

СТОМАТОЛОГИЯ STOMATOLOGY

УДК: 616.314-089.843-073.75

DOI 10.52575/2687-0940-2026-49-2-199-207

EDN IHUWPZ

Экспериментальная статья

Лабораторная оценка элементного состава поверхности дентальных имплантатов по данным рентгеноспектрального анализа с картированием

Азарова Н.С.¹ , Харитонов И.Д.¹ , Агапов Б.Л.² ,
Степанов И.В.¹ , Квашнин Д.В.¹ , Антонян А.Б.¹

¹ Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко,
Россия, 394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, 10;

² Воронежский государственный университет,
Россия, 394018, г. Воронеж, ул. Университетская площадь, 1

E-mail: natazarova@yandex.ru

Аннотация. Дентальная имплантация является современным решением актуальной проблемы хирургической стоматологии, связанной с костно-деструктивными изменениями альвеолярного отростка челюстей вследствие удаления зубов. Критерием эффективности приживления дентальных имплантатов является их полноценная остеоинтеграция в челюстной кости, на что влияет чистота поверхности используемого имплантата. Целью исследования явилась сравнительная лабораторная оценка элементного химического состава поверхности дентальных имплантатов по данным рентгеноспектрального анализа для обоснования их использования с целью оптимизации процесса остеоинтеграции. Материалы и методы исследования. С помощью рентгеноспектрального анализа был изучен химический состав поверхности дентальных имплантатов. Результаты и их обсуждение. Результаты применения высокотехнологичных методов позволяют обосновать преимущество выбора дентального имплантата с отсутствием участков поверхностной контаминации в плане его биосовместимости и долгосрочной стабильности.

Ключевые слова: остеоинтеграция, дентальный имплантат, рентгеноспектральный анализ, картирование, контаминация

Финансирование: работа выполнена без внешних источников финансирования.

Для цитирования: Азарова Н.С., Харитонов И.Д., Агапов Б.Л., Степанов И.В., Квашнин Д.В., Антонян А.Б. 2026. Лабораторная оценка элементного состава поверхности дентальных имплантатов по данным рентгеноспектрального анализа с картированием. *Актуальные проблемы медицины*, 49(2): 199–207. DOI: 10.52575/2687-0940-2026-49-2-199-207. EDN: IHUWPZ



Laboratory Assessment of the Elemental Composition of Dental Implant Surfaces Based on X-Ray Spectral Analysis with Mapping

Natalia S. Azarova¹ , Ilya D. Kharitonov¹ , Boris L. Agapov² ,
Ilya V. Stepanov¹ , Dmitry V. Kvashnin¹ , Arpine B. Antonyan¹

¹N.N. Burdenko Voronezh State Medical University,
10 Studencheskaya St., Voronezh 394036, Russia;

²Voronezh State Medical University,
1 Universitetskaya Sq., Voronezh 394018, Russia

E-mail: natazarova@yandex.ru

Abstract. Dental implantation is a current solution of dental surgery problem related to alveolar bone defects occurring after tooth extraction. The effectiveness of dental implant integration is the full osseointegration within the jawbone provides by the cleanliness of the implant surface. The research purpose of the study was a comparative laboratory assessment of the elemental chemical composition of the dental implants surface using X-ray spectral analysis in order to improve the efficiency of osseointegration. Materials and Methods. The chemical composition of the dental implants surface was studied using X-ray spectral analysis. Results and Discussion. The results obtained through high-tech methods allow substantiating the advantage of a dental implant without contamination surface areas in terms of its biocompatibility and long-term stability.

Keywords: osseointegration, dental implant, X-ray spectral analysis, mapping, contamination

Funding: the work was carried out without external sources of funding.

For citation: Azarova N.S., Kharitonov I.D., Agapov B.L., Stepanov I.V., Kvashnin D.V., Antonyan A.B. 2026. Laboratory Assessment of the Elemental Composition of Dental Implant Surfaces Based on X-Ray Spectral Analysis with Mapping. *Challenges in Modern Medicine*, 49(2): 199–207 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0940-2026-49-2-199-207. EDN: IHUWPZ

Введение

Дентальная имплантация является современным решением актуальной проблемы хирургической стоматологии, связанной с костно-деструктивными изменениями альвеолярного отростка челюстей вследствие удаления зубов [Моисеева, 2022; Перемутьер и др., 2023]. Критерием эффективности приживления дентальных имплантатов является их полноценная остеоинтеграция в челюстной кости, на что влияет чистота поверхности используемого имплантата [Азарова и др., 2025; Фролов и др., 2025; Wu et al., 2022].

