

УДК 665.637, 678.742
МРНТИ 54.43.15, 28.17.13

DOI: [10.54859/kjogi108852](https://doi.org/10.54859/kjogi108852)

Получена: 31.03.2025.

Одобрена: 22.04.2025.

Опубликована: 30.09.2025.

Оригинальное исследование

Анализ структуры битумно-полимерных композитов по данным ИК-спектроскопии

Г.Ж. Сейтенова¹, А.Г. Сыздык², А.Е. Джексембаева², Р.М. Дюсова³

¹Ассоциация производителей и потребителей нефтегазохимической продукции, г. Астана, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

³Торайгыров Университет, г. Павлодар, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Использование битумно-полимерных композитов является актуальным направлением для улучшения эксплуатационных характеристик битумных материалов в дорожном строительстве. Изучение структуры и механизмов взаимодействия компонентов в таких композициях позволяет оптимизировать составы и повысить качество конечного продукта.

Цель. Целью работы является исследование структуры и характера взаимодействия компонентов битумно-полимерных композитов на основе битума, полипропилена и тяжёлых нефтяных остатков с использованием метода инфракрасной (далее – ИК) спектроскопии.

Материалы и методы. В исследовании использовали метод ИК-спектроскопии для анализа структурных изменений в композитах. Изучались спектры исходных компонентов (битума, полипропилена, тяжёлых нефтяных остатков) и модифицированного битума. Проводили сравнительный анализ положения и интенсивности характеристических полос поглощения, соответствующих основным функциональным группам.

Результаты. Установлено, что при введении полипропилена происходят изменения в спектрах поглощения битума, особенно в области валентных колебаний углерод-водородных и углерод-кислородных связей. Это свидетельствует о структурных преобразованиях и перераспределении молекулярных взаимодействий в системе. Дополнительное введение тяжёлых нефтяных остатков усиливает эти эффекты, приводя к изменению физических характеристик композита, в частности, увеличению температуры размягчения и снижению пенетрации. Показано, что степень взаимодействия компонентов зависит от концентрации полимера и условий модификации.

Заключение. Полученные результаты раскрывают механизмы структурообразования и взаимодействия компонентов в битумно-полимерных композитах, обеспечивая научную основу для оптимизации рецептур модифицированных битумов. Работа способствует развитию методов исследования и расширению применения битумных материалов в строительной и дорожной индустрии.

Ключевые слова: битумно-полимерный композит, ИК-спектроскопия, полипропилен, тяжёлые нефтяные остатки, функциональные группы, структурные преобразования.

Как цитировать:

Сейтенова Г.Ж., Сыздык А.Г., Джексембаева А.Е., Дюсова Р.М. Анализ структуры битумно-полимерных композитов по данным ИК-спектроскопии // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2025. Том 7, №3. С. 51–58. DOI: [10.54859/kjogi108852](https://doi.org/10.54859/kjogi108852).

UDC 665.637, 678.742
CSCSTI 54.43.15, 28.17.13

DOI: [10.54859/kjogi108852](https://doi.org/10.54859/kjogi108852)

Received: 31.03.2025.

Accepted: 22.04.2025.

Published: 30.09.2025.

Original article

Analysis of the Structure of Bitumen-Polymer Composites based on IR Spectroscopy Data

Gaini Zh. Seitenova¹, Ayazhan G. Syzdyk², Assel Ye. Dzheksembayeva²,
Rizagul M. Dyussova³

¹Association of Producers and Consumers of Petrogaschemical Products (Petrogaschemical Association), Astana, Kazakhstan

²Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

³Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

ABSTRACT

Background: The use of bitumen-polymer composites is a relevant and promising approach to improving the performance characteristics of bituminous materials in road construction. Studying the structure and interaction mechanisms of components in such composites enables the optimization of formulations and enhancement of the final product's quality.

Aim: The aim of this research is to investigate the structure and the nature of interactions between the components of bitumen-polymer composites based on bitumen, polypropylene, and heavy petroleum residues using infrared (IR) spectroscopy.

Materials and methods: The IR spectroscopy method was used to analyze structural changes in the composites. The spectra of the initial components (bitumen, polypropylene, heavy petroleum residues) and the modified bitumen were studied. A comparative analysis of the position and intensity of characteristic absorption bands corresponding to the main functional groups was carried out.

Results: It was found that the introduction of polypropylene causes changes in the bitumen absorption spectra, particularly in the region of the stretching vibrations of carbon-hydrogen and carbon-oxygen bonds. This indicates structural transformations and redistribution of molecular interactions within the system. The additional incorporation of heavy petroleum residues amplifies these effects, resulting in changes in the physical properties of the composite, – notably, increasing the softening temperature and decreasing penetration. It was shown that the degree of interaction between components depends on polymer concentration and modification conditions.

