaction of diorganosilanol from dichlorosilane; *b*) oligomerization of unstable diorganosilanol with the formation of polysiloxane.

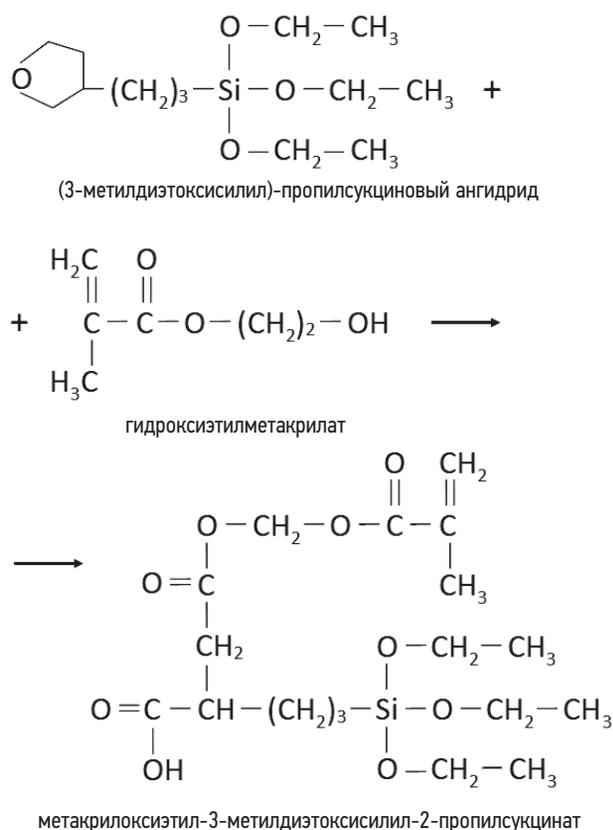


Рис. 5. Реакция гидроксипропилметакрилата с 3-(метилдиэтоксисил)-пропилсукциновым ангидридом.

Fig. 5. Reaction between hydroxyethyl methacrylate and 3-(methyldiethoxysilyl)-propylsuccinic anhydride.

Следует отметить, что в традиционных композитах кремний присутствует в составе наполнителя (например, плавный или кристаллический кварц, алюмосиликатное, борсиликатное стекло, различные модификации двуокиси кремния) и поверхностно-активных веществ — силанов (рис. 7) [23, 24].

Доступные сегодня на рынке композиционные пломбирочные материалы, основанные на технологии ормокеров, не являются чисто ормокерными системами. Для регулирования вязкости конденсата используются традиционные метакрилатные мономеры-разбавители,

что не способствует улучшению биосовместимости [23, 25].

Для снижения вязкости синтезировали новые сшиваемые силаны, используя (3-аминопропил)-триэтоксисилан (APTES) [25]. С помощью реакции присоединения Михаэля APTES к 2-акрилоилоксиэтилметакрилату получали метакрилат-функционализированный аminosилан (рис. 8). Взаимодействие APTES с продуктом присоединения succinoyного ангидрида к диметакрилату глицерина приводило к образованию силана, в котором диметакрилатная группировка связывалась с конденсируемой группой через амидную группу (рис. 9).

Гидролитическая конденсация алкоксисиланов в присутствии фторида аммония приводит к линейным и разветвленным олигомерным аморфным Si-O-Si-структурам [26]. Специальные условия гидролиза и конденсации позволяют получить силесквиоксаны — олигомерные кольцевые и кубические Si-O-Si-структуры (рис. 10) [27].

T-смолы

Силесквиоксаны, или T-смолы, представляют класс соединений с общей эмпирической формулой $R\text{SiO}_{1,5}$. Название «силесквиоксаны» происходит от полуторного соотношения кислородных связей и кремния. Альтернативное название «T-смолы» является производным от трёх (T) замещённого кремния [28].