Исследования ряда авторов указывают на преимущество использования SLA-метода обработки поверхности дентальных имплантатов, позволяющего увеличить контакт поверхности имплантата с костной тканью, однако остаточный после обработки поверхности оксид алюминия может снижать эффективность остеоинтеграции и функциональную стабильность имплантата в долгосрочной перспективе [Рыжова и др., 2022; Callejas et al., 2022; Jordan et al., 2024; Fonseca et al., 2025]. В этом контексте исследования поверхности дентальных имплантатов приобретают особую актуальность, так как полученные результаты могут быть использованы для обоснования выбора имплантата в плане повышения его биосовместимости и долгосрочной стабильности [Азарова и др., 2025; Messous et al., 2021; Sharon et al., 2023].

Цель исследования: сравнительная лабораторная оценка элементного химического состава поверхности дентальных имплантатов по данным рентгеноспектрального анализа для обоснования их использования с целью оптимизации процесса остеоинтеграции.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на кафедре хирургической стоматологии Института стоматологии ВГМУ им. Н.Н. Бурденко в рамках сотрудничества с Воронежским государственным университетом. В соответствии с целью исследования были изучены четыре вида наиболее распространенных дентальных имплантатов зарубежного и отечественного производства: Alfa-bio (Израиль, опытная модель № 1), Xive (Германия, опытная модель № 2), Osstem TSHIA (Южная Корея, опытная модель № 3) и A2 (Россия, опытная модель № 4) в заводских стерильных блистерах. С помощью низковакуумного электронного микроскопа «JEOL JSM – 6380LV» (Япония) с энергодисперсионным анализатором (ЭДА) INCA-250 изучен элементный состав поверхности исследуемых опытных моделей в верхней (А), средней (Б) и нижней (В) трети для объективизации получаемых данных с применением рентгеноспектрального анализа с картированием. Исследуемые химические элементы в автоматическом режиме были обозначены цветовым кодом (Al – красный, O – зеленый, Ti – синий). Исследования проводили в режиме вторично-электронной эмиссии при ускоряющем напряжении 20 кВ ($\times 50$).

Статистический анализ полученных результатов проводили с применением прикладной программы STATISTICA 12.0 фирмы Statsoft Inc., определяя среднее значение и стандартное отклонение σ , а также минимальные и максимальные значения; значимыми считали различия $p < 0,05$ [Шакало, 2025].

Результаты и их обсуждение

Данные рентгеноспектрального анализа исследуемых опытных моделей имплантатов представлены на рисунках 1–8 и в таблицах 1–5.

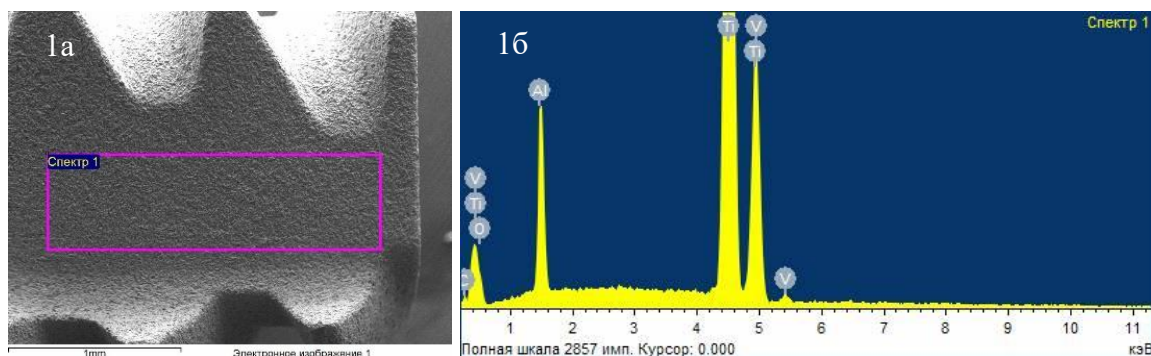


Рис. 1. Результаты РСМА поверхности опытной модели № 1
Fig. 1. Results of X-ray microanalysis of the experimental model No. 1 surface

