

Исследование минерального состава стоматологических цементах методом атомно-эмиссионного спектрального анализа

© Радин^{1*+} Михаил Александрович, Бармашов² Сергей Николаевич, Широкова¹⁺ Ирина Юрьевна, Савинов³ Сергей Сергеевич, Кучук¹ Вера Ивановна, Павлова¹ Екатерина Юрьевна, Макеева Надежда Александровна¹

¹ Кафедра физической и неорганической химии. Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Министерства здравоохранения Российской Федерации. ул. Профессора Попова, д.14, литера А. г. Санкт-Петербург, 197022. вн.тер.г. муниципальный округ Аптекарский остров. Россия. E-mail: radin.michail@pharminnotech.com

² Кафедра пропедевтики стоматологических материалов. Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова Министерства здравоохранения Российской Федерации. ул. Льва Толстого, д.6-8. г. Санкт-Петербург, 197022. Россия. E-mail: barmashovs2309@gmail.com

³ Кафедра аналитической химии. Институт химии. Санкт-Петербургский государственный университет. Университетская наб., 7/9. г. Санкт-Петербург, 199034. Россия. E-mail: s.s.savinov@spbu.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: атомно-эмиссионная спектроскопия, элементный состав, стеклоиномерный цемент, цинко-фосфатный цемент.

Аннотация

В работе представлено систематическое сравнительное исследование элементного состава стоматологических цементов различных типов (стеклоиномерные, цинко-фосфатные) и ценовых категорий (эконом, средний, премиум) методом атомно-эмиссионной спектрометрии с дуговой плазмой (АЭС-Д). Актуальность исследования обусловлена прямым контактом материалов с биологическими тканями полости рта и высокими требованиями к химической безопасности. Целью являлось выявление потенциально токсичных микро- и макропримесей, а также оценка корреляции между стоимостью материала и чистотой его минерального состава с позиций физико-химической гомогенности сырья. Анализ проводили на образцах после полимеризации, моделируя клинические условия. Установлено, что в цементе эконом-сегмента обнаружены тяжелые металлы – свинец (Pb) и кадмий (Cd) – в концентрациях, существенно превышающих фоновые уровни природных фосфатов, что указывает на использование техногенно загрязнённого сырья или нарушение технологического регламента. В материалах среднего сегмента идентифицирован лантан (La), редкоземельный элемент, присутствие которого может быть следствием либо переработки вторичного минерального сырья с аккумуляцией примесей, либо целенаправленной модификации для повышения рентгеноконтрастности, что требует дополнительного токсикологического анализа его химической формы. Цементы премиум-сегмента демонстрируют минимальное содержание примесей (суммарно < 0.01 % масс.) и стехиометрически стабильные соотношения базовых элементов (Al, Mg, Si, P, Zn), характерные для фаз чистых фосфатов и алюмосиликатных стекол. Полученные результаты свидетельствуют о прямой зависимости чистоты минеральной основы от цены продукта и об отсутствии жесткого контроля примесей в бюджетных сериях. С практической точки зрения, работа обосновывает необходимость включения определения Pb и Cd в обязательный протокол сертификации стоматологических цементов, а также внесения лантана в перечень контролируемых маркеров техногенного загрязнения сырья.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Радин М.А., Бармашов С.Н., Широкова И.Ю., Савинов С.С., Кучук В.И., Павлова Е.Ю., Макеева Н.А. Исследование минерального состава стоматологических цементов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.86. №6. С.25-30. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-25

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Радин М.А., Бармашов С.Н., Широкова И.Ю., Савинов С.С., Кучук В.И., Павлова Е.Ю., Макеева Н.А. Исследование минерального состава стоматологических цементов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа. *Бутлеровские сообщения А*. 2026. Т.13. №2. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-25/ROI-jbc-A/26-13-2-15 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Mikhail A. Radin, Sergey N. Barmashov, Irina Yu. Shirokova, Sergey S. Savinov, Vera I. Kuchuk, Nadezhda A. Makeeva. Investigation of the mineral composition of dental cements by atomic emission spectral analysis. *Butlerov Communications A*. **2026**. Vol.13. No.2. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-25/ROI-jbc-A/26-13-2-15

