

Биодеградация нефти и органических растворителей при помощи штамма *Aspergillus niger* F-4815D

© Миндубаев^{1*+} Антон Зуфарович, Бабынин³ Эдуард Викторович,
Бабаев² Василий Михайлович, Тутучкина² Виктория Викторовна,
Минзанова² Салима Тахиятулловна, Миронова² Любовь Геннадьевна,
Караева⁴ Юлия Викторовна, Антех⁵ Джойс Дедеи

¹ ФИЦ Казанского научного центра РАН. ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261.

г. Казань, 420111. Республика Татарстан. Россия. E-mail: mindubaev-az@yandex.ru

² Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН.
ул. Арбузова, 8. г. Казань, 420088. Республика Татарстан. Россия.

³ Лаборатория МГММ ФИЦ КазНЦ РАН. г. Казань, 420059. Оренбургский тракт, 20а.

⁴ Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ Казанского научного центра РАН.
ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261. г. Казань, 420111. Россия.

⁵ Казанский (Приволжский) федеральный университет. ул. Университетская, 18.
г. Казань, 420008. Республика Татарстан. Россия.

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, биодеградация, *Aspergillus niger*, масс-спектрометрия.

Аннотация

Исследована биодеградация нефтей двух месторождений Татарстана штаммом *Aspergillus niger* AM1 ВКМ F-4815D. Исходные нефти имели сильное различие в составе и свойствах. Визуальное наблюдение и хроматомасс-спектрометрия показали, что нефть подвергается частичной деструкции, но не может служить единственным источником углерода – в культуральной среде должна содержаться глюкоза. В результате жизнедеятельности *A. niger*, меняется состав нефтей – снижается общее количество компонентов и возрастает содержание окисленных, содержащих кислород. Это указывает на наличие биодеградации. Интересным фактом является изменение консистенции, отвердения нефти под влиянием *A. niger*. Это позволяет рассматривать возможность использования штамма для биоремедиации почв и вод, загрязненных нефтью. Не менее интересно то, что еще ранее для штамма была установлена способность метаболизировать ряд токсичных соединений фосфора, включая даже белый и красный фосфор. Таким образом, штамм можно рассматривать в качестве достаточно универсального деструктора поллютантов. Однако, органические растворители в большинстве оказывают заметное токсическое действие, замедляя рост в присутствии глюкозы и не становясь источниками углерода в отсутствие глюкозы. В отличие от нефтей, они представляют собой индивидуальные химические соединения. Растворители можно выстроить в ряд роста токсичности: этилацетат → этиленгликоль → изооктан → *n*-гексан, 1,2-дихлорэтан → изопропанол → ацетонитрил, бензол → паральдегид, толуол. В отсутствие глюкозы рост не поддерживает ни один из них.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бабаев В.М., Тутучкина В.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Караева Ю.В., Антех Дж.Д. Биодеградация нефти и органических растворителей при помощи штамма *Aspergillus niger* F-4815D. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.86. №4. С.73-89. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-4-73

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бабаев В.М., Тутучкина В.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Караева Ю.В., Антех Дж.Д. Биодеградация нефти и органических растворителей при помощи штамма *Aspergillus niger* F-4815D. *Бутлеровские сообщения* С. 2026. Т.13. №2. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-4-73/ROI-jbc-C/26-13-2-1 (Russian)

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

Anton Z. Mindubaev, Edward V. Babynin, Vasily M. Babaev, Viktoria V. Tutuchkina, Salima T. Minzanova, Lubov G. Mironova, Julia V. Karaeva, Joyce D. Anteh. Biodegradation of oil and organic solvents using the strain *Aspergillus niger* F-4815D. *Butlerov Communications* С. 2026. Vol.13. No.2. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-4-73/ROI-jbc-C/26-13-2-1