Conclusion: The obtained results reveal the mechanisms of structure formation and component interaction in bitumen-polymer composites, providing a scientific foundation for optimizing modified bitumen formulations. The work contributes to the development of research methodologies and expands the application of bituminous materials in construction and road industries.

Keywords: bitumen-polymer composite; IR spectroscopy; polypropylene; heavy petroleum residues; functional groups; structural transformations.

To cite this article:

Seitenova GZ, Syzdyk AG, Dzheksembayeva AY, Dyussova RM. Analysis of the Structure of Bitumen-Polymer Composites based on IR Spectroscopy Data. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2025;7(3):51–58. DOI: [10.54859/kjogi108852](https://doi.org/10.54859/kjogi108852).

ӨОЖ 665.637, 678.742
ГТАХР 54.43.15, 28.17.13

DOI: [10.54859/kjogi108852](https://doi.org/10.54859/kjogi108852)

Қабылданды: 31.03.2025.

Мақұлданды: 22.04.2025.

Жарияланды: 30.09.2025.

Түпнұсқа зерттеу

ИК-спектроскопия деректері бойынша битум-полимерлі композиттердің құрылымын талдау

Г.Ж. Сейтенова¹, А.Ф. Сыздық², А.Е. Джексембаева², Р.М. Дюсова³

¹Мұнай-газ-химия өнімдерін өндірушілер мен тұтынушылар қауымдастығы (Мұнай-газ-химия қауымдастығы), Астана қаласы, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қаласы, Қазақстан

³Торайғыров Университеті, Павлодар қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Битум-полимерлі композиттерді пайдалану жол құрылысында битум материалдарының пайдалану сипаттамаларын жақсартудың өзекті бағыты болып табылады. Мұндай композициялардағы компоненттердің өзара әрекеттесуінің құрылымы мен механизмдерін зерттеу композицияларды оңтайландыруға және соңғы өнімнің сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Мақсаты. Жұмыстың мақсаты инфрақызыл (бұдан әрі – ИК) спектроскопия әдісін пайдалана отырып, битум, полипропилен және ауыр мұнай қалдықтары негізіндегі битум-полимерлі композиттер компоненттерінің құрылымы мен өзара әрекеттесу сипатын зерттеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында композиттердегі құрылымдық өзгерістерді талдау үшін ИК спектроскопия әдісі қолданылды. Бастапқы компоненттердің (битум, полипропилен, ауыр мұнай қалдықтары) және модификацияланған битумның спектрлері зерттелді. Негізгі функционалды топтарға сәйкес келетін сипаттамалық сіңіру жолақтарының жағдайы мен қарқындылығына салыстырмалы талдау жүргізілді.

Нәтижелері. Полипропиленді енгізу кезінде битумды сіңіру спектрлерінде, әсіресе көміртегі-сутегі және көміртегі-оттегі байланыстарының валенттік тербелісі аймағында өзгерістердің болатыны анықталды. Бұл жүйедегі молекулалық өзара әрекеттесулердің құрылымдық түрленуі мен қайта бөлінуін көрсетеді. Ауыр мұнай қалдықтарын қосымша енгізу бұл әсерлерді күшейтеді, композиттің физикалық сипаттамаларының өзгеруіне, атап айтқанда жұмсарту температурасының жоғарылауына және енудің (пенетрацияның) төмендеуіне әкеледі. Компоненттердің өзара әрекеттесу дәрежесі полимер концентрациясына және модификация жағдайларына байланысты екендігі көрсетілді.

Қорытынды. Алынған нәтижелер модификацияланған битумдардың рецептураларын оңтайландырудың ғылыми негізін қамтамасыз ете отырып, битум-полимерлі композиттердегі компоненттердің құрылымы мен өзара әрекеттесу механизмдерін ашады. Бұл жұмыс зерттеу әдістерін дамытуға және құрылыс және жол индустриясында битум материалдарын қолдануды кеңейтуге ықпал етеді.

Негізгі сөздер: битум-полимерлі композит, ИК-спектроскопия, полипропилен, ауыр мұнай қалдықтары, функционалды топтар, құрылымдық өзгерістер.

Дәйексөз келтіру үшін:

Сейтенова Г.Ж., Сыздық А.Ф., Джексембаева А.Е., Дюсова Р.М. ИК-спектроскопия деректері бойынша битум-полимерлі композиттердің құрылымын талдау // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2025. 7 том, №3. 51–58 б. DOI: [10.54859/kjogi108852](https://doi.org/10.54859/kjogi108852).