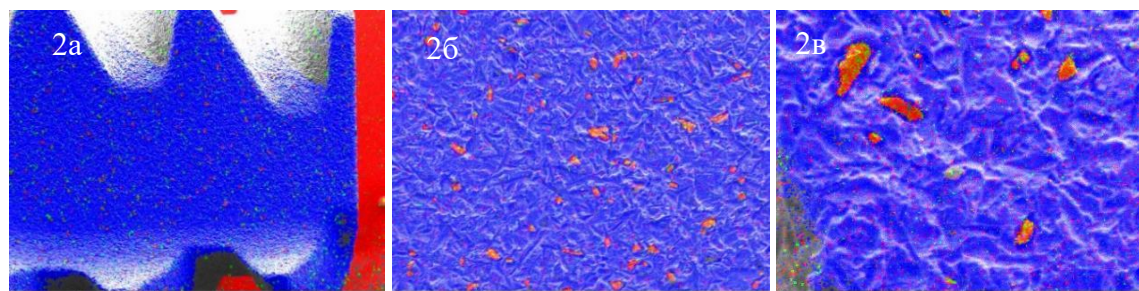


Рис. 2. Рентгеновские карты распределения химических элементов
с картированием опытной модели № 1

Fig. 2. X-ray maps of the chemical elements distribution
with mapping of experimental model No. 1

Таблица 1
Table 1

Распределение химических элементов опытной модели № 1
Distribution of chemical elements in experimental model No. 1

Элемент	Весовой % (А)	σ	Весовой % (Б)	σ	Весовой % (В)	σ
С К	2,06	0,25	1,35	0,28	1,68	0,32
О К	5,27	1,36	3,57	1,58	3,53	1,76
Al К	5,71	0,14	5,64	0,16	6,32	0,19
Ti К	82,99	1,22	85,55	1,44	84,37	1,59
V К	3,97	0,20	3,88	0,23	4,09	0,24
Итого	100,00		100,00		100,00	

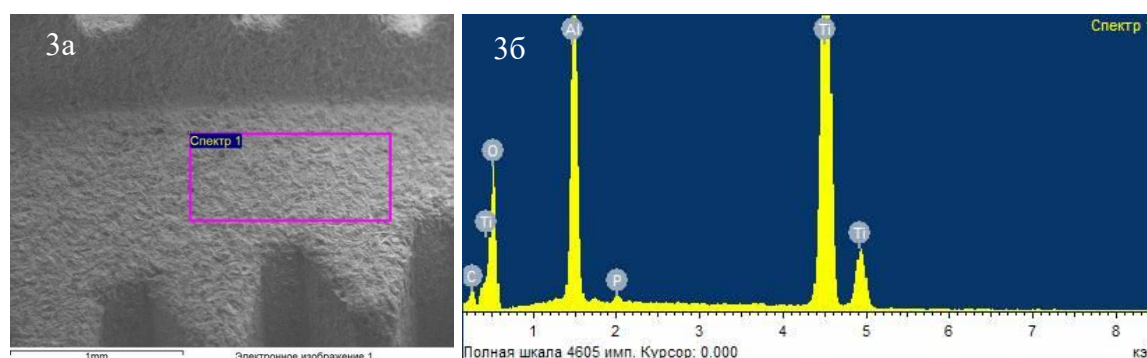


Рис. 3. Результаты РСМА поверхности опытной модели № 2
Fig. 3. Results of X-ray microanalysis of the experimental model No. 2 surface

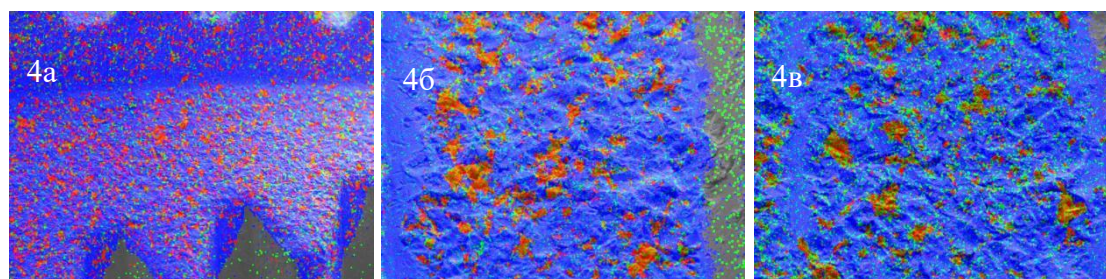


Рис. 4. Рентгеновские карты распределения химических элементов
с картированием опытной модели № 2

