

MPNТИ 61.37.01

Р.Б. Жарлыкапова¹ – основной автор, ©
Д.С. Бейсекина², А.С. Губарева³,
А.Н. Нурлыбаева⁴, К.Б. Булекбаева⁵, Е.Т. Боташев⁶



^{1,5}Канд. техн. наук, ассоц. профессор, ^{2,3}Студент, ^{4,6}PhD, ассоц. профессор

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-1243-3068> ⁴<https://orcid.org/0000-0001-9904-9979>

⁶<https://orcid.org/0000-0001-5090-3142>



^{1,2,3,4}Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

⁵Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
г. Тараз, Казахстан

⁶Южно-Казахстанский государственный университет им. М.О. Ауэзова,
г. Шымкент Казахстан



⁴rustem_ergali@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/BGCN6326>

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Аннотация. В работе были исследованы спектры различных стоматологических полимеров, таких как белакрил и полиметилметакрилат, методом инфракрасной спектроскопии, при помощи приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Была проведена интерпретация полученных спектров, сделан анализ функциональных групп, проведено сравнительное исследование между спектрами белакрила, полиметилметакрилата и неизвестного образца. Выявлены основные различия в их структуре и сделаны выводы о сходствах исследуемого вещества с белакрилом.

Ключевые слова: инфракрасная спектроскопия, стоматологические полимеры, белакрил, полиметилметакрилат, спектр, метод НПВО.



Жарлыкапова, Р.Б. Исследование стоматологических полимеров методом инфракрасной спектроскопии [Текст] / Р.Б. Жарлыкапова, Д.С. Бейсекина, А.С. Губарева, А.Н. Нурлыбаева, К.Б. Булекбаева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №1(87). – С.305-311. <https://doi.org/10.55956/BGCN6326>

Введение. В настоящее время полимерные материалы находят все большее применение в медицине, промышленности и других областях. Это создает необходимость разработки новых материалов и эффективных методов анализа их свойств и качества. Полимеры применяются в различных отраслях – от упаковочных материалов до создания зубных протезов. Изучение их структуры и свойств, таких как прочность, термостойкость и эластичность, дает возможность исследовать характеристики самого полимера и его возможности применения во множестве направлений. Среди возможных химических методов анализа полимеров инфракрасная спектроскопия выделяется своей скоростью, качеством и информативностью. Она позволяет определить тип химических связей и функциональные группы, что делает её наиболее успешной в анализе полимеров [1].

Условия и методы исследования. В основе инфракрасной спектроскопии лежит взаимодействие инфракрасного излучения с молекулой вещества. При воздействии инфракрасных лучей на вещество – энергия поглощается молекулой, вызывая колебания химических связей. Эти колебания зависят от массы атомов и силы химических связей. Функциональные группы в молекуле полимера поглощают инфракрасное излучение на разных длинах волн, что отображается в виде спектра поглощения. Основными свойствами спектра являются полосы поглощения, характеризующие определённые химические связи. Например, карбонильные группы ($C=O$) дают интенсивные полосы в области 1700 см^{-1} , а метильные группы (CH_3-) около 3000 см^{-1} [2].

Результаты исследований. Для исследования структуры полимеров с помощью ИК-спектроскопии образцы могут быть подготовлены различными способами, в том числе получением тонких плёнок, таблеток из небольшого количества исследуемого вещества с бромидом калия (KBr) или использование метода нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО).

В ходе эксперимента исследованы спектры трех различных стоматологических полимеров (Рисунок 3) [3-6].