Литература

- [1] Батиста Л.К.Н., Кривелари Ж.М., Пегораро Ж.В.К., Жанини А.К.П., Марсиано М.А., Лопес К.С., Раши М.А., Хасна А.А., Гимарайнш Б.М. Физико-химическая оценка минерального триоксидного агрегата и пяти цементов на основе силиката кальция с оксидами минералов. *БМС Стоматологическое здоровье*. **2025**. Т.25. №1. С.1056. DOI: 10.1186/s12903-025-06428-x [L.C.N. Batista, J.M. Crivelari, J.V.C. Pegoraro, A.C.P. Janini, M.A. Marciano, C.S. Lopes, M.A. Rachy, A.A. Hasna, B.M. Guimarães. Physicochemical evaluation of mineral trioxide aggregate and five mineral oxides calcium silicate-based cements. *BMC Oral Health*. **2025**. Vol.25. No.1. P.1056. DOI: 10.1186/s12903-025-06428-x]
- [2] Гаруши С., Валлитту П.К., Лассила Л. Характеристика стоматологических реставрационных материалов, выделяющих фторид. *Журнал стоматологических материалов*. **2018**. Т.37. №2. С.293-300. DOI: 10.4012/dmj.2017-161 [S. Garoushi, P.K. Vallittu, L. Lassila. Characterization of fluoride releasing restorative dental materials. *Dent Mater J*. **2018**. Vol.37. No.2. P.293-300. DOI: 10.4012/dmj.2017-161]
- [3] Хану Д., Соломон С.М., Столериу С., Мурариу А., Чимпоешу Н., Йован Г. Оценка *in vitro* скорости коррозии, твёрдости по Виккерсу и СЭМ-анализ стеклоиономерных цементов и материалов на основе силиката кальция. *Биоинженерия (Базель)*. **2025**. Т.12. №11. С.1261. DOI: 10.3390/bioengineering12111261 [D. Hanu, S.M. Solomon, S. Stoleriu, A. Murariu, N. Cimpoeşu, G. Iovan. *In vitro* assessment of corrosion rate, Vickers hardness and SEM analysis of glass ionomer cements and calcium silicate-based materials. *Bioengineering (Basel)*. **2025**. Vol.12. No.11. P.1261. DOI: 10.3390/bioengineering12111261]
- [4] Ыылмаз М.Н., Гюль П. Влияние обработки карбамида пероксидом на высвобождение ионов из различных стоматологических реставрационных материалов. *БМС Стоматологическое здоровье*. **2024**. Т.24. №1. С.1089. DOI: 10.1186/s12903-024-04876-5 [M.N. Yilmaz, P. Gul. Effect of carbamide peroxide treatment on the ion release of different dental restorative materials. *BMC Oral Health*. **2024**. Vol.24. No.1. P.1089. DOI: 10.1186/s12903-024-04876-5]
- [5] Нашиби С., Амджади П., Ахмади С., Хекматиян С., Торшаби М. Физические, химические и биологические свойства МТА Angelus и нового AGM МТА: анализ *in vitro*. *БМС Стоматологическое здоровье*. **2025**. Т.25. №1. С.145. DOI: 10.1186/s12903-025-05517-1 [S. Nashibi, P. Amdjadi, S. Ahmadi, S. Hekmatian, M. Torshabi. Physical, chemical and biological properties of MTA Angelus and novel AGM MTA: an *in vitro* analysis. *BMC Oral Health*. **2025**. Vol.25. No.1. P.145. DOI: 10.1186/s12903-025-05517-1]
- [6] Вега-Гонсалес М., Домингес-Перес Р.А., Игареда-Мендоса А.Э., Домингес-Перес Р., Эспиноса-Кристобаль Л.Ф., Санчес-Лара И., Тахонар Р.Г. Микроструктура, состав, физические свойства и биоактивность прототипов цемента на основе силиката кальция для витальной терапии пульпы. *Журнал прикладных биоматериалов и функциональных материалов*. **2024**. Т.22. Id.22808000241296663. DOI: 10.1177/22808000241296663 [M. Vega-González, R.A. Domínguez-Pérez, A.E. Higareda-Mendoza, R. Domínguez-Pérez, L.F. Espinosa-Cristóbal, Y. Sánchez-Lara, R.G. Tajonar. The microstructure, composition, physical properties, and bioactivity of calcium silicate cement prototypes for vital pulp therapies. *J. Appl. Biomater. Funct. Mater*. **2024**. Vol.22. P.22808000241296663. DOI: 10.1177/22808000241296663]
- [7] Джанг Й.Э., Ли Б.Н., Кох Ж.Т., Пак Й.Ж., Чу Н.Э., Чанг Х.С., Хванг И.Н., Ох В.М., Хванг Й.К. Цитотоксичность и физические свойства эндодонтических материалов на основе трикальцийсиликата. *Реставрационная стоматология и эндодонтия*. **2014**. Т.39. №2. С.89-94. DOI: 10.5395/rde.2014.39.2.89 [Y.E. Jang, B.N. Lee, J.T. Koh, Y.J. Park, N.E. Joo, H.S. Chang, I.N. Hwang, W.M. Oh, Y.C. Hwang. Cytotoxicity and physical properties of tricalcium silicate-based endodontic materials. *Restor. Dent. Endod*. **2014**. Vol.39. No.2. P.89-94. DOI: 10.5395/rde.2014.39.2.89]
- [8] ИСО 9917-1:2025 [ISO 9917-1:2025]. Стоматология. Цементы на водной основе. Часть 1: Кислотно-основные цементы. [ISO 9917-1:2025. Dentistry – Water based cements – Part 1: Acid base cements]
- [9] Mikhail A. Radin, Sergey N. Barmashov, Irina Yu. Shirokova, Sergey S. Savinov, Vera I. Kuchuk, Nadezhda A. Makeeva. Investigation of the mineral composition of dental cements by atomic emission spectral analysis. *Butlerov Communications A*. **2026**. Vol.13. No.2. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-25/ROI-jbc-A/26-13-2-15
- [10] Радин М.А., Бармашов С.Н., Широкова И.Ю., Савинов С.С., Кучук В.И., Павлова Е.Ю., Макеева Н.А. Исследование минерального состава стоматологических цементов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа. *Бутлеровские сообщения А*. **2026**. Т.13. №2. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-25/ROI-jbc-A/26-13-2-15 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-A/26-13-2-15