Литература

- [1] L.P. Wackett. The metabolic pathways of biodegradation. In: The prokaryotes. Applied bacteriology and biotechnology. 4th edition. E. Rosenberg (editor-in-chief). E.F. DeLong, S. Lory, E. Stackebrandt, F. Thompson (eds.). *Springer, Berlin, Heidelberg*. **2013**. P.383-393. DOI: 10.1007/978-3-642-31331-8_76
- [2] Миндубаев А.З. Биодegradация и биохимия. Разложение вспять. *Национальные приоритеты России*. **2022**. №4(47). С.68-76. [A.Z. Mindubaev. Biodegradation and biochemistry. Back decay. *National Priorities of Russia*. **2022**. No.4(47). P.68-76. (Russian)]
- [3] Миндубаев А.З. Принцип экономии в живых системах: посмотрим на метаболиты. *Наука и жизнь*. **2023**. №2. С.50-54. [A.Z. Mindubaev. The principle of economy in living systems: a look at metabolites. *Science and Life*. **2023**. No.2. P.50-54. (Russian)]
- [4] Миндубаев А.З. Биодegradация и биохимия. За гранью фантастики. *Национальные приоритеты России*. **2023**. №1(48). С.82-89 [A.Z. Mindubaev. Biodegradation and biochemistry. Beyond fantastic. *National Priorities of Russia*. **2023**. No.1(48). P.82-89. (Russian)]
- [5] Миндубаев А.З. Принцип экономии в живых системах. *Национальные приоритеты России*. **2023**. №2(49). С.77-87. [A.Z. Mindubaev. The principle of economy in living systems. *National Priorities of Russia*. **2023**. No.2(49). P.77-87. (Russian)]
- [6] Миндубаев А.З. Биодegradация и не только. *Национальные приоритеты России*. **2023**. №3(50). С.70-76. [A.Z. Mindubaev. Biodegradation and beyond. *National Priorities of Russia*. **2023**. No.3(50). P.77-87. (Russian)]
- [7] Миндубаев А.З. Принцип экономии в живых системах: посмотрим на метаболиты. *Наука и жизнь*. **2023**. №2. С.50-54. [A.Z. Mindubaev. The principle of economy in living systems: let's look at metabolites. *Science and Life*. **2023**. No.2. P.50-54. (Russian)]
- [8] Зими́на Т.Ю. Тайна китов со странным запахом. *Наука и жизнь*. **2023**. №4. С.40-41. Комментарий Миндубаева А.З. [T.Yu. Zimina. The mystery of whales with a strange smell. *Science and Life*. **2023**. No.4. P.40-41. Commentary by A.Z. Mindubaev. (Russian)]
- [9] Миндубаев А.З. Синтоны как структурные единицы в биосферных биохимических процессах. *Экологический вестник Северного Кавказа*. **2026**. Т.22. №1. С.12-18. [A.Z. Mindubaev. Synthons as structural units in biochemical biosphere processes. *The North Caucasus Ecological Herald*. **2026**. Vol.22. No.1. P.12-18. (Russian)]
- [10] G. Perrone, A. Susca, G. Cozzi, K. Ehrlich, J. Varga, J.C. Frisvad, M. Meijer, P. Noonim, W. Mahakarnchanakul, R.A. Samson. Biodiversity of *Aspergillus* species in some important agricultural products. *Studies in Mycology*. **2007**. Vol.59. P.53-66. DOI: 10.3114/sim.2007.59.07
- [11] T.C. Cairns, C. Nai, V. Meyer. How a fungus shapes biotechnology: 100 years of *Aspergillus niger* research. *Fungal Biol Biotechnol*. **2018**. Vol.5. No.13. P.1-14. DOI: 10.1186/s40694-018-0054-5
- [12] K.D. Hyde, J. Xu, S. Rapior, R. Jeewon, S. Lumyong, A.G.T. Niego, P.D. Abeywickrama, J.V.S. Aluthmuhandiram, R.S. Brahamanage, S. Brooks, A. Chaiyasen, K.W.T. Chethana, P. Chomnunti, C. Chepkirui, B. Chuankid, N.I. de Silva, M. Doilom, C. Faulds, E. Gentekaki, V. Gopalan, P. Kakumyan, D. Harishchandra, H. Hemachandran, S. Hongsanana, A. Karunarathna, S.C. Karunarathna, S. Khan, J. Kumla, R.S. Jayawardena, J.-K. Liu, N. Liu, T. Luangharn, A.P.G. Macabeo, D.S. Marasinghe, D. Meeks, P.E. Mortimer, P. Mueller, S. Nadir, K.N. Nataraja, S. Nontachaiyapoom, M. O'Brien, W. Penkhrue, C. Phukhamsakda, U.S. Ramanan, A.R. Rathnayaka, R.B. Sadaba, B. Sandargo, B.C. Samarakoon, D.S. Tennakoon, R. Siva, W. Sriprom, T.S. Suryanarayanan, K. Sujarit, N. Suwannarach, T. Suwunwong, B. Thongbai, N. Thongklang, D. Wei, S.N. Wijesinghe J. Winiski, J.Yan, E. Yasanthika, M. Stadler. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Diversity*. **2019**. Vol.97. P.1-136. DOI: 10.1007/s13225-019-00430-9
- [13] S. Khan, S. Nadir, Z.U. Shah, A.A. Shah, S.C. Karunarathna, J. Xu, A. Khan, S. Munir, F. Hasan. Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis*. *Environmental Pollution*. **2017**. Vol.225. P.469-480. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.03.012
- [14] S.P. Santacoloma-Londoño. Evaluation of the biodegradation of polyethylene, polystyrene and polypropylene, through controlled tests in solid suspension with the fungus *Aspergillus flavus*. *Scientia et Technica*. **2019**. Vol.24. No.3. P.532-540. DOI: 10.22517/23447214.20731
- [15] V. Singh, M. Dubey, S. Bhaduria. Biodeterioration of polyethylene high density by *Aspergillus versicolor* and *Aspergillus terreus*. *Advances in BioScience*. **2012**. Vol.3. No.1. P.47-49.
- [16] V.M. Pathak. Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach. *Bioresour. Bioprocess*. **2017**. Vol.4. No.15. P.1-31. DOI: 10.1186/s40643-017-0145-9
- [17] S. Li, Y. Deng, S. Lian, C. Dai, Q. Ma, Y. Qu. Succession of diversity, functions, and interactions of the fungal community in activated sludge under aromatic hydrocarbon stress. *Environmental Research*. **2022**. Vol.204. No.112143. P.1-11. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112143