Первый спектр (рис. 1) принадлежит анализируемому веществу. Как видно из рисунка анализируемому веществу соответствуют такие полосы поглощения как:

- 3000 см^{-1} – узкая, средней интенсивности полоса – CH_3 в $O-CH_3$.
- 2950 см^{-1} – узкая, средней интенсивности полоса – CH_3 , CH_2 .
- 1733 см^{-1} – очень интенсивная полоса – $C=O$.
- $1480, 1445, 1430\text{ см}^{-1}$ – полоса средней интенсивности – CH_3 в $O-CH_3 + CH_3$ в $O-CH_3+CH_2$
- 1385 см^{-1} – полоса, средней интенсивности – CH_3 .
- $1245, 1195, 1150\text{ см}^{-1}$ – интенсивная полоса – $C-O-C$.
- $985, 845\text{ см}^{-1}$ – полоса средней интенсивности.

Белакрил представляет собой сополимер, который обычно включает в себя ПММА (полиметилметакрилат) и различные акриловые мономеры. Анализ спектров поглощения полимера белакрила и анализируемого вещества показал что спектр неизвестного полимера практически идентичен спектру белакрила (рис. 2). На основании этого можно сделать вывод, что это одно и то же вещество [7].

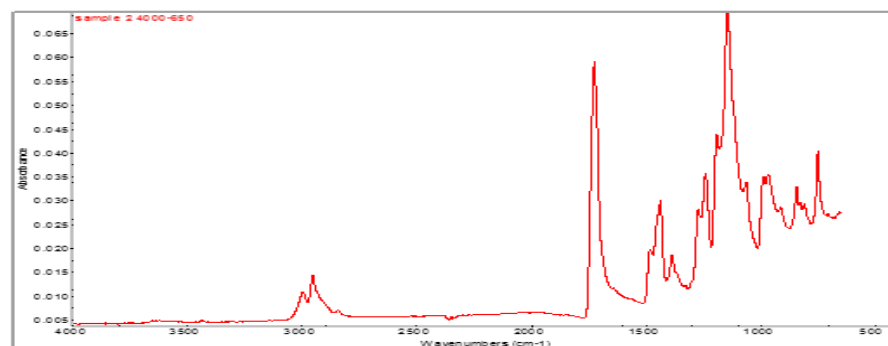


Рис. 1. ИК спектр неизвестного образца

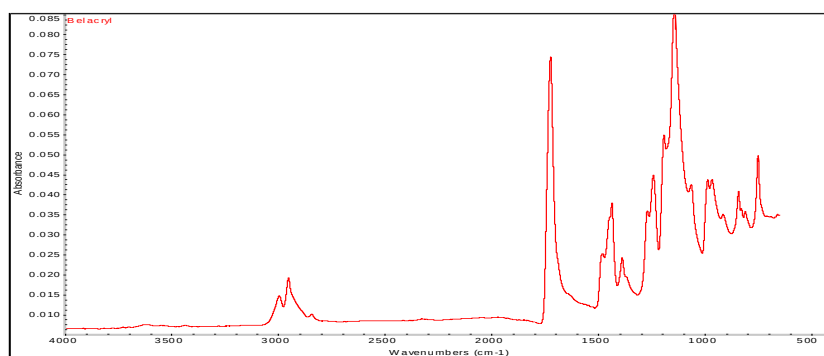


Рис. 2. ИК спектр белакрила

На рисунке 3 показаны спектры поглощения полиметилметакрилата (ПММА), также известный как акриловое стекло. Полиметилметакрилат имеет следующие характерные пики в ИК спектре:

- 3000 cm^{-1} – узкая, средней интенсивности полоса – CH_3 в $\text{O}-\text{CH}_3$.
- 2950 cm^{-1} – узкая, средней интенсивности полоса – CH_3CH_2 .
- 1733 cm^{-1} – очень интенсивная полоса – $\text{C}=\text{O}$.
- 1480/1445/1430 cm^{-1} – полоса средней интенсивности – CH_3 в $\text{O}-\text{CH}_3 + \text{CH}_3$ в $\text{O}-\text{CH}_3 + \text{CH}_2$.
- 1385 cm^{-1} – полоса, средней интенсивности – CH_3 .
- 1275 cm^{-1} – интенсивная полоса – $\text{C}-\text{O}-\text{C}$.
- 1245/1195/1150 cm^{-1} – интенсивная полоса – $\text{C}-\text{O}-\text{C}$.
- 985/845 cm^{-1} – полоса средней интенсивности.
- 740–750 cm^{-1} – полоса средней интенсивности, которая присутствует только в метакрилате [8].