Если заместитель R в структуре силесквиоксана является полимеризуемой или прививаемой группой, то образуется мономерный силесквиоксан. Синтез акриловых органосилесквиоксанов осуществляли гидролизом и конденсацией (3-метакрилоилокси)-пропилтриметоксисилана [26, 28]. Полимеризуемые силесквиоксаны также синтезировали в две стадии. Сначала получали октагидридосилесквиоксан ($\text{HSiO}_{1,5}$)₈, который затем подвергли реакции гидросилилирования с пропаргилметакрилатом. В результате получали смесь изомерных ди- и гексаметакрилат-замещённых кубов [29].

Другими подходами к получению органо-неорганических композитов являются одновременная конденсация и полимеризация *in situ* тетраалкоксисилана с полимеризуемыми алкоксидами, а также синтез органической полимерной матрицы и её сшивка с неорганическим компонентом за счёт конденсации [28–30].

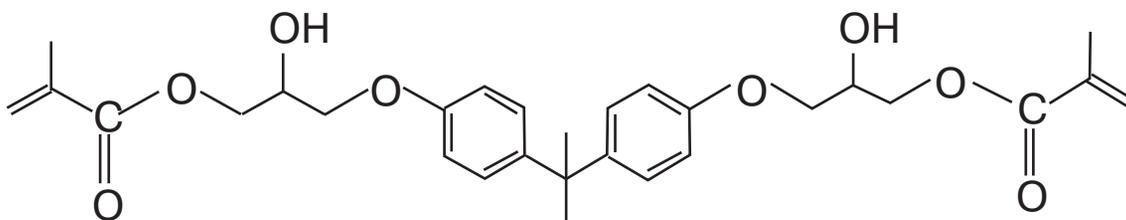


Рис. 6. Структурная формула Bis-GMA [20].

Fig. 6. The structural formula of Bis-GMA [20].

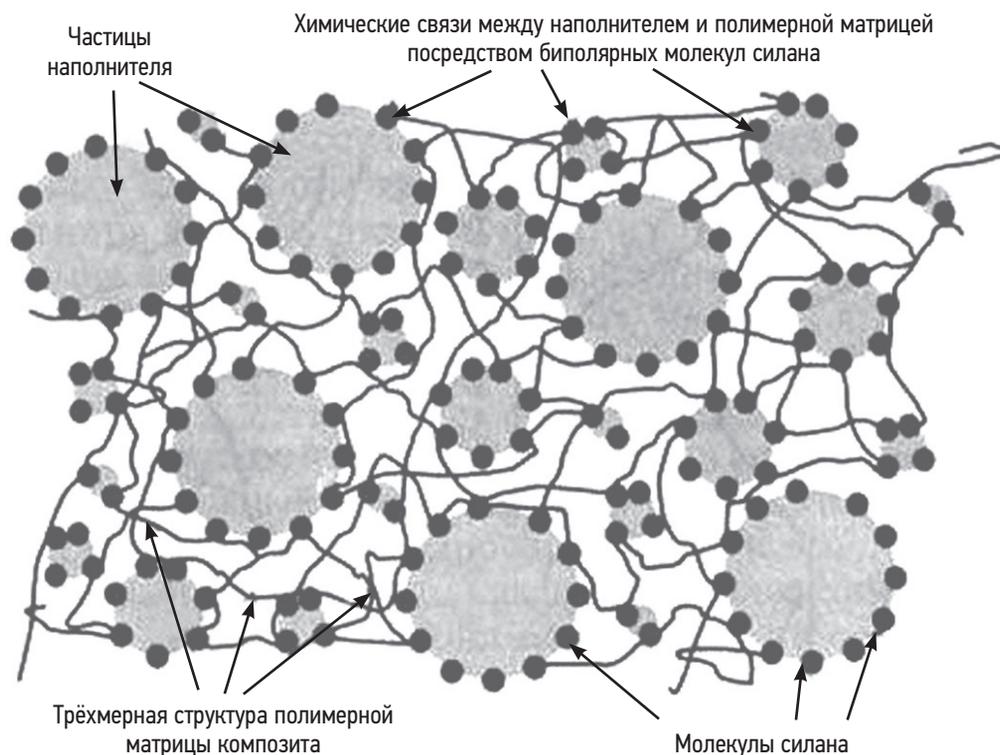


Рис. 7. Структура композитного материала [24].