Введение

Битумно-полимерные композиты представляют собой перспективные материалы, обладающие улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с немодифицированным битумом [1]. Добавление полимеров позволяет повысить термостойкость, пластичность и устойчивость к старению, что особенно важно для их использования в дорожном строительстве и гидроизоляции [2]. В последнее время особый интерес вызывают исследования, направленные на изучение структурных изменений битумных композитов с помощью ИК-спектроскопии, которая позволяет идентифицировать функциональные группы и оценить химические преобразования в материале [3, 4].

Полипропилен является одним из наиболее широко применяемых полимеров в модификации битума, поскольку он обладает высокой стойкостью к термоокислительному старению и улучшает механические свойства конечного продукта [5]. Однако взаимодействие битума с полипропиленом зависит от ряда факторов, включая концентрацию полимера, условия смешивания и наличие дополнительных модификаторов [6, 7].

Тяжёлые нефтяные остатки играют важную роль в регулировании свойств битумных композитов, влияя на их реологические и термические характеристики [8]. Исследования показывают, что их совместное применение с полимерами может привести к образованию композиций с улучшенной эластичностью и когезионной прочностью [9].

ИК-спектроскопия зарекомендовала себя как эффективный метод анализа структуры битумно-полимерных материалов [10]. Спектральный анализ даёт возможность отслеживать процессы окисления, полимеризации и деструкции, что особенно важно при изучении долговечности материалов [11–15].

Настоящая работа посвящена исследованию структуры битумно-полимерных композитов на основе битума, полипропилена и тяжёлых нефтяных остатков методом ИК-спектроскопии. Основная цель исследования – оценить влияние различных концентраций полипропилена на спектральные характеристики образцов и выявить закономерности их структурных изменений [16, 17]. В ходе экспериментов проанализированы основные пики ИК-спектров, относящиеся к характеристическим функциональным группам битума и полимера, а также их изменения после окисления [18–20]. Анализ структуры битумно-полимерных композитов на основе битума, полипропилена и тяжёлых нефтяных остатков с применением ИК-спектроскопии позволит выявить характер взаимодействия в системе и определить влияние полимерной модификации на молекулярную структуру битума.

Материалы и методы

Для идентификации функциональных групп в составе исследуемых образцов приме-

нялась ИК Фурье-спектроскопия (далее – FTIR, *англ.* Fourier transform infrared spectroscopy). Спектры были зарегистрированы с использованием спектрометра IRTracer-100 SHIMADZU в диапазоне $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} . Анализ полимерных образцов (вторичный полипропилен, полипропиленовый мешок, пупырчатая плёнка) проводился в виде тонкой плёнки с целью выявления характерных полос поглощения. Основное внимание уделялось идентификации колебаний C–H, C=O и других функциональных групп, указывающих на возможные структурные изменения материала после модификации битума.

В ходе исследования использовались следующие материалы:

1. Битум марки БНД 100/130 отечественного производителя ТОО «Павлодарский нефтехимический завод». Данный битум обладает высокой вязкостью и широко применяется в дорожном строительстве благодаря своим эксплуатационным характеристикам, обеспечивающим его эффективность в различных климатических условиях.

2. Вторичный полипропилен, полученный от ТОО «Компания Нефтехим LTD», представляет собой переработанный термопластичный материал на основе пропилена. Его спектр демонстрирует характерные полосы поглощения, соответствующие различным типам полимеров, включая изотактический полипропилен, сополимеры полиэтилена и пропилена и другие полимерные структуры.

3. Тяжёлый нефтяной остаток марки H603. Он использовался для регулирования вязкости и улучшения технологических характеристик полимерно-модифицированного битума. Введение нефтяного остатка повышает текучесть материала и обеспечивает равномерное распределение компонентов в смеси, способствуя получению оптимального баланса между пластичностью и вязкостью. Это улучшает долговечность и устойчивость дорожных покрытий.