Основные полосы поглощения для ПММА и белакрила имеют схожесть из-за наличия общих функциональных групп, таких как метильные и карбонильные группы эфиров. Полиметилкрилат имеет чёткие полосы, соответствующие метильным и карбонильной группам эфира, а белакрил имеет дополнительные изменённые пики зависящие от состава сополимера.

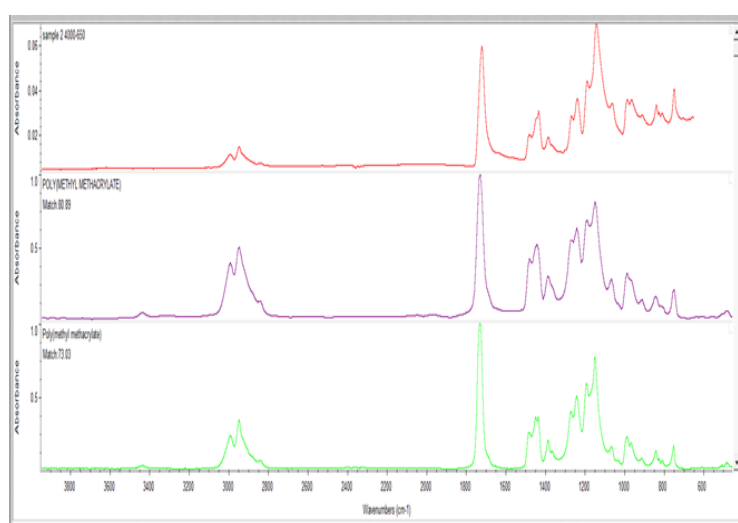


Рис. 3. Сравнение спектров трех образцов: неизвестного образца, полиметилкрилата и белакрила

Обсуждение научных результатов. Белакрил – это акриловый полимер, часто применяемый в стоматологических материалах для протезирования и создания пломбировочных материалов. Основные пики в ИК-спектре белакрила могут включать:

- C=O (карбонильная группа): Пик в области 1720-1740 см^{-1} . Это основной характерный пик для акрилатов, указывающий на присутствие карбонильных групп.

- C-O-C (эфирная связь): Пики в области 1000-1300 см^{-1} , указывают на наличие эфирных групп.

- C-H (алкановые связи): Пики в области 2850-2950 см^{-1} , которые говорят о присутствии алканов.

- C=C (неполностью прореагировавшие мономеры): Слабые пики в области 1600-1640 см^{-1} , указывающие на присутствие остатков неполимеризованного мономера [9].

Метилметакрилат (ММА) – это мономер, который полимеризуется в полиметилметакрилат (ПММА). Характерные пики в ИК-спектре метилметакрилата:

- C=O (карбонильная группа): Пик в области 1730-1750 см^{-1} , аналогичный белакрилу, указывающий на наличие карбонильных групп.

- C-O-C (эфирная связь): Пики в области 1100-1300 см^{-1} , свидетельствующие о присутствии эфирных групп.

- C-H (алкановые связи): Пики в области 2950-3100 см^{-1} , которые указывают на алкановые связи.

- C=C (неполимеризованные мономеры): Пики в области 1635-1650 см^{-1} , указывающие на двойные связи неполимеризованного мономера.

Оба полимера показывают сильные пики карбонильных групп, что подтверждает наличие акрилатных мономеров [10].