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-25/ROI-jbc-A/26-13-2-15

Investigation of the mineral composition of dental cements by atomic emission spectral analysis

**Mikhail A. Radin,^{1*+} Sergey N. Barmashov,² Irina Yu. Shirokova,^{1*+}
Sergey S. Savinov,³ Vera I. Kuchuk,¹ Nadezhda A. Makeeva¹**

¹ Department of Physical and Inorganic Chemistry. Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. Professor Popov St., 4A. Aptekarsky Ostrov Municipal District. St. Petersburg, 197022. Russia. E-mail: radin.mikhail@pharminnotech.com

² Department of Propaedeutics of Dental Materials. Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Health of the Russia. Leo Tolstoy St., 6-8. St. Petersburg, 197022. Russia. E-mail: barmashovs2309@gmail.com

³ Department of Analytical Chemistry. Institute of Chemistry. Saint Petersburg State University. Universitetskaya Nab., 7/9. St. Petersburg, 199034. Russia. E-mail: s.s.savinov@spbu.ru

*Supervising author; +Corresponding author

Keywords: atomic emission spectrometry, elemental composition, glass ionomer cement, zinc phosphate cement.

Abstract

The work presents a systematic comparative study of the elemental composition of dental cements of different types (glass ionomer, zinc phosphate) and price categories (economy, middle, premium) by a.c. arc optical emission spectrometry. The relevance of the study is due to the direct contact of materials with biological tissues of the oral cavity and high requirements for chemical safety. The aim was to identify potentially toxic micro- and macro-impurities, as well as to assess the correlation between the cost of the material and the purity of its mineral composition from the standpoint of physicochemical homogeneity of raw materials. The analysis was performed on samples after polymerization, simulating clinical conditions. It was found that in the economy-segment cement, heavy metals – lead (Pb) and cadmium (Cd) – were detected at concentrations significantly exceeding the background levels of natural phosphates, indicating the use of technologically contaminated raw materials or violation of the manufacturing process. In middle-segment materials, lanthanum (La), a rare earth element, was identified; its presence may be either a consequence of the processing of secondary mineral raw materials with accumulation of impurities or a targeted modification to increase radiopacity, which requires additional toxicological analysis of its chemical form. Premium-segment cements demonstrate minimal impurity content (total < 0.01 wt.%) and stoichiometrically stable ratios of basic elements (Al, Mg, Si, P, Zn) characteristic of pure phosphate and aluminosilicate glass phases. The obtained results indicate a direct dependence of the purity of the mineral base on the product price and the absence of strict impurity control in budget series. From a practical point of view, the work substantiates the need to include the determination of Pb and Cd in the mandatory certification protocol for dental cements, as well as to add lanthanum to the list of controlled markers of technogenic contamination of raw materials.