На рис. 1 представлены ИК-спектры исследованных материалов. ИК-спектры исследуемых образцов демонстрируют характерные полосы поглощения, соответствующие основным функциональным группам. Валентные колебания C–H в CH_2 - и CH_3 - группах наблюдаются в области 2956 и 2854 см^{-1} для всех образцов с различной интенсивностью. Полоса поглощения карбонильных групп C=O (около 1700 см^{-1}) выражена в битуме и тяжёлом нефтяном остатке, что свидетельствует о наличии кислородсодержащих соединений, таких как асфальтены и кетоны. В спектре полипропилена данная полоса отсутствует или проявляется слабо. Деформационные колебания CH_2 - и CH_3 - фиксируются при 1460 и 1375 см^{-1} с максимальной интенсивностью в полипропилене. Колебания $(\text{CH}_2)_n$ - групп (около 720 см^{-1}), характерные для длинноцепочечных углеводородов, отчётливо выражены в битуме и тяжёлом нефтяном остатке. Колебания C–C и C–H в кристалличе-

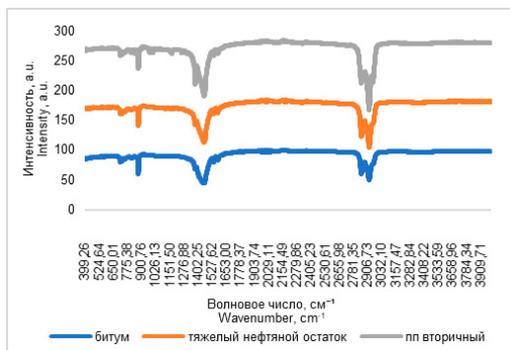


Рисунок 1. ИК-спектры битума, тяжёлого нефтяного остатка и вторичного полипропилена

Figure 1. IR spectra of bitumen, heavy oil residue, and secondary polypropylene

ской структуре полипропилена проявляются в области 993–918 cm^{-1} . ИК-спектральный анализ показал, что полипропилен характеризуется интенсивными пиками, соответствующими колебаниям CH_2 , CH_3 и $\text{C}-\text{C}$, что свидетельствует о его насыщенном углеводородной природе и отсутствии кислородсодержащих соединений. В спектрах битума и тяжёлого нефтяного остатка наблюдаются выраженные полосы поглощения карбонильных групп ($\approx 1700 \text{ cm}^{-1}$), а также колебания, характерные для насыщенных углеводородов (2956 и 2854 cm^{-1}).

Это подтверждает их сложный состав, включающий асфальтены, смолистые и полярные компоненты. Анализ интенсивности спектральных полос позволяет оценить степень взаимодействия компонентов в модифицированном материале, что может быть полезно при исследовании структуры битумно-полимерных композитов.

Результаты и обсуждение

На представленных ИК-спектрах (рис. 2) для смесей битума и полипропилена в пропорциях 94% : 6% и 95% : 5% соответственно наблюдаются основные колебания, характерные для исходных компонентов.

В области 2956 и 2854 cm^{-1} отмечаются интенсивные полосы, соответствующие валентным колебаниям $\text{C}-\text{H}$ в CH_2 - и CH_3 - группах, что подтверждает наличие насыщенных углеводородных фрагментов, характерных для битума и полипропилена. В районе 1700 cm^{-1} , отвечающем за карбонильные группы $\text{C}=\text{O}$, интенсивность полосы снижена по сравнению с чистым битумом, что может свидетельствовать о частичном экранировании кислородсодержащих соединений за счёт взаимодействия битума с полимером. Деформационные колебания CH_2 - и CH_3 - групп в области 1460 и 1375 cm^{-1} сохраняются, что подтверждает присутствие полипропилена в смеси. Полоса около 720 cm^{-1} , характерная для $(-\text{CH}_2)_n$ - групп (длинноцепочечные углеводороды), также хорошо

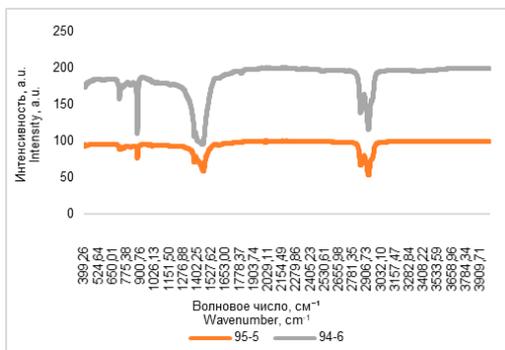


Рисунок 2. ИК-спектры битумно-полимерных композитов с разными массовыми соотношениями битума и полимера
Figure 2. IR spectra of bitumen-polymer composites with different mass ratios of bitumen and polymer

выражена, что указывает на наличие структурных углеводородных соединений. В диапазоне 993–918 cm^{-1} присутствуют полосы, характерные структуре полипропилена, что подтверждает его распределение в битумной матрице без значительных изменений структуры.