Fig. 4. X-ray maps of the chemical elements distribution
with mapping of experimental model No. 2

Таблица 2
Table 2

Распределение химических элементов опытной модели № 2
Distribution of chemical elements in experimental model No. 2

Элемент	Весовой % (А)	σ	Весовой % (Б)	σ	Весовой % (В)	σ
С К	5,09	0,36	5,20	0,32	7,33	0,30
О К	44,30	0,57	40,68	0,64	39,56	0,58
Al К	12,11	0,18	8,78	0,15	7,43	0,12
P К	0,32	0,05	0,23	0,05	0,27	0,05
Ti К	38,19	0,43	45,11	0,52	45,41	0,47
Итого	100,00		100,00		100,00	

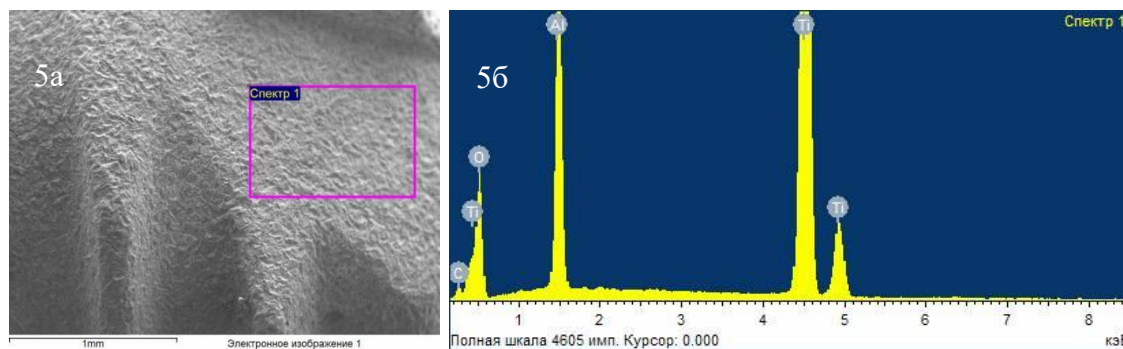


Рис. 5. Результаты РСМА поверхности опытной модели № 3
Fig. 5. Results of X-ray microanalysis of the experimental model No. 3 surface

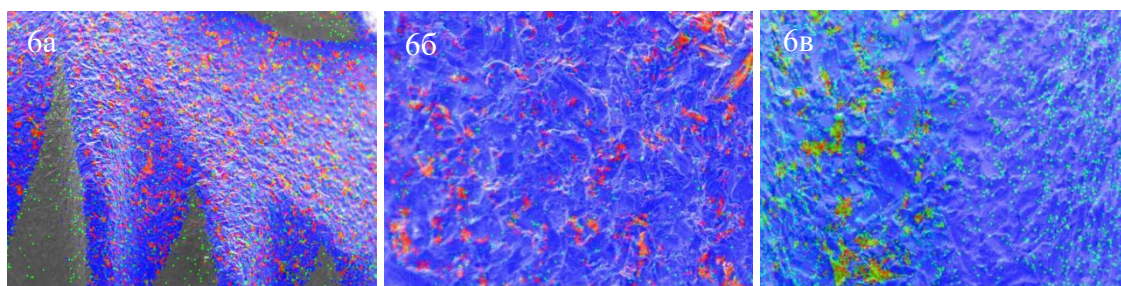


Рис. 6. Рентгеновские карты распределения химических элементов
с картированием опытной модели № 3
Fig. 6. X-ray maps of the chemical elements distribution with mapping of experimental model No. 3

Таблица 3
Table 3

Распределение химических элементов опытной модели № 3
Distribution of chemical elements in experimental model No. 3

Элемент	Весовой % (А)	σ	Весовой % (Б)	σ	Весовой % (В)	σ
С К	2,74	0,28	1,82	0,28	3,08	0,32
О К	40,41	0,60	23,95	1,07	38,32	0,75
Al К	11,18	0,17	6,19	0,18	11,06	0,20
Ti К	45,67	0,49	68,04	0,98	47,54	0,62
Итого	100,00		100,00		100,00	

