

Исследование структуры нефтяного углерода полученного в различных барических условиях

© **Казаев Иван Владимирович, Белотелов⁺ Олег Александрович,**

Доломатов* Михаил Юрьевич, Левашов Дмитрий Андреевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет. ул. Космонавтов 1.

г. Уфа, 450062. Республика Башкортостан. Россия.

Тел.: +7 (987) 106 7916. E-mail: belotelov.o@mail.ru

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: высококипящая нефтяная фракция, поляризационная микроскопия, углеродные продукты термолiza, КР-спектроскопия, жидкокристаллическая мезофаза.

Аннотация

Рассмотрено влияние давления на процесс термолiza, в частности, на выход и структуру твердых углеродных продуктов, полученных из высококипящей нефтяной фракции. Процесс термолiza проводился в лабораторном автоклаве, под избыточным давлением инертного газа (до 1.5 МПа) и температуре 450 °С. Проведена серия экспериментов под различным давлением в изотермических условиях, после чего, твердые продукты термолiza исследовались методом оптической микроскопии в поляризованном свете, для оценки структурной организации по ГОСТ 26132-84 «Коксы нефтяные и пековые. Метод оценки микроструктуры». Кроме того, твёрдые продукты термолiza исследованы при помощи спектроскопии комбинационного рассеяния с применением рамановского комплекса.

Обнаружена и доказана взаимосвязь структуры продуктов термолiza с интенсивностью спектров комбинационного рассеяния, которая позволяет с удовлетворительной точностью прогнозировать качество структуры нефтяных углеродных продуктов. Сочетание метода комбинационного рассеяния и способа определения анизотропии по фотоизображениям образца в поляризованном свете позволяет отследить механизмы формирования структуры углерода при различных условиях. Показано, что влияние давления на выход и структуру остатков обусловлено следующими факторами: низкий выход твердого углеродного продукта при 0.5 МПа связан с более интенсивными процессами испарения легких фракций, и как следствие, интенсивное турбулентное перемешивание зародышей мезофазы, которые нарушают формирование упорядоченных структур; повышение давления в системе до 1.5 МПа отрицательно сказалось на структуре остатка, это можно связать с растворимостью в реакционной среде под влиянием давления газообразных продуктов и дистиллятов, которые снижают вязкость среды и нарушают формирование упорядоченных структур мезофазы; термолiz при 1.0 МПа демонстрирует наилучшие показатели по структуре и выходу углеродного остатка, и является оптимальным, так как обеспечивает условия для формирования структурированного углерода.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Казаев И.В., Белотелов О.А., Доломатов М.Ю., Левашов Д.А. Исследование структуры нефтяного углерода полученного в различных барических условиях. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.87. №7. С.52-57.

DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-52

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Казаев И.В., Белотелов О.А., Доломатов М.Ю., Левашов Д.А. Исследование структуры нефтяного углерода полученного в различных барических условиях. *Бутлеровские сообщения А*. 2026. Т.14. №3. Id.6.

DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-52/ROI-jbc-A/26-14-3-6 (Russian)

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

Ivan V. Kazaev, Oleg A. Belotelov, Mikhail Yu. Dolomatov, Dmitry A. Levashov. Investigation of the structure of petroleum carbon produced under various baric conditions. *Butlerov Communications A*. 2026. Vol.14. No.3.

Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-52/ROI-jbc-A/26-14-3-6

Литература

- [1] Валявин Г.Г., Суюнов С.А., Ахметов С.А., Валявин К.Г. Современные и перспективные термолитические процессы глубокой переработки нефтяного сырья. *СПб.: Недра. 2010. 224с.* [G.G. Valyavin, S.A. Suyunov, S.A. Akhmetov, K.G. Valyavin. Modern and perspective thermolytic processes for deep petroleum processing. *Nedra: St. Petersburg. 2010. 224p. (Russian)*]
- [2] Долوماتов М.Ю., Валявин Г.Г. Особенности механизмов структурирования нефтяного углерода при нормальном и повышенном давлении. *Проблемы углубленной переработки нефти: тезисы докладов 13-й Респ. науч.-техн. конф. мол. ученых. Уфа: БашНИИ НП. 1983. С.17-19.* [M.Yu. Dolomatov, G.G. Valyavin. Features of the mechanisms governing petroleum carbon structuring under atmospheric and elevated pressures. *Problems of deep petroleum processing. Proceedings of the 13th Republican scientific and technical conference of young scientists. Ufa. 1983. P.17-19. (Russian)*]
- [3] Валявин Г.Г., Фрязинов В.В., Гимаев Р.Н., Сюняев З.И., Вяткин Ю.Л., Мулюков Ш.Ф. Кинетика и механизм термических превращений высокомолекулярной части нефти. *Химия и технология топлив и масел. 1979. №8. С.8-11.* [G.G. Valyavin, V.V. Fryazinov, R.N. Gimaev, Z.I. Syunyaev, Y.L. Vyatkin, Sh. F. Mulyukov. Kinetics and mechanism of thermal transformations of the high-molecular-weight fraction of petroleum. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 1979. No.8. P.8-11. (Russian)*]
- [4] Трофимович М.А., Галигузов А.А., Малахо А.П., Авдеев В.В. Влияние давления на карбонизацию каменноугольного пека различного состава. *Новые огнеупоры. 2015. С.37-42.* [M.A. Trofimovich, A.A. Galiguzov, A.P. Malakho, V.V. Avdeev. Effect of pressure on the carbonization of coal-tar pitch with different compositions. *New Refractories. 2015. P.37-42. (Russian)*]
- [5] Косицына С.С., Бурюкин Ф.А., Буза А.О., Мельчаков Д.А. Коксование гудронов с различным составом и свойствами. *Фундаментальные исследования. 2016. №6. С.288-293.* [S.S. Kositsyna, F.A. Buryukin, A.O. Buza, D.A. Melchakov. Delayed coking of vacuum residues with different compositions and properties. *Fundamental Research. 2016. No.6. P.288-293. (Russian)*]
- [6] Лаврова А.С., Бессонов В.В., Плехно Н.Н., Головачев В.А. Влияние давления на качество кокса из гудрона. *НефтеГазоХимия. 2024. №2. С.20-25. DOI: 10.32758/2782-3040-2023-0-6-10-14* [A.S. Lavrova, V.V. Bessonov, N.N. Plekhno, V.A. Gogachev. Effect of pressure on the quality of petroleum coke produced from vacuum residue. *NefteGazoKhimiya. 2024. No.2. P.20-25. DOI: 10.32758/2782-3040-2023-0-6-10-14 (Russian)*]
- [7] М.Ю. Долوماتов, Д.А. Левашов, В.П. Запорин. Программа для определения степени анизотропии углеродных материалов по цифровым фотоизображениям. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025693471* Российская Федерация. Заявл. 19.11.2025; опубл. 28.11.2025. Заявитель ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». [M.Yu. Dolomatov, D.A. Levashov, V.P. Zaporin. Computer program for determining the degree of anisotropy of carbon materials from digital Images. *Certificate of State Registration of a Computer Program* No. 202569347. Applied 19.11.2025, published 28.11.2025. Applicant Ufa State Petroleum Technological University. (Russian)]
- [8] Ivan V. Kazaev, Oleg A. Belotelov, Mikhail Yu. Dolomatov, Dmitry A. Levashov. Investigation of the structure of petroleum carbon produced under various baric conditions. *Butlerov Communications A. 2026. Vol.14. No.3. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-52/ROI-jbc-A/26-14-3-6*
- [9] Казаев И.В., Белотелов О.А., Долوماتов М.Ю., Левашов Д.А. Исследование структуры нефтяного углерода полученного в различных барических условиях. *Бутлеровские сообщения А. 2026. Т.14. №3. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-52/ROI-jbc-A/26-14-3-6 (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/26-14-3-6

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-52/ROI-jbc-A/26-14-3-6

**Investigation of the structure of petroleum carbon
produced under various baric conditions**

Ivan V. Kazaev, Oleg A. Belotelov,⁺ Mikhail Yu. Dolomatov,* Dmitry A. Levashov

Ufa State Petroleum Technological University, Kosmonavtov St., 1. Ufa, 450062.

Republic of Bashkortostan, Russia. Phone: +7 (987) 106 7916. E-mail: belotelov.o@mail.ru

^{*}Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: high-boiling petroleum fraction, polarized light microscopy, carbon thermolysis products, Raman spectroscopy, liquid crystal mesophase.

Abstract

The influence of pressure on the thermolysis process, particularly on the yield and structure of solid carbon products obtained from a high-boiling petroleum fraction, was investigated. Thermolysis was carried out in a laboratory autoclave at a temperature of 450 °C under an excess pressure of an inert gas ranging up to 1.5 MPa. A series of experiments was performed under different pressure conditions while maintaining an isothermal regime. The resulting solid thermolysis products were characterized by polarized light optical microscopy to evaluate their structural organization in accordance with GOST 26132-84 «Petroleum and Pitch Cokes. Method for Microstructure Evaluation». In addition, the carbon residues were analyzed by Raman spectroscopy.

A correlation between the microstructure of the thermolysis products and the Raman spectral characteristics was established. The obtained relationship makes it possible to predict the structural quality of petroleum carbon products with satisfactory accuracy using Raman spectroscopy. The combination of Raman scattering spectroscopy and anisotropy determination from polarized-light images of the sample makes it possible to monitor the mechanisms of carbon structural formation under varying conditions. The combination of Raman scattering spectroscopy and anisotropy determination from polarized-light images of the sample makes it possible to monitor the mechanisms of carbon structural formation under varying conditions.

The effect of pressure on both the yield and the structure of the carbon residue was found to be governed by several factors. At 0.5 MPa, the lower yield of solid carbon products is attributed to enhanced evaporation of light fractions, resulting in intensive turbulent mixing of mesophase nuclei and disruption of the formation of ordered structures. Increasing the pressure to 1.5 MPa adversely affected the residue structure, which is associated with the increased solubility of gaseous reaction products and distillates in the reaction medium. This lowers the viscosity of the system and inhibits the development of an ordered mesophase. Thermolysis conducted at 1.0 MPa demonstrated the most favorable combination of carbon yield and structural ordering, indicating that this pressure provides optimal conditions for the formation of highly structured petroleum carbon.