Таким образом, добавление полипропилена в битум не приводит к исчезновению его характерных полос поглощения, однако наблюдается изменение интенсивности карбонильного пика в области 1700 cm^{-1} , что указывает на возможные взаимодействия между битумом и полимером. Снижение интенсивности пиков полипропилена в области 993–918 cm^{-1} при уменьшении его содержания с 6% до 5% свидетельствует о дозависимом распределении полимера в битумной матрице.

Теперь на представленных ИК-спектрах показаны смеси, содержащие не только битум и полипропилен, но и 1% тяжёлого нефтяного остатка. Первый состав (93% битума + 6% полипропилена + 1% тяжёлого нефтяного остатка) представлен на рис. 3.

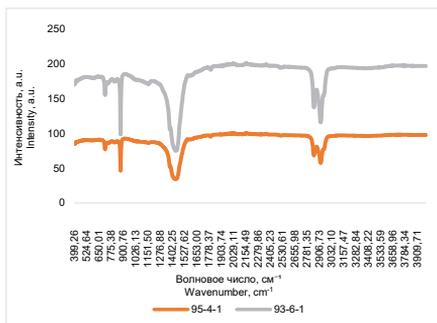


Рисунок 3. ИК-спектры битумно-полимерных композитов с различным содержанием битума, полимера и тяжёлого нефтяного остатка
Figure 3. IR spectra of bitumen-polymer composites with varying contents of bitumen, polymer, and heavy oil residue

Основные полосы поглощения остаются аналогичными предыдущим спектрам, однако добавление тяжёлого нефтяного остатка может повлиять на интенсивность и форму пиков. В области 2956 и 2854 cm^{-1} сохраняются характерные колебания C–H в CH_2 - и CH_3 - группах. Полоса при 1700 cm^{-1} , соответствующая карбонильным соединениям (C=O), может изменяться из-за взаимодействия компонентов, в частности, возможного дополнительного вклада кислородсодержащих соединений тяжёлого остатка.

Деформационные колебания CH_2 - и CH_3 - групп (1460 и 1375 cm^{-1}) остаются выраженными, что подтверждает присутствие полипропилена. Также сохраняются полосы около 720 cm^{-1} , указывающие на длиннопочечные углеводородные структуры. В диапазоне 993–918 cm^{-1} наблюдаются колебания, характерные для C–C и C–H в кристаллической решётке полипропилена, но их интенсивность может уменьшаться с понижением содержания полимера (с 6% до 4%).

Добавление тяжёлого нефтяного остатка в количестве 1% не приводит к появлению новых выраженных полос, но может влиять на интенсивность уже имеющихся, особенно в области карбонильных соединений и углеводородных групп. Сравнение двух спектров показывает, что уменьшение содержания полипропилена и битума при неизменном количестве тяжёлого остатка может приводить к небольшим изменениям интенсивности характерных полос.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №BR21882278 «Создание строительно-технического инжинирингового центра по оказанию полного цикла аккредитованных услуг строительно-дорожно-строительного сектора Республики Казахстан»).

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

Благодарность. Авторы выражают благодарность Толкимбаеву Габиту Аждаровичу – Генеральному директору ОЮЛ «Ассоциация производителей и потребителей нефтегазохимической продукции (Нефтегазохимическая Ассоциация)».

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Сейтенова Г.Ж. – концепция исследования; Сыздык А.Г. – сбор и обработка данных, написание текста; Джексембаева А.Е. – сбор и обработка данных, иллюстрации; Дюсова Р.М. – анализ полученных данных.

Заключение

Необходимо отметить, что на представленных ИК-спектрах битумно-полимерных композитов, модифицированных полипропиленом и тяжёлым нефтяным остатком, наблюдаются характерные полосы поглощения, соответствующие основным функциональным группам битума, полимера и углеводородных соединений. Сравнительный анализ спектров показал, что при изменении содержания полипропилена с 6% до 4% сохраняются основные колебания C–H в CH_2 - и CH_3 - группах (2956 и 2854 cm^{-1}), полосы карбонильных соединений (около 1700 cm^{-1}) и деформационные колебания метиленовых и метильных групп (1460 и 1375 cm^{-1}). Однако интенсивность некоторых полос, особенно в области 993–918 cm^{-1} , соответствующей структуре полипропилена, снижается при уменьшении его концентрации.

Добавление тяжёлого нефтяного остатка в количестве 1% не привело к появлению новых функциональных групп, однако могло повлиять на интенсивность отдельных полос за счёт взаимодействия с битумной матрицей. В целом, полученные данные подтверждают, что структура битумно-полимерных композитов сохраняет ключевые характеристики исходных компонентов, при этом изменение концентрации полимера и битума оказывает влияние на степень модификации и взаимосвязь их структурных элементов.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The research was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882278 “Establishment of a construction and engineering center to provide a full cycle of accredited services for the construction and road construction sector of the Republic of Kazakhstan”).

