

Исследование ростостимулирующей способности модифицированного твёрдого продукта пиролиза шин

Якунин^{1*+} Иван Николаевич, Курякова² Татьяна Анатольевна

¹ ООО «РН-КрасноярскНИПИНефть». ул. 9 Мая, 65д. г. Красноярск, 660098. Россия.
Тел.: +7 (391) 200-88-30. E-mail: Yakunin21@yandex.ru

² Отделение химической технологии переработки нефти, газа и экологии. Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина. Филиал в г. Оренбург.
ул. Юных Ленинцев, 20. Оренбургская область, 460047. Россия.
Тел.: +7 (3532) 62-94-21. E-mail: Kuryakova.t@gubkin.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: пиролиз, шины, переработка, стимуляторы роста, удобрения.

Аннотация

Для последних десятилетий характерны нарастающие темпы накопления отходов автомобильных шин, представляющих собой сложную смесь полимеров и минеральных компонентов. В ходе пиролиза автомобильных шин, кроме жидких и газообразных горючих углеводородов, с выходом 40-50%, получают твёрдые продукты, являющийся сырьём для получения веществ, близких по составу к углеродным наночастицам – веществам, способным оказывать положительное влияние на развитие и урожайность растений. Впервые предпринята попытка выявления токсического и ростостимулирующего воздействия продуктов модификации твёрдого продукта пиролиза автомобильных шин на растительные организмы на ранних стадиях их развития.

Представлены результаты модельных экспериментов с использованием основного и побочного продуктов модификации твёрдого остатка пиролиза автомобильных шин, с их внесением в песок концентрациях 200, 400 и 800 г/м² с последующим прорастанием в нём семян пшеницы сорта «Луч 25» и ячменя сорта «Як 401». Обнаружены эффекты увеличения массы, сухой массы, а также длины стебля и корней ростков пшеницы и ячменя. Определена концентрация, при которой наблюдается ингибирование роста растений, что может быть связано с содержанием остаточных концентраций тяжёлых металлов в образцах. Основной и побочный продукты процесса как вместе, так и по отдельности способны оказывать ростостимулирующее действие. Приведённые данные свидетельствуют о перспективности данного метода как с точки зрения переработки отходов, так и с точки зрения получения ростостимулирующих веществ нового вида.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Якунин И.Н., Курякова Т.А. Исследование ростостимулирующей способности модифицированного твёрдого продукта пиролиза шин. *Бутлеровские сообщения*. 2025. Т.84. №10. С.95-102.
DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-95

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Якунин И.Н., Курякова Т.А. Исследование ростостимулирующей способности модифицированного твёрдого продукта пиролиза шин. *Бутлеровские сообщения* С. 2025. Т.11. №4. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-95/ROI-jbc-RC/25-11-4-1

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

Ivan N. Yakunin, Tatyana A. Kuryakova. Study of the growth-promoting capacity of a modified solid tire pyrolysis product. *Butlerov Communications C*. 2025. Vol.11. No.4. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-95/ROI-jbc-C/25-11-4-1