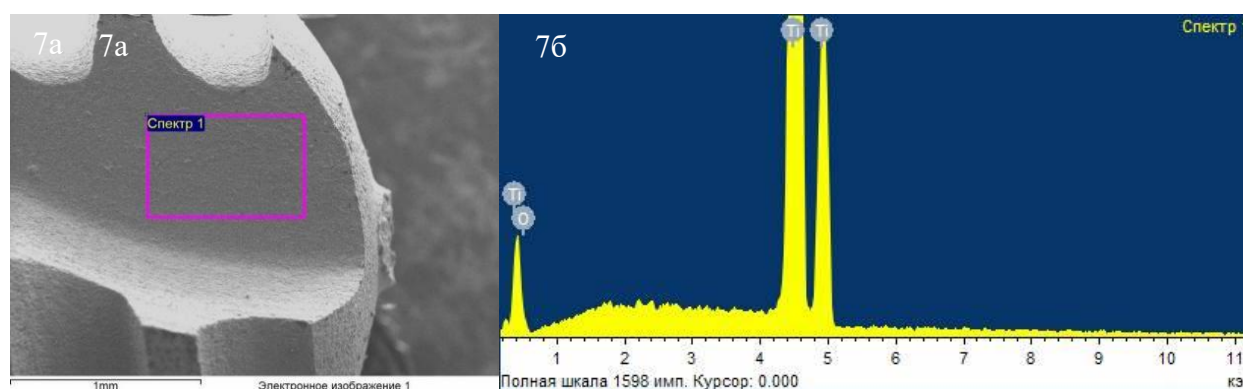


Рис. 7. Результаты РСМА поверхности опытной модели № 4
Fig. 7. Results of X-ray microanalysis of the experimental model No. 4 surface

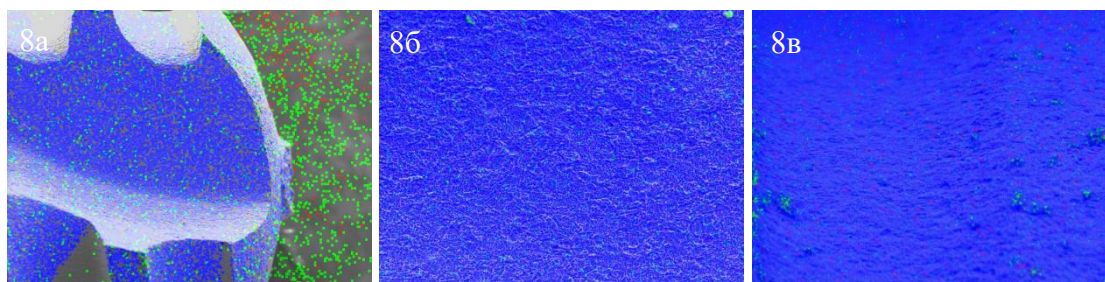


Рис. 8. Рентгеновские карты распределения химических элементов
с картированием опытной модели № 4

Fig. 8. X-ray maps of the chemical elements distribution with mapping of experimental model No. 4

Таблица 4
Table 4

Распределение химических элементов опытной модели № 4
Distribution of chemical elements in experimental model No. 4

Элемент	Весовой % (А)	σ	Весовой % (Б)	σ	Весовой % (В)	σ
Ti K	99,10	1,21	99,23	0,98	93,26	1,26
O K	0,90	1,21	0,77	0,98	6,74	1,26
Итого	100,00		100,00		100,00	

Пояснение результатов РСМА представлено в сравнительном аспекте исследуемых опытных моделей дентальных имплантатов (таблица 5).