Fig. 7. The structure of the composite material [24].

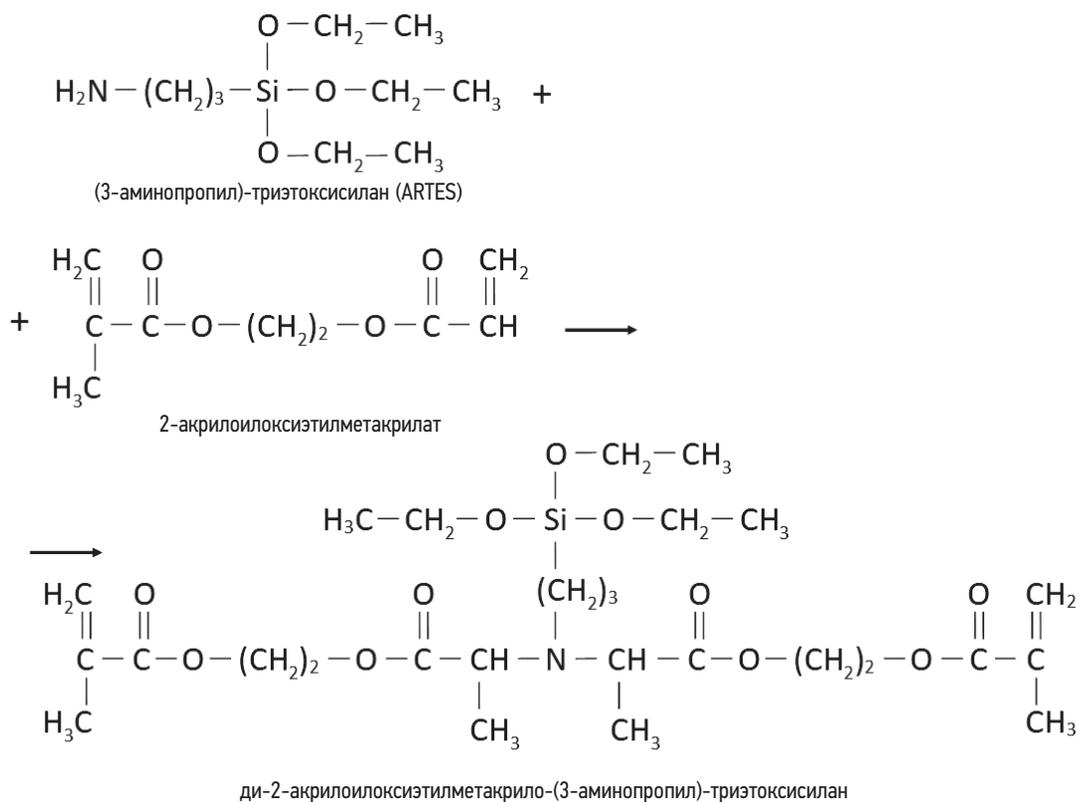


Рис. 8. Реакция присоединения Михаэля APTES к 2-акрилоилоксиэтилметакрилату.

Fig. 8. APTES Michael addition reaction to 2-acryloyloxyethyl methacrylate.