- [18] Mrs.Ch. Supriya, D. Neehar. Biodegradation of phenol by *Aspergillus niger*. *IOSR Journal of Pharmacy*. **2014**. Vol.4. No.7. P.11-17. DOI: 10.9790/3013-0407011017
- [19] M. Gerginova, J. Manasiev, H. Yemendzhiev, A. Terziyska, N. Peneva, Z. Alexieva. Biodegradation of phenol by antarctic strains of *Aspergillus fumigatus*. *Z. Naturforsch.* **2013**. Vol.68. No.9-10. P.384-393. DOI: 10.1515/znc-2013-9-1006
- [20] A.T. Perdana, M. Arianata, T.R.D. Larasati. Optimization of benzene and toluene biodegradation by *Aspergillus niger* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi*. **2019**. Vol.5. No.2. P.87-91. DOI: 10.36722/sst.v5i2.355
- [21] M.D. Asemoloye, S. Tosi, C. Daccò, X. Wang, S. Xu, M.A. Marchisio, W. Gao, S.G. Jonathan, L. Pecoraro. Hydrocarbon degradation and enzyme activities of *Aspergillus oryzae* and *Mucor irregularis* isolated from nigerian crude oil-polluted sites. *Microorganisms*. **2020**. Vol.8. No.1912. P.1-19. DOI: 10.3390/microorganisms8121912
- [22] A.B. Al-Hawash, X. Zhang, F. Ma. Removal and biodegradation of different petroleum hydrocarbons using the filamentous fungus *Aspergillus* sp. RFC-1. *Microbiologyopen*. **2019**. Vol.8. No.1. e00619. DOI: 10.1002/mbo3.619
- [23] C.C. Okoro, O.O. Amund. Biodegradation of produced water hydrocarbons by *Aspergillus fumigatus*. *Journal of American Science*. **2010**. Vol.6. No.3. P.143-149. DOI: 10.12691/jaem-2-2-3
- [24] B.E. Herrera-Gallardo, R. Guzmán-Gil, J.A. Colín-Luna, J.C. García-Martínez, H.H. León-Santiesteban, O.M. González-Brambila, M.M. González-Brambila. Atrazine biodegradation in soil by *Aspergillus niger*. *Can. J. Chem. Eng.* **2021**. Vol.99. No.4. P.1-15. DOI: 10.1002/cjce.23924
- [25] B.K. Singh, A. Walker. Microbial degradation of organophosphorus compounds. *FEMS Microbiol Rev.* **2006**. Vol.30. No.3. P.428-471. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2006.00018.x
- [26] K.S. Ahmad. Environmental contaminant 2-chloro-*N*-(2,6-diethylphenyl)-*N*-(methoxymethyl)acetamide remediation via *Xanthomonas axonopodis* and *Aspergillus niger*. *Environmental Research*. **2020**. Vol.182. No.109117. P.1-10. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109117
- [27] T.S. Bhalerao, P.R. Puranik. Biodegradation of organochlorine pesticide, endosulfan, by a fungal soil isolate, *Aspergillus niger*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. **2007**. Vol.59. No.4. P.315-321. DOI: 10.1016/j.ibiod.2006.09.002
- [28] O.P. Ahlawat, P. Gupta, S. Kumar, D.K. Sharma, K. Ahlawat. Bioremediation of fungicides by spent mushroom substrate and its associated microflora. *Indian J. Microbiol.* **2010**. Vol.50. No.4. P.390-395. DOI: 10.1007/s12088-011-0067-8
- [29] C. Li, Q. Li, Z. Wang, G. Ji, H. Zhao, F. Gao, M. Su, J. Jiao, Z. Li, H. Li. Environmental fungi and bacteria facilitate lecithin decomposition and the transformation of phosphorus to apatite. *Scientific Reports*. **2019**. Vol.9. No.5291. P.1-8. DOI: 10.1038/s41598-019-51804-7
- [30] X. Zhu, J. Qi, L. Cheng, G. Zhen, X. Lu, X. Zhang. Depolymerization and conversion of waste-activated sludge to value-added bioproducts by fungi. *Fuel*. **2022**. Vol.320. No.123890. P.1-14. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.123890
- [31] H. Guo, N.B. Kreuzenbeck, S. Otani, M. Garcia-Altare, H.-M. Dahse, C. Weigel, D.K. Aanen, C. Hertweck, M. Poulsen, C. Beemelmans. Pseudoxylallemycins A–F, cyclic tetrapeptides with rare allenyl modifications isolated from *Pseudoxylaria* sp. X802: A competitor of fungus-growing termite cultivars. *Org. Lett.* **2016**. Vol.18. No.14. P.3338-3341. DOI: 10.1021/acs.orglett.6b01437
- [32] S. Schmidt, S. Kildgaard, H. Guo, C. Beemelmans, M. Poulsen. The chemical ecology of the fungus-farming termite symbiosis. *Nat. Prod. Rep.* **2022**. Vol.39. No.2. P.231-248. DOI: 10.1039/d1np00022e
- [33] Y.Z. Phyo, J. Ribeiro, C. Fernandes, A. Kijjoa, M.M.M. Pinto. Marine natural peptides: determination of absolute configuration using liquid chromatography methods and evaluation of bioactivities. *Molecules*. **2018**. Vol.23. No.306. P.1-49. DOI:10.3390/molecules23020306
- [34] M. Ali Abdalla, L.J. McGaw. Natural cyclic peptides as an attractive modality for therapeutics: a mini review. *Molecules*. **2018**. Vol.23. No.2080. P.1-19. DOI:10.3390/molecules23082080
- [35] S. Pontrelli, T.-Y. Chiu, E.I. Lanc, F.Y.-H. Chena, P. Chang, J.C. Liao. *Escherichia coli* as a host for metabolic engineering. *Metabolic Engineering*. **2018**. Vol.50. P.16-46. DOI: 10.1016/j.ymben.2018.04.008
- [36] M. Liebhold, S.-M. Li. Regiospecific benzoylation of tryptophan and derivatives catalyzed by a fungal dimethylallyl transferase. *Org. Lett.* **2013**. Vol.15. No.22. P.5834-5837. DOI: 10.1021/ol4029012
- [37] M. Müll, F. Pourmasoumi, L. Wehrhan, O. Nosovska, P. Stephan, H. Zeihe, I. Vilotijevic, B.G. Keller, H. Kries. Biosynthetic incorporation of fluorinated amino acids into the nonribosomal peptide gramicidin S. *RSC Chem. Biol.* **2023**. Vol.4. No.692. P.692-697. DOI: 10.1039/d3cb00061c
- [38] P.G.D. Matthews, R.S. Seymour. Diving insects boost their buoyancy bubbles. Underwater backswimmers use their haemoglobin to help them stay stationary while waiting for prey. *Nature*. **2006**. Vol.441. No.7090. P.171. DOI: 10.1038/441171a