Различия в интенсивности и положении пиков в области C-H и C=C могут указывать на различия в степени полимеризации, а также на различия в структуре боковых цепей и мономерных единиц. ИК-спектроскопия предоставляет важную информацию о химическом составе и структуре полимеров, используемых в стоматологии, и позволяет контролировать качество и степень полимеризации материалов, что критически важно для их функциональности и долговечности в клиническом применении.

Была проведена сравнительная характеристика инфракрасных (ИК) спектров полимеров, таких как полиметилметакрилат (ПММА), белакрил и неизвестный полимер с использованием метода НПВО (нарушенного поглощения внутреннего отражения) [11].

Основные результаты исследования показали, что ИК спектры ПММА четко идентифицируют полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям C-H в метильных группах (3000-2950 см^{-1}). В анализируемом образце были выявлены сильные полосы поглощения карбонильной группы (C=O) в области 1730-1720 см^{-1} , характерные для сложных эфиров. Также обнаружены деформационные колебания метильных групп в диапазоне 1480-1440 см^{-1} , полосы поглощения валентных колебаний C-O-C (1250-1150 см^{-1}) и внеплоскостные колебания C-H (950-900 см^{-1}).

В ИК спектрах белакрила, помимо основных полос, характерных также для ПММА, содержатся дополнительные полосы, обусловленные присутствием других акриловых мономеров. Установлены полосы, связанные с валентными колебаниями C-H в алкильных группах (3000-2800 см^{-1}), и

выявлены дополнительные карбонильные полосы в области $1750-1700\text{ см}^{-1}$, что может свидетельствовать о наличии кетоновых структур. Наблюдаются полосы поглощения, обусловленные различными группами C-O-C и C-O ($1250-1150\text{ см}^{-1}$) и деформационными колебаниями C-H ($1000-900\text{ см}^{-1}$).

Заключение. Анализ спектров белакрыла и исследуемого стоматологического полимера, показал что их структура совпадает на 80.89%. Благодаря этому можно сделать вывод, что в основе состава исследуемого образца лежат функциональные группы, характерные для белакрыла. Основные отличия в структуре белакрыла и исследуемого образца говорят о том, что в анализируемом образце имеются сильные полосы поглощения карбонильной группы (C=O) в области $1730-1720\text{ см}^{-1}$, характерные для сложных эфиров. Также были обнаружены деформационные колебания метильных групп в диапазоне $1480-1440\text{ см}^{-1}$, полосы поглощения валентных колебаний C-O-C ($1250-1150\text{ см}^{-1}$) и внеплоскостные колебания C-H ($950-900\text{ см}^{-1}$) [12,13].

Список литературы

1. Bhargava R., Wang S.Q., Koenig J.L. FTIR microspectroscopy of polymeric systems // Liquid chromatography/FTIR microspectroscopy/microwave assisted synthesis. – 2003. – P. 137-191.
2. Dritsa V. FT-IR spectroscopy in medicine // Infrared Spectroscopy Life and Biomaterial Sciences Theophanides T (ed) Rijeka, Croatia, Intech Publications. – 2012. – P. 271-88.
3. Deepty M. et al. XRD, EDX, FTIR and ESR spectroscopic studies of co-precipitated Mn-substituted Zn-ferrite nanoparticles // Ceramics International. – 2019. – Vol. 45. – No. 6. – P. 8037-8044.
4. Dritsa V. FT-IR spectroscopy in medicine // Infrared Spectroscopy Life and Biomaterial Sciences Theophanides T (ed) Rijeka, Croatia, Intech Publications. – 2012. – P. 271-88.
5. Hamid S.H., Prichard W.H. Application of infrared spectroscopy in polymer degradation // Polymer-Plastics Technology and Engineering. – 1988. – Vol. 27. – No. 3. – P. 303-334.
6. Vijayakumar S., Rajakumar P. R. Infrared spectral analysis of waste pet samples // International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy. – 2012. – Vol. 4. – P. 58-65.
7. Hamid S.H., Prichard W.H. Application of infrared spectroscopy in polymer degradation // Polymer-Plastics Technology and Engineering. – 1988. – Vol. 27. – No. 3. – P. 303-334.
8. Vijayakumar S., Rajakumar P.R. Infrared spectral analysis of waste pet samples // International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy. – 2012. – Vol. 4. – P. 58-65.
9. Огородников М.Ю. Новые базисные материалы на основе полиуретана для съемных зубных протезов–исследование химической и биологической безопасности [Текст] / М.Ю. Огородников // Институт стоматологии. – 2004. – Т. 1. – С. 87-90.
10. Рыжова И.П. Взаимосвязь заболеваний внутренних органов и заболеваний полости рта [Текст] / И.П. Рыжова, В.С. Яковлева // IX международная научно-практ. конф. «Стоматология славянских государств». – Белгород: БелГУ, 2016. – С. 504-508.
11. Рыжова И.П. Сравнительная характеристика новой базисной пластмассы «Белакрыл-Э ГО» с аналогами [Текст] / И.П. Рыжова, В.С. Штана // Сборник научных работ 46-й Международной научной конф. Евразийского научного объединения. – М.: ЕНО, 2018. – С. 430.