Несмотря на некоторое уменьшение полимеризационной усадки, краевая адаптация ормокеровых композитов сопоставима с обычными композитами, что обусловило объединение систем, обладающих низкой усадкой, с золь-гель-процессом [31, 32]. С помощью полиприсоединения «тиол-ен» синтезировали норборненсиланы с малым объёмным сжатием, которые далее реагировали с 3-меркаптопропионатом. Получали полимер с усадкой всего 0,5%, но относительно гибкий, снижающий прочность композита. Также были испытаны системы, которые объединяют силаны с циклическими мономерами, которые полимеризуются с раскрытием кольца. Однако у них есть недостатки, свойственные обычным циклическим мономерам [33, 34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доступные сегодня на рынке композиционные пломбирочные материалы, основанные на технологии ормокеров, не являются чисто ормокерными системами. Для регулирования вязкости конденсата используются традиционные метакрилатные мономеры-разбавители, что не способствует улучшению биосовместимости. На наш взгляд, именно наличие амидной группы в структуре ормокеров обуславливает повышение их

биосовместимости с белковыми соединениями тканей зубов.

Следует отметить, что в настоящее время не достигнуто существенного улучшения механо-физических характеристик ормокеров, например, абразивная стойкость осталась на уровне традиционных композитов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Все авторы в равной степени принимали участие в написании статьи; внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследований, сбор, анализ данных и подготовку статьи.

Authors' contribution. All authors equally participated in the writing of the article; made a significant contribution to the development of the concept, research, data collection, analysis and preparation of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луцкая И.К. Показания к использованию композиционных материалов группы Bulk Fill // Современная стоматология. 2020. № 3 (80). С. 18–24.
2. Oltramare R.S., Odermatt R., Burrer P., et al. Depth-Related Curing Potential of Ormocer- and Dimethacrylate-Based Bulk-Fill Composites // Materials (Basel). 2021. Vol. 14, N 22. P. 6753. doi: 10.3390/ma14226753
3. Torres C., Augusto M.G., Mathias-Santamaria I.F., et al. Pure Ormocer vs Methacrylate Composites on Posterior Teeth: A Double-blinded Randomized Clinical Trial // Oper Dent. 2020. Vol. 45, N 4. P. 359–367. doi: 10.2341/19-079-C
4. Бордина Г.Е., Лопина Н.П., Паршин Г.С., и др. К вопросу о механизме световой полимеризации композитов // Российский стоматологический журнал. 2022. Т. 26, № 2. С. 163–170. doi: 10.17816/1728-2802-2022-26-2-163-170
5. Klauer E., Belli R., Petschelt A., Lohbauer U. Mechanical and hydrolytic degradation of an Ormocer®-based Bis-GMA-free resin composite // Clin Oral Investig. 2019. Vol. 23, N 5. P. 2113–2121. doi: 10.1007/s00784-018-2651-3
6. Бордина Г.Е., Лопина Н.П., Андреев А.А., Некрасов И.А. Динамика развития адгезивных систем в стоматологической практике // Российский стоматологический журнал. 2022. Т. 26, № 1. С. 63–74. doi: 10.17816/1728-2802-2022-26-1-63-74
7. Kosior P., Dobrzynski M., Zakrzewska A., et al. Preliminary In Vitro Study of Fluoride Release from Selected Ormocer Materials // Materials (Basel). 2021. Vol. 14, N 9. P. 2244. doi: 10.3390/ma14092244
8. Algamaiah H., Danso R., Banas J., et al. The effect of aging methods on the fracture toughness and physical stability of an oxirane/acry-

late, ormocer, and Bis-GMA-based resin composites // Clin Oral Investig. 2020. Vol. 24, N 1. P. 369–375. doi: 10.1007/s00784-019-02912-1

9. Митронин А.В., Куваева М.Н., Вовк С.Н. Лабораторная оценка структуры гибридной зоны адгезивной системы на основе ормокера при пломбировании полостей класса I // Эндодонтия Today. 2019. Т. 17, № 3. С. 21–24.

10. Луцкая И.К., Лопатин О.А. Эстетическое реставрирование зуба при клиновидном дефекте: клинический случай // Современная стоматология. 2019. № 4 (77). С. 13–17.