- [39] P.G.D. Matthews, R.S. Seymour. Haemoglobin as a buoyancy regulator and oxygen supply in the backswimmer (Notonectidae, Anisops). *The Journal of Experimental Biology*. **2008**. Vol.211. No.24. P.3790-3799. DOI:10.1242/jeb.018721
- [40] S. Özcan, M. Johnston. Function and regulation of yeast hexose transporters. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. **1999**. Vol.63. No.3. P.554-569. DOI: 10.1128/mmbr.63.3.554-569.1999
- [41] D. Berry, E. Mader, T.K. Lee, D. Woebken, Y. Wang, D. Zhu, M. Palatinszky, A. Schintlmeister, M.C. Schmid, B.T. Hanson, N. Shterzer, I. Mizrahi, I. Rauch, T. Decker, T. Bocklitz, J. Popp, C.M. Gibson, P.W. Fowler, W.E. Huang, M. Wagner. Tracking heavy water (D₂O) incorporation for identifying and sorting active microbial cells. *PNAS*. **2015**. Vol.112. No.2. P.194-203. DOI: 10.1073/pnas.1420406112
- [42] Миндубаев А.З., Акосах Й.А., Алимова Ф.К., Афордоаньи Д.М., Болормаа Ч., Кагиров Р.М., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Яхваров Д.Г. О разложении белого фосфора осадком сточных вод. *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки*. **2011**. Т.153. №2. С.110-119. [A.Z. Mindubaev, J.A. Akosah, F.K. Alimova, D.M. Afordoanyi, R.M. Kagirow, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, D.G. Yakhvarov. On the white phosphorus degradation by wastewater mud. *Scientific Notes of Kazan University. Natural Science Serie*. **2011**. Vol.153. No.2. P.110-119. (Russian)]
- [43] Миндубаев А.З., Волошина А.Д., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Хаяров Х.Р., Минзанова С.Т., Яхваров Д.Г. Микробиологическая деградация белого фосфора. *Экология и промышленность России*. **2018**. Т.22. №1. С.33-37. [A.Z. Mindubaev, A.D. Voloshina, E.V. Babynin, E.K. Badeeva, Kh.R. Khayarov, S. T. Minzanova, D.G. Yakhvarov. Microbiological degradation of white phosphorus. *Ecology and Industry of Russia*. **2018**. Vol.22. Iss.1. P.33-37. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-33-37 (Russian)]
- [44] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Пискунов Д.Б., Махиянов А.Н., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Волошина А.Д. Генотоксичность и цитогенетическое действие белого фосфора. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. **2019**. Т.9. №1. С.81-94 [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, D.B. Piskunov, A.N. Makhyanov, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, A.D. Voloshina. Genotoxicity and cytogenetic effect of white phosphorus. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. **2019**. Vol.9. No.1. P.81-94. (Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-1-81-94
- [45] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Акосах Й.А. Влияние состава культуральных сред на биodeградацию белого фосфора грибами *Aspergillus niger*. *Бутлеровские сообщения*. **2019**. Т.58. №5. С.1-23. [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, Y.A. Akosah. The influence of the culture media composition on the white phosphorus biodegradation by *Aspergillus niger*. *Butlerov Communications*. **2019**. Vol.58. No.5. P.1-23. ROI: jbc-01/19-58-5-1 (Russian)]
- [46] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Волошина А.Д., Сапармырадов К.А., Акосах Й.А., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г. Возможность обезвреживания белого фосфора микробными культурами. *Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук*. **2019**. Т.5. №437. С.122-128. [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, A.D. Voloshina, K.A. Saparmyradov, Y.A. Akosah, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova. The possibility of neutralizing white phosphorus using microbial cultures. *News of NAS RK. Series of Geology and Technical Sciences*. **2019**. Vol.5. No.437. P.122-128. DOI: 10.32014/2019.2518-1491.63
- [47] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Низамов И.С., Хасиятуллина Н.Р., Пирут Л.М., Барская Е.Е., Акосах Й.А. Биodeградация соединений фосфора культурой черного аспергилла. *Бутлеровские сообщения*. **2019**. Т.60. №12. С.1-24 [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, I.S. Nizamov, N.R. Khasiyatullina, L.M. Pirut, E.E. Barskaya, Y.A. Akosah. Biodegradation of a phosphorus compounds by the culture of black aspergill. *Butlerov Communications*. **2019**. Vol.60. No.12. P.1-24. (Russian). ROI: jbc-01/19-60-12-1
- [48] Миндубаев А.З., Кузнецова С.В., Евтюгин В.Г., Даминова А.Г., Григорьева Т.В., Романова Ю.Д., Романова В.А., Бабаев В.М., Бузюрова Д.Н., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г. Влияние белого фосфора на выживаемость, протеом и клеточную морфологию *Aspergillus niger*. *Прикладная биохимия и микробиология*. **2020**. Т.56. №2. С.156-164. [A.Z. Mindubaev, S.V. Kuznetsova, V.G. Evtuyugin, A.G. Daminova, T.V. Grigoryeva, Y.D. Romanova, V.A. Romanova, V.M. Babaev, D.N. Buzyurova, E.V. Babynin, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova. Effect of white phosphorus on the survival, cellular morphology, and proteome of *Aspergillus niger*. *Applied Biochemistry and Microbiology*. **2020**. Vol.56. No.2. P.156-164. (Russian). DOI: 10.31857/S0555109920020117
- [49] A.Z. Mindubaev, S.V. Kuznetsova, V.G. Evtuyugin, A.G. Daminova, T.V. Grigoryeva, Y.D. Romanova, V.A. Romanova, V.M. Babaev, D.N. Buzyurova, E.V. Babynin, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova. Effect of white phosphorus on the survival, cellular morphology, and proteome