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

Acknowledgment. The authors express their gratitude to Gabit Azhdarovich Tolkimbayev, General Director of the Legal Entity Association “Association of Producers and Consumers of Petrochemical Products (Petrochemical Association).”

Authors’ contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Gaini Zh. Seitenova – research concept; Ayazhan G. Syzdyk – data collection and processing, text writing; Assel Ye. Dzheksembayeva – data collection and processing, illustrations; Rizagul M. Dyussova – analysis of the obtained data.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Weigel S., Stephan D. Bitumen Characterization with Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Multivariate Evaluation: Prediction of Various Physical and Chemical Parameters // *Energy & Fuels*. 2018. Vol. 32, Issue 10. P. 10437–10442. doi: [10.1021/acs.energyfuels.8b02096](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02096).
2. Ma L., Varveri A., Jing R., Erkens S. Chemical characterisation of bitumen type and ageing state based on FTIR spectroscopy and discriminant analysis integrated with variable selection methods // *Road Materials and Pavement Design*. 2023. Vol. 24. P. 506–520. doi: [10.1080/14680629.2023.2181008](https://doi.org/10.1080/14680629.2023.2181008).
3. Xing C., Liu L., Li M. Chemical Composition and Aging Characteristics of Linear SBS Modified Asphalt Binders // *Energy & Fuels*. 2020. Vol. 34, Issue 4. P. 4194–4200. doi: [10.1021/acs.energyfuels.9b04523](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b04523).
4. Werkovits S., Bacher M., Theiner J., et al. Multi-spectroscopic characterization of bitumen and its polarity-based fractions // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 352. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2022.128992](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128992).
5. Yadykova A.Y., Strelets L.A., Ilyin S.O. Infrared Spectral Classification of Natural Bitumens for Their Rheological and Thermophysical Characterization // *Molecules*. 2023. Vol. 28, Issue 5. doi: [10.3390/molecules28052065](https://doi.org/10.3390/molecules28052065).
6. Olabemiwo O.M., Esan A.O., Bakare H.O., Agunbiade F.O. Polymer modified-natural bitumen thermal aging resistance studies // *International Journal of Pavement Engineering*. 2019. Vol. 20, Issue 10. P. 1207–1215. doi: [10.1080/10298436.2017.1394102](https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1394102).
7. Fini E.H., Hosseinneshad S., Oldham D.J., Sharma B.K. Investigating the effectiveness of liquid rubber as a modifier for asphalt binder // *Road Materials and Pavement Design*. 2016. Vol. 17, Issue 4. P. 825–840. doi: [10.1080/14680629.2015.1124800](https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1124800).
8. Marafi A., Albazzaz H., Rana M.S. Hydroprocessing of heavy residual oil: Opportunities and challenges // *Catalysis Today*. 2019. Vol. 329, Iss 1. P. 125–134. doi: [10.1016/j.cattod.2018.10.067](https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.10.067).
9. Zofka A., Maliszewska D., Maliszewski M., Boratyński J. Application of FTIR ATR method to examine the polymer content in the modified bitumen and to assess susceptibility of bitumen to ageing // *Roads and Bridges*. 2015. Vol. 14, N 3. P. 163–174. doi: [10.7409/rabdjm.015.011](https://doi.org/10.7409/rabdjm.015.011).
10. Muraza O., Galadima A. Aquathermolysis of heavy oil: A review and perspective on catalyst development // *Fuel*. 2015. Vol. 157, Iss 1. P. 219–231. doi: [10.1016/j.fuel.2015.04.065](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.065).
11. Belyaev P.S., Frolov V.A., Belyaev V.P., et al. Petroleum bitumen and polymer-bitumen binders: Current state and Russian specifics. Review // *Oil and Gas Engineering*. 2021. Vol. 2412, Issue 1. doi: [10.1063/5.0075420](https://doi.org/10.1063/5.0075420).
12. Kayukova G.P., Vakhin A.V., Mikhailova A.N., et al. Road bitumen's based on the vacuum residue of heavy oil and natural asphaltite: Part I – chemical composition // *Petroleum Science and Technology*. 2017. Vol. 35, issue 16. P. 1680–1686. doi: [10.1080/10916466.2017.1356852](https://doi.org/10.1080/10916466.2017.1356852).
13. Primerano K., Mirwald J., Lohninger J., Hofko B. Characterization of long-term aged bitumen with FTIR spectroscopy and multivariate analysis methods // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 409. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2023.133956](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133956).
14. Elwardany M., Habbouche J., Andriescu A., et al. Comprehensive performance evaluation of high polymer-modified asphalt binders beyond linear viscoelastic rheological surrogates // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 351. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2022.128902](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128902).
15. Luo S., Tian J., Liu Z., et al. Rapid determination of styrene-butadiene-styrene (SBS) content in modified asphalt based on Fourier transform infrared (FTIR) spectrometer and linear regression analysis // *Measurement*. 2020. Vol. 151. doi: [10.1016/j.measurement.2019.107204](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107204).
16. Lim C.S., Jang D.S., Yu S.M., Lee J.J. Analysis of the Properties of Modified Asphalt Binder by FTIR Method // *Materials*. 2022. Vol. 15, Issue 16. doi: [10.3390/ma15165743](https://doi.org/10.3390/ma15165743).
17. Sun G., Li B., Sun D., et al. Chemo-rheological and morphology evolution of polymer modified bitumens under thermal oxidative and all-weather aging // *Fuel*. 2021. Vol. 285. doi: [10.1016/j.fuel.2020.118989](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118989).
18. Yang Q., Lin J., Wang X., et al. A review of polymer-modified asphalt binder: Modification mechanisms and mechanical properties // *Cleaner Materials*. 2024. Vol. 12. doi: [10.1016/j.clema.2024.100255](https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100255).
19. Weigel S., Stephan D. The prediction of bitumen properties based on FTIR and multivariate analysis methods // *Fuel*. 2017. Vol. 208. P. 655–661. doi: [10.1016/j.fuel.2017.07.048](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.048).
20. Xu M., Zhang Y., Zhao P., Liu C. Study on aging behavior and prediction of SBS modified asphalt with various contents based on PCA and PLS analysis // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 265. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2020.120732](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120732).