11. Abreu N.M., Sousa F.B., Dantas R.V., et al. Longevity of bulk fill and ormocer composites in permanent posterior teeth: Systematic review and meta-analysis // Am J Dent. 2022. Vol. 35, N 2. P. 89–96.

12. Презентация, доклад «Золь-гель технология». Режим доступа: <https://myslide.ru/presentation/zolgel-technologie> Дата обращения: 22.11.2022

13. Байт Саид О.М., Разумова С.Н., Величко Э.В. К вопросу о композитных материалах // Российский стоматологический журнал. 2020. Т. 24, № 4. С. 278–282. doi: 10.17816/1728-2802-2020-24-4-278-282

14. Gunwal M.K., Shenoi P.R., Paranjape T., et al. Evaluation of fracture resistance and mode of failure of premolars restored with nanohybrid composite, ORMOCER and ceramic inlays // J Oral Biol Craniofac Res. 2018. Vol. 8, N 2. P. 134–139. doi: 10.1016/j.jobcr.2017.08.004

15. Tauböck T.T., Jäger F., Attin T. Polymerization shrinkage and shrinkage force kinetics of high- and low-viscosity dimethacrylate- and ormocer-based bulk-fill resin composites // Odontology. 2019. Vol. 107, N 1. P. 103–110. doi: 10.1007/s10266-018-0369-y

16. Павлушкина В.А. Эффективность методов лечения гиперестезии зубов после профессионального отбеливания средствами

индивидуальной гигиены // Державинский форум. 2020. Т. 4, № 16. С. 203–210.

17. Шамитова Е.Н., Юманов О.Д., Габайдуллина В.В., Юманов А.О. Импортозамещение иностранных композитных материалов по их биохимическому составу // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 9. С. 7–11.

18. Sahoo S.K., Meshram G.R., Parihar A.S., et al. Evaluation of Effect of Dietary Solvents on Bond Strength of Compomer, Ormocer, Nanocomposite and Activa Bioactive Restorative Materials // J Int Soc Prev Community Dent. 2019. Vol. 9, N 5. P. 453–457. doi: 10.4103/jispcd.JISPCD_47_19

19. Jain K., Katge F., Poojari M., et al. Comparative Evaluation of Microleakage of Bioactive, Ormocer, and Conventional GIC Restorative Materials in Primary Molars: An In Vitro Study Microleakage of Three Restorative Materials // Int J Dent. 2022. P. 7932930. doi: 10.1155/2022/7932930

20. Barszczewska-Rybarek I., Chladek G. Studies on the Curing Efficiency and Mechanical Properties of Bis-GMA and TEGDMA Nanocomposites Containing Silver Nanoparticles // Int J Mol Sci. 2018. Vol. 19, N 12. P. 3937. doi: 10.3390/ijms19123937

21. Новак Н.В. Флуоресцентная активность твердых тканей зубов и пломбировочных материалов // Стоматология. Эстетика. Инновации. 2019. Т. 3, № 1. С. 56–66.

22. Torres C.R., Jurema A.L., Souza M.Y., et al. Bulk-fill versus layering pure ormocer posterior restorations: A randomized split-mouth clinical trial // Am J Dent. 2021. Vol. 34, N 3. P. 143–149.

23. Maity S., Priyadarshini V., Basavaraju S. A comparative evaluation of propolis and light-cured ormocer-based desensitizer in reducing dentin hypersensitivity // J Indian Soc Periodontol. 2020. Vol. 24, N 5. P. 441–446. doi: 10.4103/jisp.jisp_500_19

24. Обработка частиц наполнителя специальными поверхностно-активными веществами, благодаря которым он вступает в химическую связь с полимерной матрицей. Режим доступа: <https://cyberpedia.su/3xe34.html> Дата обращения: 22.11.2022

25. Луцкая И.К., Белоиваненко В.В. Микроинвазивное лечение как метод временного отсроченного реставрирования зубов

в эстетической стоматологии // Современная стоматология. 2022. № 1 (86). С. 12–17.