- of *Aspergillus niger*. *Applied Biochemistry and Microbiology*. **2020**. Vol.56. No.2. P.194-201. DOI: 10.1134/S0003683820020118
- [50] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Низамов И.С., Хаяров Х.Р., Акосах Й.А. Метаболизм соединений фосфора и таксономическое положение гриба *Aspergillus niger* AM1. *Бутлеровские сообщения*. **2020**. Т.62. №6. С.98-124. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/20-62-6-98 [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, I.S. Nizamov, Kh.R. Khayarov, Y.A. Akosah. Metabolism of phosphorus compounds and taxonomic position of the *Aspergillus niger* AM1 mold. *Butlerov Communications*. **2020**. Vol.62. No.6. P.98-124. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/20-62-6-98 (Russian)]
- [51] Миндубаев А.З., Федосимова С.В., Григорьева Т.В., Романова В.А., Бабаев В.М., Бузюрова Д.Н., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Акосах Й.А., Караева Ю.В. Влияние белого фосфора на клеточную морфологию и белковый профиль штаммов гриба *Aspergillus niger*. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. **2021**. Т.11. №1. С.69-79. [A.Z. Mindubaev, S.V. Fedosimova, T.V. Grigoryeva, V.A. Romanova, V.M. Babaev, D.N. Buzyurova, E.V. Babynin, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, Y.A. Akosah, J.V. Karaeva. Effects of white phosphorus on the cellular morphology and protein profile of *Aspergillus niger*. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. **2021**. Vol.11. No.1. P.69-79. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-1-69-79
- [52] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Даминова А.Г., Бадеева Е.К., Горбачук Е.В., Низамов И.С., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Акосах Й.А. Влияние белого фосфора на жизнеспособность *Aspergillus niger* AM1 и AM2. Происхождение данных штаммов. *Бутлеровские сообщения*. **2021**. Т.65. №3. С.25-48. [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, A.G. Daminova, E.K. Badeeva, E.V. Gorbachuk, I.S. Nizamov, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, Y.A. Akosah. The effect of white phosphorus on the *Aspergillus niger* AM1 and AM2 survival. The origin of these strains. *Butlerov Communications C*. **2021**. Vol.1. No.1. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/21-1-1-1]
- [53] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Акосах Й.А. Биологическая деградация желтого (белого) фосфора – вещества первого класса опасности. *Журнал неорганической химии*. **2021**. Т.66. №8. С.1137-1142. DOI: 10.31857/S0044457X21080158 [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, E.K. Bedeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, Y.A. Akosah. Biological degradation of yellow (white) phosphorus, a compound of first class hazard. *Journal of Inorganic Chemistry*. **2021**. Vol. 66, No. 8. P.1137-1142. (Russian). DOI: 10.31857/S0044457X21080158]
- [54] Миндубаев А.З., Федосимова С.В., Евтюгин В.Г., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Акосах Й.А., Караева Ю.В. Морфологические адаптации *Aspergillus niger* к белому фосфору. *Бутлеровские сообщения*. **2021**. Т.66. №6. С.48-66. [A.Z. Mindubaev, S.V. Fedosimova, V.G. Evtugyn, E.V. Babynin, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, Y.A. Akosah, J.V. Karaeva. Morphological adaptations of *Aspergillus niger* to white phosphorus. *Butlerov Communications A*. **2021**. Vol.1. No.2. Id.19. DOI: 10.37952/ROI-jbc-A/21-1-2-19]
- [55] A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, E.K. Bedeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, Y.A. Akosah. Biological degradation of yellow (white) phosphorus, a compound of first class hazard. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. **2021**. Vol.66. No.8. P.1239-1244. DOI: 10.1134/S0036023621080155
- [56] A. Mindubaev, E. Babynin, S. Minzanova, E. Badeeva, Y. Akosah. White phosphorus genotoxicity. *Bio Web of Conference*. **2021**. Vol.31. No.00018. P.1-3. DOI: 10.1051/bioconf/20213100018
- [57] Миндубаев А.З., Григорьева Т.В., Романова Ю.Д., Романова В.А., Валидов Ш.З., Бабаев В.М., Бузюрова Д.Н., Бабынин Э.В., Волошина А.Д., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Акосах Й.А. Влияние белого фосфора на белковый профиль *Aspergillus niger*. *Бутлеровские сообщения*. **2021**. Т.68. №11. С.59-77. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/21-2-3-12 (Russian) [A.Z. Mindubaev, T.V. Grigoryeva, Y.D. Romanova, V.A. Romanova, S.Z. Validov, V.M. Babaev, D.N. Buzyurova, E.V. Babynin, A.D. Voloshina, E.K. Badeeva, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, Y.A. Akosah. The effect of white phosphorus on the protein profile of *Aspergillus niger*. *Butlerov Communications*. **2021**. Vol.68. No.11. P.59-77. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/21-2-3-12]
- [58] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Ахмедова Г.Р., Антех Д.Д. Токсичность производных борной и дитиофосфорной кислот для *Aspergillus niger* AM1. Солюбилизация фосфата данным штаммом. *Бутлеровские сообщения*. **2022**. Т.70. №6. С.55-70. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/22-70-6-55 (Russian) [Anton Z. Mindubaev, Edward V. Babynin, Gulnaz R. Akhmedova, Joyce D. Anteh. Toxicity of boric and dithiophosphoric acid derivatives to *Aspergillus niger* AM1. Solubilisation of phosphate by this strain. *Butlerov Communications C*. **2022**. Vol.3. No.2. Id.5. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/22-3-2-5]
- [59] Миндубаев А.З., Клементьев С.В., Кобелев А.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Бабынин Э.В., Антех Джойс Дедеи. Активность лектинов *Aspergillus niger* AM1 и AM2. *Бутлеровские сообщения*. **2022**. Т.72. №12. С.117-129. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/22-72-12-117 [Anton Z. Mindubaev, Svyatoslav V. Klementiev, Alexey V. Kobelev, Salima T. Minzanova, Lubov G. Mironova, Edward V. Babynin,