REFERENCES

1. Weigel S, Stephan D. Bitumen Characterization with Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Multivariate Evaluation: Prediction of Various Physical and Chemical Parameters. *Energy & Fuels*. 2018;32(10):10437–10442. doi: [10.1021/acs.energyfuels.8b02096](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02096).
2. Ma L, Varveri A, Jing R, Erkens S. Chemical characterisation of bitumen type and ageing state based on FTIR spectroscopy and discriminant analysis integrated with variable selection methods. *Road Materials and Pavement Design*. 2023;24:506–520. doi: [10.1080/14680629.2023.2181008](https://doi.org/10.1080/14680629.2023.2181008).
3. Xing C, Liu L, Li M. Chemical Composition and Aging Characteristics of Linear SBS Modified Asphalt Binders. *Energy & Fuels*. 2020;34(4):4194–4200. doi: [10.1021/acs.energyfuels.9b04523](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b04523).
4. Werkovits S, Bacher M, Theiner J, et al. Multi-spectroscopic characterization of bitumen and its polarity-based fractions. *Construction and Building Materials*. 2022;352:128992. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2022.128992](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128992).
5. Yadykova AY, Strelets LA, Ilyin SO. Infrared Spectral Classification of Natural Bitumens for Their Rheological and Thermophysical Characterization. *Molecules*. 2023;28(5):2065. doi: [10.3390/molecules28052065](https://doi.org/10.3390/molecules28052065).
6. Olabemiwo OM, Esan AO, Bakare HO, Agunbiade FO. Polymer modified-natural bitumen thermal aging resistance studies. *International Journal of Pavement Engineering*. 2019;20(10):1207–1215. doi: [10.1080/10298436.2017.1394102](https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1394102).
7. Fini EH, Hosseinneshad S, Oldham DJ, Sharma BK. Investigating the effectiveness of liquid rubber as a modifier for asphalt binder. *Road Materials and Pavement Design*. 2016;17(4):825–840. doi: [10.1080/14680629.2015.1124800](https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1124800).
8. Marafi A, Albazzaz H, Rana MS. Hydroprocessing of heavy residual oil: Opportunities and challenges. *Catalysis Today*. 2019;329(1):125–134. doi: [10.1016/j.cattod.2018.10.067](https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.10.067).