26. Augusto M.G., Borges A.B., Pucci C.R., et al. Effect of whitening toothpastes on wear and roughness of ormocer and methacrylate-based composites // Am J Dent. 2018. Vol. 31, N 6. P. 303–308.

27. OCTAKIS(TRIMETHYLSILOXY)-T8-SILSESQUIOXANE. Режим доступа: <https://www.gelest.com/product/octakistrimethylsiloxyl-t8-silsesquioxane/> Дата обращения: 22.11.2022

28. Ozkir S.E., Bicer M., Deste G., et al. Wear of monolithic zirconia against different CAD-CAM and indirect restorative materials // J Prosthet Dent. 2022. Vol. 128, N 3. P. 505–511. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.03.023

29. Pirmoradian M., Jerri Al-Bakhakh B.A., Behroozibakhsh M., Pedram P. Repairability of aged dimethacrylate-free ORMOCER-based dental composite resins with different surface roughening methods and intermediate materials // J Prosthet Dent. 2022. P. S0022-3913(22)00208-6. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.04.001

30. ElEmbaby A.E., Slais M., Alawami A., et al. Spectrophotometric Analysis of Different Flowable Restorative Materials // J Contemp Dent Pract. 2021. Vol. 22, N 2. P. 111–116.

31. Hakim F., Vallée J. Use of a Novel ORMOCER as a Universal Direct Restorative Material // Compend Contin Educ Dent. 2018. Vol. 39, N 1. P. 50–55.

32. Thekiya A.H., Aileni K.R., Rachala M.R., et al. An Evaluation of Shear Bond Strength of Admira (Ormocer) as an Alternative Material for Bonding Orthodontic Brackets: An In vitro Study // J Int Soc Prev Community Dent. 2018. Vol. 8, N 1. P. 56–61. doi: 10.4103/jispcd.JISPCD_375_17

33. Colombo M., Vialba L., Beltrami R., et al. Effect of different finishing/polishing procedures on surface roughness of Ormocer-based and different resin composites // Dent Res J (Isfahan). 2018. Vol. 15, N 6. P. 404–410.

34. Yazkan B., Celik E.U., Recen D. Effect of Aging on Surface Roughness and Color Stability of a Novel Alkaside in Comparison with Current Direct Restorative Materials // Oper Dent. 2021. Vol. 46, N 5. P. E240–E250. doi: 10.2341/20-195-L

REFERENCES

1. Lutskaya I.K. indications for the use of composite materials of the Bulk Fill group. *Sovremennaya Stomatologiya*. 2020;(3):18–24. (In Russ).

2. Oltramare RS, Odermatt R, Burrer P, et al. Depth-Related Curing Potential of Ormocer- and Dimethacrylate-Based Bulk-Fill Composites. *Materials (Basel)*. 2021;14(22):6753. doi: 10.3390/ma14226753

3. Torres C, Augusto MG, Mathias-Santamaria IF, et al. Pure Ormocer vs Methacrylate Composites on Posterior Teeth: A Double-blinded Randomized Clinical Trial. *Oper Dent*. 2020;45(4):359–367. doi: 10.2341/19-079-C

4. Bordina GE, Lopina NP, Parshin GS, et al. Mechanism of light polymerization of composites. *Russian Journal of Dentistry*. 2022;26(2):163–170. (In Russ). doi: 10.17816/1728-2802-2022-26-2-163-170

5. Klauer E, Belli R, Petschelt A, Lohbauer U. Mechanical and hydrolytic degradation of an Ormocer®-based Bis-GMA-free resin composite. *Clin Oral Investig*. 2019;23(5):2113–2121. doi: 10.1007/s00784-018-2651-3

6. Bordina GE, Lopina NP, Andreev AA, Nekrasov IA. Dynamics of adhesive systems development in dental practice. *Russian Journal of Dentistry*. 2022;26(1):63–74. (In Russ). doi: 10.17816/1728-2802-2022-26-1-63-74