- Полная исследовательская публикация** _____ Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бабаев В.М., Тутучкина В.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Караева Ю.В., Антех Дж.Д.
- Joyce Dedei Anteh. The activity of *Aspergillus niger* AM1 and AM2 lectins. *Butlerov Communications C.* **2022.** Vol.4. No.4. Id.7. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/22-4-4-7]
- [60] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Тимофеева С.С., Камалов Р.Ф., Антех Д.Д. Биодegradация лигнинсульфоната при помощи *Aspergillus niger* AM1. *Бутлеровские сообщения.* **2023.** Т.73. №2. С.83-91. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-73-2-83 [Anton Z. Mindubaev, Edward V. Babynin, Svetlana S. Timofeeva, Rustem F. Kamalov, Joyce Dedei Anteh. Biodegradation of lignin sulfonate by *Aspergillus niger* AM1. *Butlerov Communications C.* **2023.** Vol.5. No.1. Id.9. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/23-5-1-9]
- [61] Миндубаев А.З., Галимова А.Р., Кузнецова О.Н., Ахбарова Л.И., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К. Биотрансформация красного фосфора в фосфаты при помощи *Aspergillus niger*. *Вестник технологического университета.* **2023.** Т.26. №10. С.41-45. [A.Z. Mindubaev, A.R. Galimova, O.N. Kuznetsova, L.I. Akhbarova, E.V. Babynin, E.K. Badeeva. Biotransformation of red phosphorus in phosphates by *Aspergillus niger*. *Herald of Technological University.* **2023.** Vol.26. No.10. P.41-45. (Russian). DOI: 10.55421/1998-7072_2023_26_10_41]
- [62] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Антех Д.Д. Влияние источника фосфора на кислотность культуральной среды. *Бутлеровские сообщения.* **2024.** Т.77. №1. С.79-90. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-77-1-79 [Anton Z. Mindubaev, Edward V. Babynin, Joyce D. Anteh. Effect of phosphorus source on the acidity of the culture medium. *Butlerov Communications C.* **2024.** Vol.7. No.1. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-77-1-79/ROI-jbc-C/24-7-1-2]
- [63] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бабаев В.М., Тутучкина В.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Караева Ю.В. Штамм *Aspergillus niger* AM1 как агент биодegradации нефти и нефтепродуктов. *Микология и фитопатология.* **2024.** Т.58. №1. С.27-35. DOI: 10.31857/S0026364824010037 [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, V.M. Babaev, V.V. Tutuchkina, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, Yu.V. Karaeva *Aspergillus niger* AN1 strain as causative agent for oil and petroleum products biodegradation. *Mycology and Phytopathology.* **2024.** Vol.58. No.1. P.27-35. (Russian). DOI: 10.31857/S0026364824010037]
- [64] A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, V.M. Babaev, V.V. Tutuchkina, S.T. Minzanova, L.G. Mironova, J.V. Karaeva. *Aspergillus niger* strain AM1 as a biodegradation agent for crude oil and crude oil products. *Biology Bulletin Reviews.* **2024.** Vol.14. No.1. P.S53-S59. DOI: 10.1134/S207908642460084X]
- [65] Миндубаев А.З., Чапоргина А.А., Мязин В.А., Бабынин Э.В., Балымова Е.С. Культурально-морфологические особенности штаммов *Aspergillus niger* в условиях роста на среде с трибутилфосфатом. *Микология и фитопатология.* **2025.** Т.59. №1. С.63-73. [A.Z. Mindubaev, A.A. Chaporgina, V.A. Myazin, E.V. Babynin, E.S. Balymova. Morphological characteristics of *Aspergillus Niger* under growth with tributylphosphate. *Mycology and Phytopathology.* **2025.** Vol.59. No.1. P.63-73. (Russian). DOI: 10.31857/S0026364825010089]
- [66] Миндубаев А.З., Галимова А.Р., Гоголашвили Э.Л., Ахбарова Л.И., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Антех Д.Д. Подтверждение биодegradации красного фосфора. *Бутлеровские сообщения.* **2025.** Т.81. №3. С.76-88. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-81-3-76 [Anton Z. Mindubaev, Alina R. Galimova, Edward L. Gogolashvili, Lilia I. Akhbarova, Edward V. Babynin, Elena K. Badeeva, Salima T. Minzanova, Joyce D. Anteh. Confirmation of red phosphorus biodegradation. *Butlerov Communications C.* **2025.** Vol.10. No.1. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-81-3-76/ROI-jbc-C/25-10-1-8]
- [67] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В. Царькова Ю.Р., Дегтярева И.А., Антех Дж. Дедеи. Антагонизм гриба *Aspergillus niger* F-4815D и бактериальных культур. *Бутлеровские сообщения.* **2025.** Т.83. №8. С.87-98. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-8-87 [Anton Z. Mindubaev, Edward V. Babynin, Julia R. Tsarkova, Irina A. Degtyareva, Joyce D. Anteh. Antagonism of *Aspergillus niger* strain F-4815D fungus and bacterial cultures. *Butlerov Communications C.* **2025.** Vol.11. No.9. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-8-87/ROI-jbc-C/25-11-3-9]
- [68] Миндубаев А.З., Балымова Е.С., Чапоргина А.А. Действие трибутилфосфата на два близкородственных штамма *Aspergillus niger*. *Экологический вестник Северного Кавказа.* **2025.** Т.21. №4. С.125-132. [A.Z. Mindubaev, E.S. Balymova, A.A. Chaporgina. Effect of tributyl phosphate on two closely related strains of *Aspergillus niger*. *The North Caucasus Ecological Herald.* **2025.** Vol.21. No.4. P.125-132. (Russian)]
- [69] E.D. Bidoia, R.N. Montagnolli, P.R.M. Lopes. Microbial biodegradation potential of hydrocarbons evaluated by colorimetric technique: a case study. In: Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology. **2010.** Mendez-Vilas A. (Ed.). *FORMATEX, Badajoz, Spain.* P.1277-1288. DOI: 10.12691/ijebbb-6-1-3]
- [70] A.P. Mariano, D.M. Bonotto, D.F. Angelis, M.P.S. Pirolo, J. Contiero. Biodegradability of commercial and weathered diesel oils. *Brazilian Journal of Microbiology.* **2008.** Vol.39. P.33-142. DOI: 10.1590/S1517-838220080001000028]