Таблица 5
Table 5

Распределение химических элементов исследуемых опытных моделей
Distribution of chemical elements in experimental models

Элемент/ Опытная модель	№1	σ	№ 2	σ	№ 3	σ	№ 4	σ
Весовой %								
C K	1,69	0,28	5,89	0,33	2,55	0,29	-	-
O K	4,12	1,30	41,51	0,60	34,23	0,81	2,80	1,15
Al K	5,89	0,16	9,44	0,15	9,48	0,18	-	-
Ti K	84,32	1,42	42,89	0,51	53,74	0,70	97,20	1,15
V K	3,98	0,22	-	-	-	-	-	-
P K	-	-	0,27	0,05	-	-	-	-
Итого	100,00		100,00		100,00		100,00	

Результаты рентгеноспектрального анализа трех участков каждого из четырех исследуемых опытных моделей дентальных имплантатов показали, что основным составным компонентом опытных моделей являлся титан (таблицы 1–5, рисунок 1–8). Сравнительный анализ химического состава выявил достоверное количество органических и неорганических соединений на поверхности исследуемых дентальных имплантатов № 1, № 2 и № 3. В модели № 1 достоверно обнаружен ванадий, а в модели № 2 – незначительное количество фосфора. В опытных моделях № 1, № 2 и № 3 присутствуют участки поверхностной контаминации оксидом алюминия, причем в моделях № 2 и № 3 примерно в равном соотношении и в 2 раза больше, чем в модели № 1. Цветные планарные спектр-рентгенограммы (рис. 4, 6 и 8) визуальнo подтверждают наличие областей контаминации оксидом алюминия в исследуемых опытных моделях № 1, № 2 и № 3. Наличие участков контаминации на поверхности дентального имплантата опосредованно влияет на

эффективность остеоинтеграции, таким образом, замедляя остеогенез. По данным рентгеноспектрального анализа в опытной модели № 4 не обнаружено сторонних органических и неорганических соединений.

Заключение

Данные рентгеноспектрального анализа с картированием подтвердили присутствие сторонних органических и неорганических соединений на поверхности опытных моделей дентальных имплантатов № 1, № 2 и № 3, включая оксид алюминия, что может приводить к более длительному процессу остеоинтеграции, и отсутствие участков поверхностной контаминации в опытной модели № 4, что связано с особенностями технологической обработки поверхности имплантата.

Учитывая вышеизложенное, можно констатировать, что результаты применения высокотехнологичных исследовательских методов позволяют обосновать преимущество выбора дентального имплантата с отсутствием участков поверхностной контаминации в плане его биосовместимости, а также прогнозировать оптимизацию процесса остеоинтеграции и долгосрочную стабильность с целью повышения эффективности функционально-эстетической реабилитации пациентов.

Список литературы

- Азарова Н.С. Харитонов И.Д. 2025. Лабораторная оценка морфологических параметров остеоинтеграции отечественных дентальных имплантатов. Прикладные информационные аспекты медицины, 28(1): 4–9. doi:10.18499/2070-9277-2025-28-1-4-9
- Азарова Н.С. Харитонов И.Д. 2025. Сравнительный анализ морфохимических параметров дентальных имплантатов по данным сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального анализа. Институт стоматологии, 4(109): 134–136.
- Моисеева Н.С. 2022. Клинико-лабораторный анализ элементного состава челюстной костной ткани и остеопластических материалов по данным рентгеноспектрального микроанализа / Н.С. Моисеева // Вестник новых медицинских технологий, 29(1): 59–62. doi: 10.24412/1609-2163-2022-1-59-62
- Перемутьер М.Н. 2023. Влияние плотности костных тканей на напряженно-деформированное состояние вблизи дентальных имплантатов. Вестник Самарского государственного технического университета. Физико-математические науки. 27(1): 189–201. doi: 10.14498/vsgtu1976
- Рыжова И.П., Погосян Н.М., Гонтарев С.Н., Чуев И.С., Гонтарева И.С., Новожилова М.С., Денисова В.Ю. 2022. Роль непосредственного протезирования в процессе хирургической подготовки альвеолярной костной ткани к имплантации. Вестник новых медицинских технологий. 29(4): 57–61. doi: 10.24412/1609-2163-2022-4-57-61
- Фролов А.М., Погосян Н.М., Рыжова И.П., Денисова В.Ю. 2025. Клинический случай консервативной подготовки альвеолярной костной ткани перед имплантацией во фронтальном отделе. Актуальные проблемы медицины, 48(1): 59–68. doi: 10.52575/2687-0940-2025-48-1-59-68
- Шакало Д.Н., Гончаров А.В., Иванюга Т.В. 2025. Основы статистического анализа. СПб., Лань, 92.
- Callejas J.A., Gil J., Brizuela A., Pérez R.A., Bosch B.M. 2022. Effect of the Size of Titanium Particles Released from Dental Implants on Immunological Response. Int. J. Mol. Sci. 30; 23(13): 7333. doi: 10.3390/ijms23137333. PMID: 35806339; PMCID: PMC9266706
- Fonseca D., Pons R., de Tapia B., Monje A., Nart J., Aparicio C., Gil J. 2025. Effect Of Electrolytic Cleaning on Mechanical Properties for Titanium Dental Implants with Surface Contamination. Int. J. Oral Maxillofac Implants, 40(6): 725–734. doi: 10.11607/jomi.11082. PMID: 40512528
- Jordan A., Smojver I., Budimir A., Gabrić D., Vuletić M. 2024. Evaluation of Different Procedures for Titanium Dental Implant Surface Decontamination-In Vitro Study. Bioengineering (Basel), 11(4): 326. doi: 10.3390/bioengineering11040326. PMID: 38671748; PMCID: PMC11048723
- Messous R., Henriques B., Bousbaa H., Silva F.S., Teughels W., Souza J.C.M. 2021. Cytotoxic Effects of Submicron- and Nano-Scale Titanium Debris Released from Dental Implants: An Integrative