Литература

- [1] Иванищев В.В. Наночастицы и их влияние на характеристики растений. *Бутлеровские сообщения*. **2024**. Т.80. №12. С.99-107. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-99 [V.V. Ivanishchev. Nanoparticles and their impact on plant characteristics. *Butlerov Communications C*. **2024**. Vol.9. No.4. Id.19. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-99/ROI-jbc-C/24-9-4-19]
- [2] R.V. Bordiwala. Green synthesis and Applications of Metal Nanoparticles. – A Review Article. *Results in Chemistry*. **2023**. Vol.5. 100832. <https://doi.org/10.1515/ZPCH-2018-1238>
- [3] A. Rastogi, M. Zivcak, O. Sytar, H.M. Kalaji, X. He, S. Mbarki, M. Brestic. Impact of Metal and Metal Oxide Nanoparticles on Plant: A Critical Review. *Front. Chem.* **2017**. Vol.5. 78p. DOI: 10.3389/fchem.2017.00078
- [4] Y. Bao, J. He, K. Song, J. Guo, X. Zhou, S. Liu. Plant-Extract-Mediated Synthesis of Metal Nanoparticles. *Journal of Chemistry*. **2021**. Article ID 6562687. DOI:10.1155/2021/6562687
- [5] Баранов М.В., Бекетов А.Р., Боков М.С., Лисин В.Л., Марков В.Ф., Старостин С.П., Филатова Д.А. Исследование электрокинетических свойств наночастиц тантала в водных растворах. *Бутлеровские сообщения*. **2010**. Т.21. №8. С.12-16. ROI: jbc-01/10-21-8-12 [M.V. Baranov, A.R. Beketov, M.S. Bokov, V.L. Lisin, V.F. Markov, S.P. Starostin, D.A. Filatova. Investigation of electrokinetic properties of tantalum nanoparticles in aqueous solutions. *Butlerov communications*. **2010**. Vol.21. No.8. P.12-16. (Russian)]
- [6] N.H. Nam, N.H. Luong. Nanoparticles: synthesis and applications. *Materials for Biomedical Engineering*. **2019**. P.211-240. DOI: 10.1016/B978-0-08-102814-8.00008-1
- [7] Гизатуллин А.Р., Акентьева Н.П., Санина Н.А., Дремова Н.Н., Торбов В.И., Шкондина Н.И., Приходченко Т.Р., Алдошин С.М. Дизайн наночастиц (хитозан-гиалуроновая кислота) для таргетной доставки динитрозильных комплексов железа, потенциальных кардиологических препаратов. *Бутлеровские сообщения*. **2018**. Т.54. №6. С.138-143. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/18-54-6-138> [A.R. Giztullin, N.P. Akentyeva, N.A. Sanina, N.N. Dremova, V.I. Torbov, N.I. Shkondina, T.R. Prikhoschenko, S.M. Aldoshin. Design of nanoparticles (chitosan-hyaluronic acid) for targeted delivery of dinitrozyr iron complexes, potential cardiac drugs. *Butlerov Communications*. **2018**. Vol.54. No.6. P.138-143. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/18-54-6-138 (Russian)]
- [8] Массалимов И.А., Берестова Т.В., Ахметшин Б.С., Садиков Э.И., Мустафин А.Г. Получение наночастиц серы в реакции тиосульфата натрия с одно- и двухосновными кислотами в области низких концентраций и изучение их антифунгальной активности. *Бутлеровские сообщения*. **2018**. Т.54. №5. С.74-81. ROI: jbc-01/18-54-5-74 [I.A. Masslimov, T.V. Berestova, B.S. Ahmetshin, E.I. Sadikov, A.G. Mustafin. Production of sulfur nanoparticles in the reaction of sodium thiosulfate with monobasic and dibasic acids in low concentrations and study of their antifungal activity. *Butlerov Communications*. **2018**. Vol.54. No.5. P.74-81. ROI: jbc-01/18-54-5-74 (Russian)]
- [9] V.V. Makarov, A.J. Love, O.V. Sinitsyna, S.S. Makarova, I.V. Yaminsky, M.E. Taliansky, N.O. Kalinina. “Green” Nanotechnologies: Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. *Acta Naturae*. **2014**. Vol.6(1). P.35-44. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3999464/>
- [10] P. Zhou, M. Adeel, N. Shakoor, M. Guo, Y. Hao, I. Azeem, M. Li, M. Liu, Y. Rui. Application of Nanoparticles Alleviates Heavy Metals Stress and Promotes Plant Growth: An Overview. *Nanomaterials*. **2021**. Vol.11. 26p. DOI:10.3390/nano11010026
- [11] K. Gunture, A.K. Garg, R. Aggarwal, J. Kaushik, R.K. Prajapati, S.K. Sonkar. Non-aqueous onion like nano-carbons from waste diesel-soot used as FRET-based sensor for sensing of nitro-phenols. *Env. Research*. Vol.212. 113308. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113308
- [12] M. Chandel, K. Kaur, B.K. Sahu, S. Sharma, R. Panneerselvam, V. Shanmugam. Promise of nano-carbon to the next generation sustainable agriculture. *Carbon*. Vol.188. **2022**. P.461-481. DOI: 10.1016/j.carbon.2021.11.060
- [13] A.K. Mishra, Monika, B.S. Patial. A review on recent advances in anode materials in lithium ion batteries. *Materials Today Electronics*. **2024**. Vol.7. 100089. DOI: 10.1016/j.mtelec.2024.100089
- [14] X. Ma, J.G. Lee, Y. Deng, A. Kolmakov. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Science of The Total Environment*. **2010**. Vol.480. Iss.16. P.3053-3061. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.03.031
- [15] S.K. Verma, S. Gantait, V. Kumar, E. Gurel. Applications of carbon nanomaterials in the plant system: a perspective view on the pros and cons. *Science of The Total Environment*. **2019**. Vol.667. P.485-499. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.409
- [16] M. Khodakovskaya, M. Mahmood, Y. Xu, Z. Li. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano*. **2009**. Vol.3. 3221-7. DOI: 10.1021/nn900887m
- [17] J.E. Cañas, S. Nations, R. Vadan, L. Dai, M. Luo, R. Ambikapathi, E.H. Lee, D. Olszyk. Effects of functionalized and nonfunctionalized single-walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. *Environ Toxicol Chem*. **2008**. Vol.27(1). 1922-31. DOI: 10.1897/08-117.1