- БИОДЕГРАДАЦИЯ НЕФТИ И ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ШТАММА ... _____ 73-89
- [71] K.G. Hanson, J.D. Desai, A.J. Desai. A rapid and simple screening technique for potential crude oil degrading microorganisms. *Biotechnol Tech.* **1993**. Vol.7. No.10. P.745-748. DOI: 10.1007/BF00152624
- [72] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г. Способ детоксикации нефти с применением штамма *Aspergillus niger* AM1VKM F-4815D. Патент РФ № 2791735 от 13.03.2023. Бюлл. изобр. №8. Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 15 февраля 2023 г. Заявка 2022122807/10(048738). Дата приоритета 24.08.2022. [A.Z. Mindubaev, E.V. Babynin, S.T. Minzanova, L.G. Mironova. Oil detoxification method using *Aspergillus niger* strain AM1VKM F-4815D. *Patent of the Russian Federation* № 2791735 of 13.03.2023. Invention bulletin №8. The positive decision on the grant of a patent for the invention of February 15, 2023. Application 2022122807/10(048738). Date of priority 24.08.2022. (Russian)]
- [73] S. Kubicki, A. Bollinger, N. Katzke, K.-E. Jaeger, A. Loeschke, S. Thies marine biosurfactants: biosynthesis, structural diversity and biotechnological applications. *Mar. Drugs.* **2019**. Vol.17. No.408. P.1-30. DOI: 10.3390/md17070408
- [74] J. Zhang, Q. Xue, H. Gao, P. Wang. Biodegradation of paraffin wax by crude *Aspergillus* enzyme preparations for potential use in removing paraffin deposits. *J. Basic Microbiol.* **2015**. Vol.55. No.11. P.1326-1335. DOI: 10.1002/jobm.201500290
- [75] L. Tebbouche, D. Hank, S. Zeboudj, A. Namane, A. Hellal Evaluation of the phenol biodegradation by *Aspergillus niger*: application of full factorial design methodology. *Desalination and Water Treatment.* **2015**. Vol.7. No.13. P.1-7. DOI: 10.1080/19443994.2015.1053991
- [76] J. Morgan, A. Greenberg. Insights into the Formation and Isomerization of the Benzene Metabolite Muconaldehyde and Related Molecules: Comparison of Computational and Experimental Studies of Simple, Benzo-Annulated, and Bridged 2,3-Epoxyoxepins. *J. Org. Chem.* **2010**. Vol.75. No.14. P.4761-4768. DOI: 10.1021/jo100610g
- [77] Anton Z. Mindubaev, Edward V. Babynin, Vasily M. Babaev, Viktoria V. Tutuchkina, Salima T. Minzanova, Lubov G. Mironova, Julia V. Karaeva, Joyce D. Anteh. Biodegradation of oil and organic solvents using the strain *Aspergillus niger* F-4815D. *Butlerov Communications C.* **2026**. Vol.13. No.2. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-4-73/ROI-jbc-C/26-13-2-1
- [78] Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бабаев В.М., Тутучкина В.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Караева Ю.В., Антех Дж.Д. Биодegradация нефти и органических растворителей при помощи штамма *Aspergillus niger* F-4815D. *Бутлеровские сообщения С.* **2026**. Т.13. №2. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-4-73/ROI-jbc-C/26-13-2-1 (Russian)