12. Рыжова И.П. Обзор современных базисных полимеров в ортопедической стоматологии [Текст] / И.П. Рыжова, В.С. Штана // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. – 2019. – № 2. – С. 224-34.
13. Рыжова И.П. Possible ways of formation of the domestic basic material «Belakril-EGO» [Текст] / И.П. Рыжова, В.С. Штана, Д.М. Филиппов // Международная научная конф. студентов и молодых ученых на английском языке «Актуальные вопросы медицины». – Ставрополь: СтГМУ, 2019. – С. 144.

Материал поступил в редакцию 20.12.24, принят 19.03.25.

**Р.Б. Жарлыкапова¹, Д.С. Бейсекина¹,
А.С. Губарева¹, А.Н. Нурлыбаева¹, К.Б. Булекбаева², Е.Т. Боташев³**

¹*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*
²*Д.И. Менделеев атындағы Ресей химия-технологиялық университеті,
Тараз қ, Қазақстан*
³*М. Әуезова атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
Шымкент қ., Қазақстан*

ТІС ПОЛИМЕРЛЕРІН ИНФРАҚЫЗЫЛ СПЕКТРОСКОПИЯМЕН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Белакрил және полиметилметакрилат стоматологиялық полимерлері инфрақызыл спектроскопия әдісімен және ішкі шағылудың бұзылу қосымшасын пайдалана отырып зерттелді. Спектрлерге түсінік беріліп, функционалды топтарға талдау жүргізілді және белгісіз үлгіні полиметилметакрилат және белакрил спектрлерімен салыстырмалы зерттеу жасалды. Спектрлер құрамындағы негізгі айырмашылықтар анықталып, зерттелген заттың белакрилмен ұқсастықтары оның функционалдық топтарының құрылымынан көрінеді.

Тірек сөздер: инфрақызыл спектроскопия, стоматологиялық полимер, белакрил, полиметилметакрилат, спектр, НПВО әдісі.

**R.B. Zharlykapova¹, D.S. Beisekina¹,
A.S. Gubareva¹, A.N. Nurlybayeva¹, K.B. Bulekbayeva², Ye.T. Botashev³**

¹*M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*
²*Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
Taraz, Kazakhstan*
³*South Kazakhstan State University named after M.O. Auezov,
Shymkent, Kazakhstan*

STUDY OF DENTAL POLYMERS USING INFRARED SPECTROSCOPY

Abstract. The spectra of various dental polymers, such as Belacryl and polymethylmethacrylate, were studied using infrared spectroscopy, using a disturbed total internal reflection (TIR) attachment. The obtained spectra were interpreted, the functional groups were analyzed, and a comparative study was conducted between the spectra of Belacryl, polymethylmethacrylate, and an unknown sample. The main differences in their structure were identified, and conclusions were made regarding the similarities of the studied substance with Belacryl.