7. Kosior P, Dobrzynski M, Zakrzewska A, et al. Preliminary In Vitro Study of Fluoride Release from Selected Ormocer Materials. *Materials (Basel)*. 2021;14(9):2244. doi: 10.3390/ma14092244

8. Algamaiah H, Danso R, Banas J, et al. The effect of aging methods on the fracture toughness and physical stability of an oxirane/acrylate, ormocer, and Bis-GMA-based resin composites. *Clin Oral Investig*. 2020;24(1):369–375. doi: 10.1007/s00784-019-02912-1

9. Mitronin AV, Kuvaeva MN, Vovk SN. Laboratory estimation of the hybrid zone structure of the adhesive system based on the ormocer at filling class I cavity. *Endodontics Today*. 2019;17(3):21–24. (In Russ).

10. Lutskaya IK, Lopatin OA. Aesthetic restoration of a tooth with a wedge-shaped defect: a clinical case. *Sovremennaya Stomatologiya*. 2019;(4):13–17. (In Russ).

11. Abreu NM, Sousa FB, Dantas RV, et al. Longevity of bulk fill and ormocer composites in permanent posterior teeth: Systematic review and meta-analysis. *Am J Dent*. 2022;35(2):89–96.

12. Presentation, report “Sol-gel technology”. Available from: <https://myslide.ru/presentation/zolgel-tennologiya> Accessed: Nov 22, 2022. (In Russ).