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

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-C/26-13-2-1

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-4-73/ROI-jbc-C/26-12-2-1

**Biodegradation of oil and organic solvents
using the strain *Aspergillus niger* F-4815D**

**Anton Z. Mindubaev,^{1*} Edward V. Babynin,³ Vasily M. Babaev,² Viktoria V. Tutuchkina,²
Salima T. Minzanova,² Lubov G. Mironova,² Julia V. Karaeva,⁴ Joyce D. Anteh⁵**

¹ Federal Research Center KazSC RAS. POB 261, Lobachevsky St., 2/31. Kazan, 420111. Russia.

E-mail: mindubaev-az@yandex.ru

² Institute of Organic and Physical Chemistry Named after A.E. Arbuzov. Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Arbuzov St., 8. Kazan, 420088. Republic of Tatarstan. Russia.

³ MMGM laboratory – Subdivision of the Federal Research Center Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Kazan, 420059. Orenburg Tract, 20a.

⁴ Institute of Power Engineering and Advanced Technologies. FRC Kazan Scientific Center. Russian Academy of Sciences. POB 261. Lobachevsky St., 2/31. Kazan, 420111. Republic of Tatarstan. Russia.

⁵ Kazan (Volga Region) Federal University. University St., 18. Kazan, 420008. Republic of Tatarstan. Russia.

*Supervising author; †Corresponding author

Keywords: crude oil, petroleum products, biodegradation, *Aspergillus niger*, mass spectrometry.

Abstract

The biodegradation of crude oils from two oil fields in Tatarstan by the strain *Aspergillus niger* AM1 VKM F-4815D was investigated. The source crude oils differed significantly in composition and properties. Visual inspection and gas chromatography-mass spectrometry revealed that the crude oil undergoes partial degradation but cannot serve as the sole source of carbon – the culture medium must contain glucose.

Metabolic activity by *A. niger* alters the composition of the crude oil: there is a decrease in the total number of components and an increase in the content of oxidized and oxygen-containing compounds. This indicates that biological degradation has occurred. An interesting fact is the change in consistency and solidification of the crude oil under the influence of *A. niger*. These findings suggest the potential use of this strain for the biological remediation of crude oil-contaminated soils and waters.

Similarly, earlier studies established that this strain can metabolize a number of toxic phosphorus compounds, including white and red phosphorus. Consequently, the strain can be considered a fairly versatile pollutant degrader. However, most organic solvents have a significant toxic effect, inhibiting growth in the presence of glucose and failing to serve as carbon sources in the absence of glucose. Unlike petroleum products, they are individual chemical compounds. Solvent toxicity can be ranked as follows: ethyl acetate → ethylene glycol → isooctane → *n*-hexane, 1,2-dichloroethane → isopropanol → acetonitrile, benzene → paraldehyde, toluene. In the absence of glucose, all of these solvents inhibit growth.