9. Zofka A, Maliszewska D, Maliszewski M, Boratyński J. Application of FTIR ATR method to examine the polymer content in the modified bitumen and to assess susceptibility of bitumen to ageing. *Roads and Bridges*. 2015;14(3):163–174. doi: [10.7409/rabdim.015.011](https://doi.org/10.7409/rabdim.015.011).
10. Muraza O, Galadima A. Aquathermolysis of heavy oil: A review and perspective on catalyst development. *Fuel*. 2015;157(1):219–231. doi: [10.1016/j.fuel.2015.04.065](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.065).
11. Belyaev PS, Frolov VA, Belyaev VP, et al. Petroleum bitumen and polymer-bitumen binders: Current state and Russian specifics. Review. *Oil and Gas Engineering*. 2021;2412(1):060001. doi: [10.1063/5.0075420](https://doi.org/10.1063/5.0075420).
12. Kayukova GP, Vakhin AV, Mikhailova AN, et al. Road bitumen's based on the vacuum residue of heavy oil and natural asphaltite: Part I – chemical composition. *Petroleum Science and Technology*. 2017;35(16):1680–1686. doi: [10.1080/10916466.2017.1356852](https://doi.org/10.1080/10916466.2017.1356852).
13. Primerano K, Mirwald J, Lohninger J, Hofko B. Characterization of long-term aged bitumen with FTIR spectroscopy and multivariate analysis methods. *Construction and Building Materials*. 2023;409:133956. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2023.133956](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133956).
14. Elwardany M, Habbouche J, Andriescu A, et al. Comprehensive performance evaluation of high polymer-modified asphalt binders beyond linear viscoelastic rheological surrogates. *Construction and Building Materials*. 2022;351:128902. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2022.128902](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128902).
15. Luo S, Tian J, Liu Z, et al. Rapid determination of styrene-butadiene-styrene (SBS) content in modified asphalt based on Fourier transform infrared (FTIR) spectrometer and linear regression analysis. *Measurement*. 2020;151:107204. doi: [10.1016/j.measurement.2019.107204](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107204).
16. Lim CS, Jang DS, Yu SM, Lee JJ. Analysis of the Properties of Modified Asphalt Binder by FTIR Method. *Materials*. 2022;15(16):5743. doi: [10.3390/ma15165743](https://doi.org/10.3390/ma15165743).
17. Sun G, Li B, Sun D, et al. Chemo-rheological and morphology evolution of polymer modified bitumens under thermal oxidative and all-weather aging. *Fuel*. 2021;285:118989. doi: [10.1016/j.fuel.2020.118989](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118989).
18. Yang Q, Lin J, Wang X, et al. A review of polymer-modified asphalt binder: Modification mechanisms and mechanical properties. *Cleaner Materials*. 2024;12:100255. doi: [10.1016/j.clema.2024.100255](https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100255).
19. Weigel S, Stephan D. The prediction of bitumen properties based on FTIR and multivariate analysis methods. *Fuel*. 2017;208:655–661. doi: [10.1016/j.fuel.2017.07.048](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.048).
20. Xu M, Zhang Y, Zhao P, Liu C. Study on aging behavior and prediction of SBS modified asphalt with various contents based on PCA and PLS analysis. *Construction and Building Materials*. 2020;265:120732. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2020.120732](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120732).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сейтенова Гайни Жумагалиевна

канд. хим. наук

ORCID [0000-0001-6202-3951](https://orcid.org/0000-0001-6202-3951)

e-mail: gainiseitenova@gmail.com.

Сыздық Аяжан Галымкызы

ORCID [0009-0007-4435-0976](https://orcid.org/0009-0007-4435-0976)

e-mail: ayazhanka.syzdyk@gmail.com.

Джексембаева Асель Ермековна

PhD

ORCID [0009-0009-6153-9580](https://orcid.org/0009-0009-6153-9580)

e-mail: dzhexembayeva_aye@enu.kz.

*Дюсова Ризагуль Муслимовна

канд. техн. наук

ORCID [0000-0003-3083-5255](https://orcid.org/0000-0003-3083-5255)

e-mail: rizagul.dyussova@gmail.com.

AUTHORS' INFO

Gaini Zh. Seitenova

Cand. Sc. (Chemistry)

ORCID [0000-0001-6202-3951](https://orcid.org/0000-0001-6202-3951)

e-mail: gainiseitenova@gmail.com.

Ayazhan G. Syzdyk

ORCID [0009-0007-4435-0976](https://orcid.org/0009-0007-4435-0976)

e-mail: ayazhanka.syzdyk@gmail.com.

Assel Ye. Dzheksembayeva

PhD

ORCID [0009-0009-6153-9580](https://orcid.org/0009-0009-6153-9580)

e-mail: dzhexembayeva_aye@enu.kz.

*Rizagul M. Dyussova

Cand. Sc. (Engineering)

ORCID [0000-0003-3083-5255](https://orcid.org/0000-0003-3083-5255)

e-mail: rizagul.dyussova@gmail.com.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author