- [18] R. Acharya, H. Chhipa. Nanocarbon fertilizers: Implications of carbon nanomaterials in sustainable agriculture production. *Carbon Nanomaterials for Agri-Food and Environmental Applications*. Elsevier. **2020**. P.297-321. DOI: 10.1016/B978-0-12-819786-8.00015-3
- [19] B. Guo, G. Liu, W. Li, C. Hu, B. Lei, J. Zhuang, M. Zheng, Y. Liu. The role of carbon dots in the life cycle of crops. *Industrial Crops and Products. Part A*. **2022**. Vol.187. 115427. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115427
- [20] Gunture, C. Dalal, J. Kaushik, A.K. Garg, S.K. Sonkar. Pollutant-Soot-Based Nontoxic Water-Soluble Onion-like Nanocarbons for Cell Imaging and Selective Sensing of Toxic Cr(VI). *ACS Applied Bio Mater*. **2020**. Vol.3. P.3906-3913. DOI:10.1021/acsabm.0c00456
- [21] D. Saini, Gunture, J. Kaushik, R. Aggarwal, K. Malika Tripathi, S.K. Sonkar. Carbon Nanomaterials Derived from Black Carbon Soot. A Review of Materials and Applications. *ACS Appl. Nano Mater*. **2021**. 4. 12. 12825-12844. DOI:10.1021/acsanm.1c02840
- [22] Gunture, R. Aggarwal, A.K. Garg, J. Kaushik, S.K. Sonkar. Pollutant-based onion-like nanocarbons for improving the growth of gram plants. *Materials Today Chemistry*. **2020**. Vol.18. 100352. DOI: 10.1016/j.mtchem.2020.100352
- [23] B. Dellinger, A. D'Alessio, A. D'Anna, A. Ciajolo, B. Gullett, H. Henry, *et al.* Combustion Byproducts and their Health Effects: Summary of the 10th International Congress. *Environ. Eng. Sci.* Vol.25(8). **2008**. 1107-1114. DOI: 10.1089/ees.2008.0233.
- [24] M. Saxena, S. Maity, S. Sarkar. Carbon nanoparticles in 'biochar'boost wheat (*Triticum aestivum*) plant growth. *RSC Advances*. **2014**. 4 (75). 39948-39954. DOI: 10.1039/C4RA06535B.
- [25] A. Singh, A. Bhati, K.M. Tripathi, S.K. Sonkar. Nanocarbons in agricultural plants: can be a potential nanofertilizer? *Nanotechnology in Environmental Science*. **2018**. P.153-190. DOI: 10.1002/9783527808854.ch6.
- [26] A. Bhati, Gunture, K.M. Tripathi, A. Singh, S. Sarkar, S.K. Sonkar. Exploration of nano carbons in relevance to plant systems. *New Journal of Chemistry*. **2018**. Vol.42(20). P.16411-16427. DOI: 10.1039/C8NJ03642J
- [27] G.F. Hartmann, F.K. Ricachenevsky, N.M. Silveira *et al.* Phytotoxic effects of plastic pollution in crops: what is the size of the problem? *Environ Pollut*. **2022**. Jan 1.292(Pt B):118420. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118420.
- [28] S. Selonen, A. Dolar, A.J. Kokalj, *et al.* Exploring the impacts of microplastics and associated chemicals in the terrestrial environment – Exposure of soil invertebrates to tire particles. *Environ Res*. **2021**. Oct.201:111495. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111495.
- [29] Мазлова Е.А., Лобанов А.В., Усманов Р.Р. Современный взгляд на отходы автомобильных шин через призму экологической проблемы. *Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России»*. Москва. **2024**. С.328-343. [Е.А. Mazlova, A.V. Lobanov, R.R. Usmanov. A modern view of car tire waste through the prism of an environmental problem. *All-Russian Scientific and Technical Conference "Actual problems of development of the Russian oil and gas complex"*. Moscow. **2024**. P.328-343. (Russian)]
- [30] C. Johannessen, J. Liggio, X. Zhang, *et al.* Composition and transformation chemistry of tire-wear derived organic chemicals and implications for air pollution. *Atmospheric Pollution Research*. **2022**. Vol.13. Iss.9. DOI: 10.1016/j.apr.2022.101533
- [31] Папин А.В., Игнатова А.Ю., Макаревич Е.А., Неведров А.В. Получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. **2015**. №3 (109). С.107-114. [A.V. Papin, A.Yu Ignatova, E.A. Makarevich, A.V. Nevedrov. Production of composite fuel based on carbon black pyrolysis of tires. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. **2015**. No.3. P.107-114. (Russian)]
- [32] Курякова Т.А., Якунин И.Н. Получение модифицированного углеродного продукта из автомобильных шин. *Бутлеровские сообщения*. **2025**. Т.82. №6. С.93-103. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-82-6-15 [Т.А. Kuryakova, I.N. Yakunin. Obtaining a modified carbon product from automobile tires. *Butlerov Communications A*. **2025**. Vol.10. No.2. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-82-6-93/ROI-jbc-A/25-10-2-15]
- [33] Якунин И.Н., Курякова Т.А. Исследование ростостимулирующей способности модифицированного твёрдого продукта пиролиза шин. *Бутлеровские сообщения*. **2025**. Т.84. №10. С.95-102. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-95 [I.N. Yakunin, T.A. Kuryakova. Study of the growth-promoting capacity of a modified solid tire pyrolysis product. *Butlerov Communications C*. **2025**. Vol.11. No.4. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-95/ROI-jbc-C/25-11-4-1]
- [34] A. Zeb, W. Liu, N. Ali, *et al.* Integrating metabolomics and high-throughput sequencing to investigate the effects of tire wear particles on mung bean plants and soil microbial communities. *Environ Pollut*. **2024**. Jan 1.340(Pt 1):122872. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.122872
- [35] M. Šourková, D. Adamcová. Establishing Impact of the Long-Term Action of Waste Dumps with the Occurrence of Waste Tires on the Soil Environment. *Polish Journal of Environmental Studies*. **2023**. Vol.32. No.4. P.3787-3798. DOI: 10.15244/pjoes/163567