Keywords: infrared spectroscopy, dental polymers, Belacryl, polymethylmethacrylate, spectrum, FTIR method.

References

1. Bhargava R., Wang S.Q., Koenig J.L. FTIR microspectroscopy of polymeric systems // Liquid chromatography/FTIR microspectroscopy/microwave assisted synthesis. – 2003. – P. 137-191.
2. Dritsa V. FT-IR spectroscopy in medicine // Infrared Spectroscopy Life and Biomaterial Sciences Theophanides T (ed) Rijeka, Croatia, Intech Publications. – 2012. – P. 271-88.
3. Deepty M. et al. XRD, EDX, FTIR and ESR spectroscopic studies of co-precipitated Mn-substituted Zn-ferrite nanoparticles // Ceramics International. – 2019. – Vol. 45. – No. 6. – P. 8037-8044.
4. Dritsa V. FT-IR spectroscopy in medicine // Infrared Spectroscopy Life and Biomaterial Sciences Theophanides T (ed) Rijeka, Croatia, Intech Publications. – 2012. – P. 271-88.
5. Hamid S.H., Prichard W.H. Application of infrared spectroscopy in polymer degradation // Polymer-Plastics Technology and Engineering. – 1988. – Vol. 27. – No. 3. – P. 303-334.
6. Vijayakumar S., Rajakumar P. R. Infrared spectral analysis of waste pet samples // International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy. – 2012. – Vol. 4. – P. 58-65.
7. Hamid S.H., Prichard W.H. Application of infrared spectroscopy in polymer degradation // Polymer-Plastics Technology and Engineering. – 1988. – Vol. 27. – No. 3. – P. 303-334.
8. Vijayakumar S., Rajakumar P.R. Infrared spectral analysis of waste pet samples // International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy. – 2012. – Vol. 4. – P. 58-65.
9. Ogorodnikov M.YU. Novyye bazisnyye materialy na osnove poliuretana dlya s"yemnykh zubnykh protezov–issledovaniye khimicheskoy i biologicheskoy bezopasnosti [New polyurethane-based base materials for removable dentures - a study of chemical and biological safety] // Institut stomatologii. – 2004. – Vol. 1. – P. 87-90. [in Russian].
10. Ryzhova I.P., Yakovleva V.S. Vzaimosvyaz' zabolevaniy vnutrennikh organov i zabolevaniy polosti rta [The relationship between diseases of internal organs and diseases of the oral cavity] // IX international scientific and practical. conf. "Stomatologiya slavyanskikh gosudarstv" ["Dentistry of Slavic states"]. – Belgorod: BelSU, 2016. – P. 504-508. [in Russian].
11. Ryzhova I.P., Shtana V.S. Sravnitel'naya kharakteristika novoy bazisnoy plastmassy «Belakril-E GO» s analogami [Comparative characteristics of the new base plastic "Belakril-E GO" with analogues] // Collection of scientific papers of the 46th International Scientific Conf. of the Eurasian Scientific Association. – Moscow: ENO, 2018. – P. 430. [in Russian].
12. Ryzhova I.P., Shtana V.S. Obzor sovremennykh bazisnykh polimerov v ortopedicheskoy stomatologii [Review of modern basic polymers in orthopedic dentistry] // Scientific bulletin of Belgorod State University. Series: Medicine. Pharmacy. – 2019. – No 2. – P. 224-34. [in Russian].
13. Ryzhova I.P., Shtana V.S., Filippov D.M. Possible ways of formation of the domestic basic material "Belakril-EGO" [Possible ways of formation of the domestic basic material "Belakril-EGO"] // International scientific conf. of students and young scientists in English "Aktual'nyye voprosy meditsiny" ["Current issues of medicine"]. – Stavropol: StGMU, 2019. – P. 144. [in Russian].