Review. *Clinical Oral Investigations*. 25(4): 1627–1640. doi: 10.1007/s00784-021-03785-z. Epub 2021 Feb 22. PMID: 33616805

Sharon E., Pietrovski Y., Engel I., Assali R., Hourri-Haddad Y., Beyth N. 2023. Biocompatibility, Surface Morphology, and Bacterial Load of Dental Implant Abutments following Decontamination Protocols: An In-Vitro Study. *Materials (Basel)*. 16 (11): 4080. doi: 10.3390/ma16114080. PMID: 37297212; PMCID: PMC10254387

Wu X., Cai C., Gil J., Jantz E., Al Sakka Y., Padial-Molina M., Suárez-López Del Amo F. 2022. Characteristics of Particles and Debris Released after Implantoplasty: A Comparative Study. *Materials (Basel)*. 14; 15(2): 602. doi: 10.3390/ma15020602. PMID: 35057319; PMCID: PMC8779414

References

Azarova N.S., Kharitonov I.D. 2025. Clinical and Laboratory Assessment of Dental Implants Morphology to improve the Efficiency of Osseointegration. *Applied Information Aspects of Medicine*. 28(1): 4–9 (in Russian). doi:10.18499/2070-9277-2025-28-1-4-9

Azarova N.S., Kharitonov I.D. 2025. Comparative Analysis of the Morphochemical Parameters of Dental Implants Based on Scanning Electron Microscopy and X-ray Spectral Analysis. *The Dental Institute*, 4(109): 134–136 (in Russian).

Moiseeva N.S. 2022. Clinical and Laboratory Analysis of the Elemental Composition of the Jaw Bone and Osteoplastic Materials According to X-ray Spectral Microanalysis / N.S. Moiseeva // *Journal of New Medical Technologies*, 29(1): 59–62 (in Russian). doi: 10.24412/1609-2163-2022-1-59-62

Perelmutter M.N. 2023. The Effect of Bone Tissue Density on the Stress-Strain State near Dental Implants. *Journal of Samara State Technical University, Ser. Physical and Mathematical Sciences*. 27(1): 189–201 (in Russian). doi: 10.14498/vsgtu1976

Ryzhova I.P., Pogosyan N.M., Gontarev S.N., Chuev I.S., Gontareva I.S., Novozhilova M.S., Denisova V.Yu. 2022. The Role of Direct Prosthetics in the Process of Bone Augmentation for Implantation. *Journal of New Medical Technologies*. 29(4): 57–61 (in Russian). doi: 10.24412/1609-2163-2022-4-57-61

Frolov A.M., Pogosian N.M., Ryzhova I.P., Denisova V.Yu. 2025. Clinical Case of Conservative Alveolar Bone Augmentation before Implantation in Esthetic Area. *Challenges in Modern Medicine*, 48(1): 59–68 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0940-2025-48-1-59-68

Shakalo D.N., Goncharov A.V., Ivanyuga T.V. 2025. Fundamentals of Statistical Analysis. SPb., Lan, 92 (in Russian).