[36] I.N. Yakunin, T.A. Kuryakova. Components identification of the transformations chain for solid products of tires pyrolysis into polymer-derived nanocarbon. *Butlerov Communications B.* **2025**. Vol.11. No.4. Id.4. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-84/ROI-jbc-B/25-11-4-4

[37] Якунин И.Н., Курякова Т.А. Идентификация продуктов цепи превращений твёрдых продуктов пиролиза автомобильных шин в полимер-производный наноуглерод. *Бутлеровские сообщения В.* **2025**. Т.11. №4. Id.4. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-84/ROI-jbc-RB/25-11-4-4

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

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-C/25-11-4-1

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-95/ROI-jbc-C/25-11-4-1

**Study of the growth-promoting capacity
of a modified solid tire pyrolysis product**

Ivan N. Yakunin,^{1*} Tatyana A. Kuryakova²

¹ RN-KrasnoyarskNIPINeft LLC. 9 May St., 65D. Krasnoyarsk, 660098. Russia.

Phone: +7 (391) 200-88-30. E-mail: Yakunin21@yandex.ru

² Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing and Ecology. Gubkin Russian State University of Oil and Gas. Orenburg Branch. Young Lenintsev St., 20. Orenburg Region, 40047. Russia.

Phone: +7 (3532) 62-94-21. E-mail: Kuryakova.t@gubkin.ru

*Supervising author; †Corresponding author

Keywords: pyrolysis, tires, recycling, growth stimulants, fertilizers.

Abstract

The last decades have been characterized by an increasing rate of accumulation of automobile tire waste, which is a complex mixture of polymers and mineral components. During the pyrolysis of automobile tires, in addition to liquid and gaseous combustible hydrocarbons, with a yield of 40-50%, the solid products are obtained, which is a raw material for the production of substances similar in composition to carbon nanoparticles – substances capable of having a positive effect on the development and yield of plants. For the first time, an attempt has been made to identify the toxic and growth-stimulating effects of modification products of the solid pyrolysis product of automobile tires on plant organisms at the early stages of their development.

The results of model experiments using the main and by-products of modification of the solid residue of pyrolysis of automobile tires are presented, with their introduction into sand at concentrations of 200, 400 and 800 g/m², followed by germination of wheat seeds of the Luch 25 variety and barley of the Yak 401 variety. The effects of an increase in weight, dry weight, as well as the length of the stem and roots of wheat sprouts and barley were found. The concentration at which inhibition of plant growth is observed has been determined, which may be related to the content of residual concentrations of heavy metals in the samples. The main and by-products of the process, both together and separately, are capable of having a growth-stimulating effect. These data indicate the prospects of this method both from the point of view of waste recycling and from the point of view of obtaining growth-stimulating substances of a new type.