13. Bait Said OM, Razumova SV, Velichko EV. On the issue of composite materials. *Russian Journal of Dentistry*. 2020;24(4):278–282. (In Russ). doi: 10.17816/1728-2802-2020-24-4-278-282
14. Gunwal MK, Shenoj PR, Paranjape T, et al. Evaluation of fracture resistance and mode of failure of premolars restored with nanohybrid composite, ORMOCER and ceramic inlays. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2018;8(2):134–139. doi: 10.1016/j.jobcr.2017.08.004
15. Tauböck TT, Jäger F, Attin T. Polymerization shrinkage and shrinkage force kinetics of high- and low-viscosity dimethacrylate- and ormocer-based bulk-fill resin composites. *Odontology*. 2019;107(1):103–110. doi: 10.1007/s10266-018-0369-y
16. Pavlushkina VA. The effectiveness of treatment methods for dental hyperesthesia after professional teeth bleaching by means of personal hygiene. *Derzhavin Forum*. 2020;4(16):203–210. (In Russ).
17. Shamitova EN, Yumanov OD, Gabaidullina VV, Yumanov AO. Import substitution of foreign composite materials according to their biochemical composition. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2022;(9):7–11. (In Russ).
18. Sahoo SK, Meshram GR, Parihar AS, et al. Evaluation of Effect of Dietary Solvents on Bond Strength of Compomer, Ormocer, Nanocomposite and Activa Bioactive Restorative Materials. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2019;9(5):453–457. doi: 10.4103/jispcd.JISPCD_47_19
19. Jain K, Katge F, Poojari M, et al. Comparative Evaluation of Microleakage of Bioactive, Ormocer, and Conventional GIC Restorative Materials in Primary Molars: An In Vitro Study Microleakage of Three Restorative Materials. *Int J Dent*. 2022:7932930. doi: 10.1155/2022/7932930
20. Barszczewska-Rybarek I, Chladek G. Studies on the Curing Efficiency and Mechanical Properties of Bis-GMA and TEGDMA Nanocomposites Containing Silver Nanoparticles. *Int J Mol Sci*. 2018;19(12):3937. doi: 10.3390/ijms19123937
21. Novak NV. Fluorescent activity of hard tissues of teeth and filling materials. *Dentistry. Aesthetics. Innovation*. 2019;3(1):56–66. (In Russ).
22. Torres CR, Jurema AL, Souza MY, et al. Bulk-fill versus layering pure ormocer posterior restorations: A randomized split-mouth clinical trial. *Am J Dent*. 2021;34(3):143–149.
23. Maity S, Priyadarshini V, Basavaraju S. A comparative evaluation of propolis and light-cured ormocer-based desensitizer in reducing dentin hypersensitivity. *J Indian Soc Periodontol*. 2020;24(5):441–446. doi: 10.4103/jisp.jisp_500_19
24. Treatment of filler particles with special surfactants, due to which it enters into a chemical bond with the polymer matrix. Available from: <https://cyberpedia.su/3xe34.html> Accessed: Nov 22, 2022. (In Russ).
25. Lutskaia IK, Beloivanenko VV. Microinvasive treatment as a method of temporary delayed restoration of teeth in aesthetic dentistry. *Sovremennaya Stomatologiya*. 2022;(1):12–17. (In Russ).
26. Augusto MG, Borges AB, Pucci CR, et al. Effect of whitening toothpastes on wear and roughness of ormocer and methacrylate-based composites. *Am J Dent*. 2018;31(6):303–308.
27. OCTAKIS(TRIMETHYLSILOXY)-T8-SILSESQUIOXANE. Available from: <https://www.gelest.com/product/octakistrimethylsiloxyl-t8-silsesquioxane/> Accessed: Nov 22, 2022.
28. Ozkir SE, Bicer M, Deste G, et al. Wear of monolithic zirconia against different CAD-CAM and indirect restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2022;128(3):505–511. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.03.023
29. Pirmoradian M, Jerri AL-Bakhakh BA, Behroozibakhsh M, Pedram P. Repairability of aged dimethacrylate-free ORMOCER-based dental composite resins with different surface roughening methods and intermediate materials. *J Prosthet Dent*. 2022:S0022-3913(22)00208-6. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.04.001
30. ElEmbaby AE, Slais M, Alawami A, et al. Spectrophotometric Analysis of Different Flowable Restorative Materials // *J Contemp Dent Pract*. 2021;22(2):111–116.
31. Hakim F, Vallée J. Use of a Novel ORMOCER as a Universal Direct Restorative Material. *Compend Contin Educ Dent*. 2018;39(1):50–55.
32. Thekiya AH, Aileni KR, Rachala MR, et al. An Evaluation of Shear Bond Strength of Admira (Ormocer) as an Alternative Material for Bonding Orthodontic Brackets: An In vitro Study. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2018;8(1):56–61. doi: 10.4103/jispcd.JISPCD_375_17
33. Colombo M, Vialba L, Beltrami R, et al. Effect of different finishing/polishing procedures on surface roughness of Ormocer-based and different resin composites. *Dent Res J (Isfahan)*. 2018;15(6):404–410.
34. Yazkan B, Celik EU, Recen D. Effect of Aging on Surface Roughness and Color Stability of a Novel Alkaside in Comparison with Current Direct Restorative Materials. *Oper Dent*. 2021;46(5):E240–E250. doi: 10.2341/20-195-L

ОБ АВТОРАХ

* **Лопина Надежда Петровна**, канд. хим. наук, профессор; адрес: Россия, 170000, г. Тверь, ул. Советская, д. 4; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-1531>; e-mail: n.lopina@internet.ru

Бордина Галина Евгеньевна, канд. биол. наук, доцент; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6375-7981>; e-mail: gbordina@yandex.ru

Андреев Алексей Алексеевич, студент; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1012-9356>; e-mail: aandreev01@yandex.ru

AUTHORS INFO

* **Nadezhda P. Lopina**, Cand. Sci. (Chem.), Professor; address: 4 Sovetskaya street, 170000 Tver, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-1531>; e-mail: n.lopina@internet.ru

Galina E. Bordina, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6375-7981>; e-mail: gbordina@yandex.ru

Alexey A. Andreev, Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1012-9356>; e-mail: aandreev01@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author