Callejas J.A., Gil J., Brizuela A., Pérez R.A., Bosch B.M. 2022. Effect of the Size of Titanium Particles Released from Dental Implants on Immunological Response. *Int. J. Mol. Sci.* 30; 23(13): 7333. doi: 10.3390/ijms23137333. PMID: 35806339; PMCID: PMC9266706

Fonseca D., Pons R., de Tapia B., Monje A., Nart J., Aparicio C., Gil J. 2025. Effect Of Electrolytic Cleaning on Mechanical Properties for Titanium Dental Implants with Surface Contamination. *Int. J. Oral Maxillofac Implants*, 40(6): 725–734. doi: 10.11607/jomi.11082. PMID: 40512528

Jordan A., Smojver I., Budimir A., Gabrić D., Vuletić M. 2024. Evaluation of Different Procedures for Titanium Dental Implant Surface Decontamination-In Vitro Study. *Bioengineering (Basel)*, 11(4): 326. doi: 10.3390/bioengineering11040326. PMID: 38671748; PMCID: PMC11048723

Messous R., Henriques B., Bousbaa H., Silva F.S., Teughels W., Souza J.C.M. 2021. Cytotoxic Effects of Submicron- and Nano-Scale Titanium Debris Released from Dental Implants: An Integrative Review. *Clinical Oral Investigations*. 25(4): 1627–1640. doi: 10.1007/s00784-021-03785-z. Epub 2021 Feb 22. PMID: 33616805

Sharon E., Pietrovski Y., Engel I., Assali R., Hourri-Haddad Y., Beyth N. 2023. Biocompatibility, Surface Morphology, and Bacterial Load of Dental Implant Abutments following Decontamination Protocols: An In-Vitro Study. *Materials (Basel)*. 16 (11): 4080. doi: 10.3390/ma16114080. PMID: 37297212; PMCID: PMC10254387

Wu X., Cai C., Gil J., Jantz E., Al Sakka Y., Padial-Molina M., Suárez-López Del Amo F. 2022. Characteristics of Particles and Debris Released after Implantoplasty: A Comparative Study. *Materials (Basel)*. 14; 15(2): 602. doi: 10.3390/ma15020602. PMID: 35057319; PMCID: PMC8779414

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 24.03.2026

Received March 24, 2026

Поступила после рецензирования 20.04.2026

Revised April 20, 2026

Принята к публикации 09.06.2026

Accepted June 09, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Азарова Наталья Сергеевна, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры хирургической стоматологии, Воронежский государственный медицинский университет, г. Воронеж, Россия

[ORCID: 0000-0001-9667-7080](https://orcid.org/0000-0001-9667-7080)

Natalia S. Azarova, Doctor of Sciences in Medicine, Associate Professor, Professor of the Dental Surgery Department, N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia

Харитонов Илья Дмитриевич, ассистент кафедры терапевтической стоматологии, Воронежский государственный медицинский университет, г. Воронеж, Россия

[ORCID: 0000-0001-8332-565X](https://orcid.org/0000-0001-8332-565X)

Ilya D. Kharitonov, Assistant of the Therapeutic Dentistry Department, N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia

Агапов Борис Львович, кандидат технических наук, научный сотрудник, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

[ORCID: 0009-0001-5064-7908](https://orcid.org/0009-0001-5064-7908)

Boris L. Agapov, Candidate of Sciences in Technology, Research fellow, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Степанов Илья Вячеславович, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры хирургической стоматологии, Воронежский государственный медицинский университет, г. Воронеж, Россия

[ORCID: 0000-0002-8595-4035](https://orcid.org/0000-0002-8595-4035)

Ilya V. Stepanov, Doctor of Sciences in Medicine, Associate Professor, Professor of the Dental Surgery Department, N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia

Квашнин Дмитрий Викторович, ассистент кафедры хирургической стоматологии, Воронежский государственный медицинский университет, г. Воронеж, Россия

[ORCID: 0000-0003-1298-0213](https://orcid.org/0000-0003-1298-0213)

Dmitry V. Kvashnin, Assistant of the Dental Surgery Department, N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia

Антонян Арпине Бронислави, доцент кафедры хирургической стоматологии, Воронежский государственный медицинский университет, г. Воронеж, Россия

[ORCID: 0009-0007-9160-2961](https://orcid.org/0009-0007-9160-2961)

Arpine B. Antonyan, Associate Professor of the Dental Surgery Department, N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia