



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY



ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ - 2025

Материалы XXI Международной научной конференции
студентов, аспирантов и молодых учёных

*Электронное издание
в 4 частях
Часть I*

Естественные науки

2025

Красноярск



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY



PROSPECT SVOBODNY - 2025

Proceedings of the XXI International Scientific Conference
for undergraduate, postgraduate, PhD students
and early career researchers

*Electronic publication
in 4 parts
Part I*

Natural Sciences

2025

Krasnoyarsk

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ – 2025

Материалы XXI Международной научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых

*Электронное издание
в 4 частях
Часть I*

Естественные науки

Красноярск

УДК 001.891(03)

ББК 72.5

Ответственные за выпуск:

Губанов Алексей Константинович

Чижов Илья Алексеевич

В том числе члены Студенческого научного сообщества
Сибирского федерального университета:

Бречко Эвелина Дмитриевна

Гусева Маргарита Сергеевна

Емельянова Алина Алексеевна

Матвеева Дарья Юрьевна

Ромашов Павел Алексеевич

Федичкина Алина Вячеславовна

Шарипова Алина Руслановна

Щербаков Дмитрий Геннадьевич

П827 Проспект Свободный – 2025: материалы XX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 21–26 апреля 2025 г. [Электронный ресурс] / отв. за вып. А. К. Губанов, И. А. Чижов, Э. В. Бречко, М. С. Гусева, А. А. Емельянова, Д. А. Матвеева, П. А. Ромашов, А. В. Федичкина, А. Р. Шарипова, Д. Г. Щербаков – Электрон. дан. (32,3 Mb). – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2025. – 554 с. – Систем. требования: PC не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7/8/10; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7638-5170-0 (часть 1)

ISBN 978-5-7638-5169-4

Представлены результаты научно-исследовательской работы студентов, аспирантов и молодых ученых. Материалы публикуются в авторской редакции.

Предназначены для студентов различных направлений и специальностей, аспирантов, научных работников и преподавателей.

УДК 001.891(03)

ББК 72.5

ISBN 978-5-7638-5170-0 (часть 1)

ISBN 978-5-7638-5169-4

© Оформление. Сибирский
федеральный университет, 2025

Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation
Siberian Federal University

PROSPECT SVOBODNY – 2025

Proceedings of the XXI International Scientific Conference
for undergraduate, postgraduate, PhD students and early
career researchers

*Electronic publication
in 4 parts
Part I*

Natural Sciences

Krasnovarsk

UDC 001.891(03)

LBC 72.5

П827

Responsible for edition:

Gubanov K. Aleksey
Chizhov A. Ilya

Members of the Siberian Federal University Research Students' Union:

Brechko D. Evelina
Guseva S. Margarita
Emelyanova A. Alina
Matveeva U. Darya
Romashov A. Pavel
Fedichkina V. Alina
Sharipova R. Alina
Sherbakov G. Dmitriy

П827 **Prospect Svobodny – 2025:** proceedings of the XXI International Scientific Conference for undergraduate, postgraduate, PhD students and early career researchers. Krasnoyarsk, April 21–26, 2025 [Electronic resource] / edit. A. K. Gubanov, I. A. Chizhov, E. D. Brechko, M. S. Guseva, A. A. Emelyanova, D. U. Matveeva, P. A. Romashov, A. V. Fedichkina, A. R. Sharipova, D. G. Shcherbakov–Electronic data (32,3 Mb).–Krasnoyarsk: SibFU, 2025.–528 p.

–Hardware re-quirements: PC Pentium I or higher; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7/8/10 ; Adobe Reader V8.0 or higher.

ISBN 978-5-7638-5170-0 (part 1)

ISBN 978-5-7638-5169-4

The proceedings include results of research by undergraduate, postgraduate, PhD students and early career researchers. The proceeding papers are published in the author's edition.

The edition is aimed at students of different specializations, PhD students, scholars and university professors.

UDC 001.891(03)
LBC 72.5

ISBN 978-5-7638-5170-0 (part 1)

ISBN 978-5-7638-5169-4

© Design. Siberian
Federal University, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

From the cell to the forest using dendrochronology to understand forests response to climate change	9
Биоллюминесценция	36
Биотехнология	53
Биофизика.....	84
Вопросы экологии и географии Северной Евразии.....	116
Инновационные технологии в науке и практике	198
Медицинская биология	244
Новые материалы. Химия.....	317
Управление развитием территорий и проблемы рационального природопользования	398
Фундаментальная и прикладная физика	466
Экология водных и наземных экосистем.....	524

**From the cell to the forest using
dendrochronology to understand forests
response to climate change**

UDC 581.54

RELATIONSHIP BETWEEN TREE RING WIDTH WITH LAKE WATER LEVEL IN CENTRAL YAKUTIA

Xiaohong Zhang¹

Supervisor A. N. Nikolaev¹

Doctor in Biological Sciences

Supervisor L. A. Pestryakova¹

Doctor in Geographical Sciences

¹*North-Eastern Federal University*

Lake hydrological dynamics are intricately linked to the surrounding ecosystems. Fluctuations in lake levels play a pivotal role in comprehending how ecosystems react to climatic variability. This research is centered on Central Yakutia, where the extreme climatic conditions offer a distinctive backdrop for investigating the interactions between climate and the hydrological cycle. Tree - ring width (TRW), a well-established proxy in environmental change research, has been extensively applied in climate change studies. Nevertheless, within Central Yakutia, with its extreme climate, the body of research correlating TRW data with specific hydrological events remains scarce. In light of this, the objective of this study is to analyze the correlation between tree radial growth and lake levels in this region, elucidate the function of TRW changes in documenting and reflecting seasonal hydrological events, and furnish a foundation for forecasting future ecosystem responses to climate change.

The lake - level monitoring site in this study is situated at Tüngülyü Lake in Central Yakutia (62.188230°N, 130.722390°E). The tree - ring sampling sites are located in Tüngülyü Village (62.200000°N, 130.633333°E) and Churapcha Village (62.000000°N, 132.500000°E) (as depicted in Figure 1). This region is characterized by an extreme continental climate, featuring long, frigid winters and short, warm summers. Annual precipitation is low and mainly concentrated in the summer months.

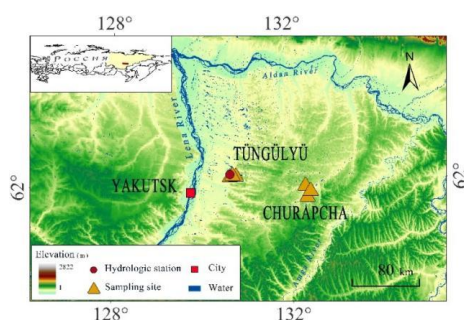


Figure 1. Locations of the tree-ring sampling sites and the hydrological stations in the Central Yakutia region

The lake-level data employed in this study were sourced from the official forecasts of FGBU “Yakutsk UGMS” and covered the period spanning from 1962 to 2020. In 2023, tree-ring samples of larch (*Larix cajanderi* Mayr) were collected from three plots in the vicinity of Churapcha Village, namely Churapcha-1 (abbreviated as CHA-1), Churapcha-2 (abbreviated as CHA-2), and Churapcha-3 (abbreviated as CHA-3). In 2024, samples were procured from three plots near Tüngülyü Village: Tüngülyü-1 (abbreviated as TUK-1), Tüngülyü-2 (abbreviated as TUK-2), and Tüngülyü-3 (abbreviated as TUK-3).

Subsequently, these samples underwent natural drying, fixation, and polishing procedures under laboratory conditions. They were scanned using a flat-bed scanner equipped with SilverFast (64-bit) scanning software at a resolution of 3200 DPI. The scanned digital images were then imported into CooRecorder (9.3.1), where ring boundaries were marked both manually and automatically [1]. The quality of cross-dating was verified by means of the COFECHA program [2].

The time-series data of *Larix cajanderi* Mayr were detrended through the application of a negative exponential smoothing method, and the standard deviation (STD) was computed. Ultimately, a Pearson correlation analysis was carried out between the tree-ring width data and lake levels.

The time spans of tree rings in the two regions range from 1861–2024 (TUK-2) and 1770–2022 (CHA-1). Among statistical parameters, the first-order autocorrelation coefficient (ac1) varies from 0.466 to 0.729; the inter-series correlation coefficient (Rbar), from 0.553 to 0.719; the sensitivity coefficient (MS), from 0.328 to 0.430; the population-expressed signal (EPS), from 0.965 to 0.982; and the signal-to-noise ratio (SNR), from 27.187 to 53.679. Owing to the geographical location of Central Yakutia, all tree-ring chronologies display high mean sensitivity and standard deviation, typical of trees in arid and semi-arid regions. High inter-series correlation coefficients suggest that our tree-ring width chronologies reliably capture standard climatic signals.

The average minimum temperature and absolute minimum temperature in July of the previous year were significantly negatively correlated with tree-ring growth. In the Tüngülyü study area, Plots 2 and 3 had correlation coefficients of -0.47

and -0.39, respectively. In the Churapcha study area, Plot 1 showed stronger negative correlations, with coefficients of -0.53 and -0.42, respectively.

In the Tüngülyü study area, Plot 1 was positively correlated with the accumulated precipitation in June of the current year (correlation coefficient: 0.42). All plots in both study areas were significantly positively correlated with the accumulated precipitation in August of the previous year. The correlation coefficients were 0.48, 0.53, and 0.52 for Plots 1, 2, and 3 in Tüngülyü, and 0.42, 0.58, and 0.46 for Plots 1, 2, and 3 in Churapcha, with Plot 2 in Churapcha having the strongest correlation. Differences in correlations were observed among different plots in both study areas.

In the Tüngülyü study area, the STD chronologies of Plots 2 and 3 were positively correlated with lake levels in December of the current year (correlation coefficients: 0.38 and 0.39, respectively; $p < 0.01$). Higher lake levels in December presumably enhanced soil moisture conditions, supplying more water resources for tree growth, as manifested in tree-ring characteristics (see Figure 2).

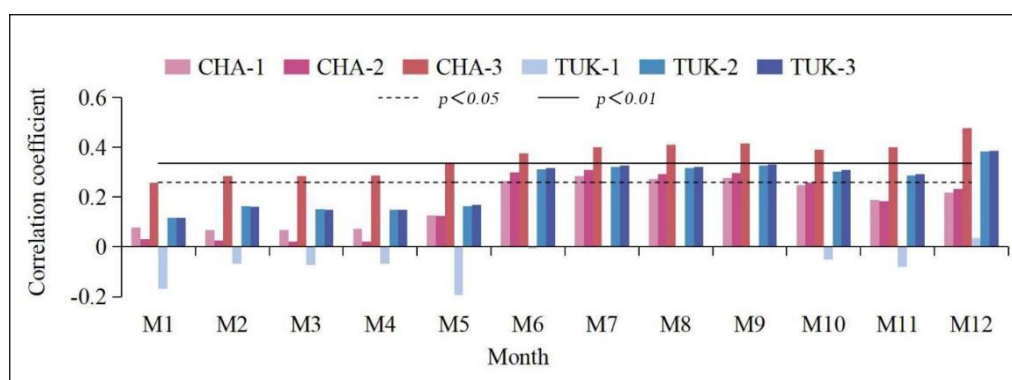


Figure 2. Correlation coefficients between the Tree - Ring STD Chronologies in the Tüngülyü and Churapcha Regions and the Water Level of Tüngülyü Lake

In the Churapcha study area, only Plot 3 exhibited a significant correlation with lake levels. It was significantly positively correlated with lake levels in both September and December (correlation coefficients: 0.42 and 0.48, respectively; $p < 0.001$). The complex and pronounced effects in Plot 3 imply that different plots in the study areas responded variably to lake-level changes, likely due to factors such as geographical location, soil properties, and surrounding ecosystems.

Environmental factors, namely temperature, precipitation, and lake levels, significantly impact tree-ring growth in the Tüngülyü and Churapcha study areas. Low temperatures in July of the previous year impede tree growth, whereas precipitation in August of the previous year facilitates it. Lake levels exert complex, area-specific influences on tree growth. The variable correlations among plots mirror differential responses to environmental changes, attributable to geographical and local factors.

The authors express their sincere gratitude to the head of laboratory A. Arzac and postgraduate students K. V. Bogdanova and V. V. Agapova from the Laboratory

for complex studies of forest dynamics of Eurasia at Siberian Federal University (Krasnoyarsk) for their assistance in scientific research and experimentation. They also thank Aleksey Nikolaevich and Evgeny Sergeyevich for their support in fieldwork.

References

1. Summer temperature variability since 1730 CE across the low-to-mid latitudes of western North America from a tree ring blue intensity network / K. J. Heeter, G. L. Harley, J. T. Maxwell [et al.] // Quat. Sci. Rev. 2021. Vol. 267. P. 107064.
2. Grissino-Mayer H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA // Tree-Ring Res. 2001. Vol. 57. № 2. P. 205–221.

UDC 574*574.2*574.24

FROM THE URALS TO YAKUTIA: STABLE SUMMER TEMPERATURE SIGNALS IN BOREAL FORESTS REVEALED BY BLUE INTENSITY PARAMETERS

V. V. Agapova¹

Scientific supervisor A. Arzac¹

Candidate of Biological Sciences, associate professor

¹*Siberian Federal University*

The boreal forests of northern Russia, dominated by larch species (approximately 35.6%), play a crucial role in global carbon cycles and ecosystem resilience. Understanding their responses to climate is essential for predicting future environmental changes.

To assess these responses, we selected six sites across two major biomes: the forest-tundra (Polar Urals (PUR) and Igarka (IGA), dominated by *Larix sibirica* Ledeb., and Chokurdakh (CHO), dominated by *L. cajanderi* Mayr) and the northern taiga (Northern Urals (PUR), dominated by *L. sibirica*, Tura (TUR), dominated by *L. gmelinii* (Rupr.) Rupr. and Suntar-Khayata (SKH), dominated by *L. cajanderi*). These sites span over 3000 km, from the Ural Mountains to the Sakha Republic. At each site, wood cores were collected using a 5-mm increment borer and analyzed for tree-ring width (TRW) and blue intensity (BI) parameters, including latewood blue intensity (LWBI) and delta blue intensity (DBI), the latter calculated as the difference between LWBI and EWBI [1]. The collected cores underwent standardized processing: resin extraction with 96% ethanol, removal of water-soluble substances in warm water, air-drying, and subsequent mounting and polishing. The polished core surfaces were then scanned at high resolution (3200 dpi) for measurement. A total of 185 cores were selected for TRW and BI measurements using Coorecorder v9.3. TRW series were visually cross-dated, and validated using COFECHA [2]. To isolate climate signals, the series were detrended using a cubic smoothing spline, and residual chronologies were further processed through autoregressive modeling to remove autocorrelation. Correlation analyses were conducted between the detrended residual chronologies and monthly temperature and precipitation data from 1961 to 2020. Additionally, we assessed the cumulative effect of climate parameters over consecutive months to determine the timing and strength of climate signals. All statistical analyses were performed in R [3] using specialized packages (dplR, TreeClim, Factoextra).

Despite the geographical distances between sites, significant correlations were observed, particularly within *L. sibirica* chronologies between PUR and NUR ($r = 0.32$;

$P < 0.01$) and between PUR and IGA (up to $r = 0.44$; $P < 0.01$). Furthermore, TUR exhibited strong correlations with PUR and IGA for LWBI ($r = 0.42$ and 0.72 ; $P < 0.01$, respectively). Pearson's correlations showed a positive influence of summer temperatures on TRW, LWBI, and DBI at all sites, with variations in correlation strength (Figure). LWBI and DBI chronologies consistently showed stronger correlations than TRW chronologies, with the highest sensitivity occurring for June–July mean temperatures. Notably, BI parameters captured the most robust and stable relationships with temperature over time, whereas TRW showed declining sensitivity in recent decades. Forest-tundra sites displayed more pronounced temperature signals than northern taiga sites. This difference likely reflects the stronger temperature limitation for tree growth above the polar circle, where even minor summer temperature variations critically influence growth. At these high-latitude sites, the optimal temperature window for growth responses was remarkably consistent, typically falling between June 10 and July 30 (DOY 160–210). Despite working with three different larch species across a wide geographical area, we observed striking uniformity in temperature responses. All species showed peak sensitivity to June–July temperatures, suggesting common physiological mechanisms of temperature response. The similarity was particularly evident in DBI chronologies. As expected in these temperature-limited ecosystems, precipitation signals were generally weak. The few significant correlations were negative at Urals sites, possibly reflecting waterlogging effects in permafrost soils.

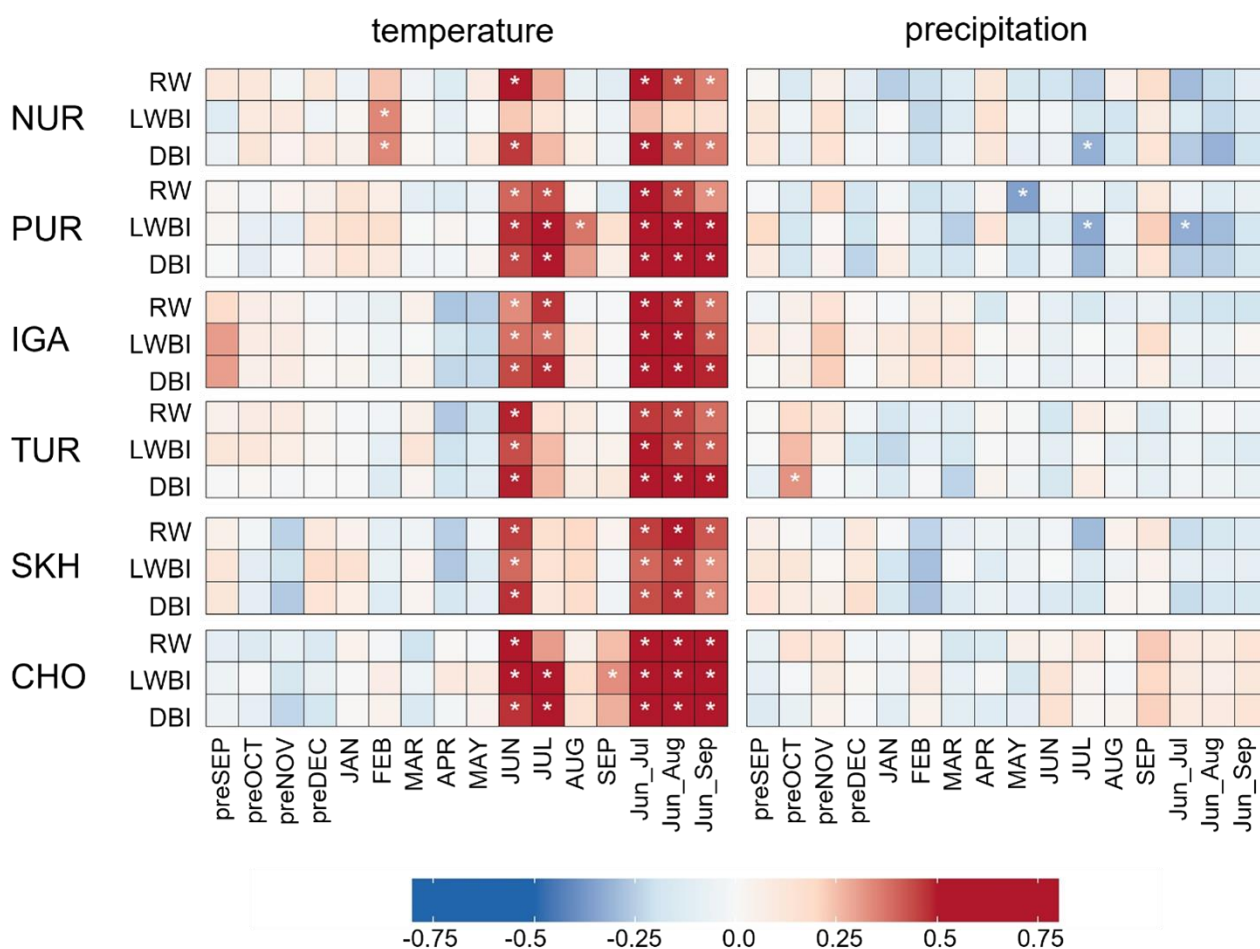


Figure. Pearson correlations between mean monthly temperature and total monthly precipitation with TRW, LWBI and DBI residual chronologies for the 1961–2020 period. Asterisks indicate correlations with $P < 0$.

These findings demonstrate that BI parameters, particularly DBI, provide superior and more stable temperature proxies than TRW in high-latitude larch forests independently of the species. This aligns with recent work on *Larix sibirica* in the Ural Mountains, where latewood blue intensity (LWBI) and delta blue intensity (DBI) similarly outperformed traditional dendrochronological parameters in capturing summer temperature signals [4]. The consistency across species and sites supports their use for large-scale climate reconstructions, while biome-specific patterns highlight the importance of ecological context in dendroclimatic studies.

This work was supported by the Ministry of Science and Education of the Russian Federation [FSRZ-2020-0014].

References

1. Björklund, J. A., Gunnarson, B. E., Seftigen, K., Esper, J., Linderholm, H.W. Blue intensity and density from northern fennoscandian tree rings, exploring the potential to improve summer temperature reconstructions with earlywood

information // *Climate of the Past*. 2014. Vol. 10. P. 877–885.

2. Holmes, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-Ring Bulletin* 1983. Vol. 43. P. 69-78.

3. R Core Team: R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, 2022 [Electronic resource]. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_ru.pdf [date of access 02.04.2025].

4. Agapova V. V., Arzac A., Kukarskih V. V., Büntgen U., Esper J., Kirilyanov A.V. Tree-ring blue intensity measurements from treeline sites in the Ural Mountains exhibit a strong summer temperature signal // *Dendrochronologia*. 2025. Vol. 88

UDC*574.24

INFLUENCE OF SUMMER TEMPERATURES ON THE RADIAL GROWTH OF CONIFERS IN CONDITIONS OF ARCTIC WARMING

K. V. Akulinina¹

Scientific supervisor A. Arzac¹

Candidate of Biological Sciences, associate professor

¹*Siberian Federal University*

Arctic ecosystems are warming nearly four times faster than the global rate, impacting water balance, frozen soil thermal dynamics, and plant community structure. Northern latitudes face permafrost thawing, reduced snow cover, and shifts in carbon and hydrological cycles [1]. The forest-tundra ecotone, a transition zone between tundra and boreal forests, is especially vulnerable, where small temperature increases alter woody vegetation distribution and growth. Understanding tree responses to these changes is vital for predicting ecosystem shifts and their role in global climate balance.

This study investigates the influence of climatic factors, primarily temperature, on radial growth of coniferous species in the permafrost zone above the Arctic Circle. It aims to identify key climatic drivers, their spatial-temporal dynamics, and their role in tree adaptation to warming. Four species - *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen, and *Larix cajanderi* Mayr.-were studied across five sites from 27°E to 166°E: Apatity (APA) for *P. sylvestris*; Polar Urals (PUR) for *L. sibirica*; Khatanga (KHA) for *L. gmelinii*; Chokurdakh (CHO) and Bilibino (BIL) for *L. cajanderi*. A total of 137 trees were sampled with a 5-mm increment borer. Tree-ring widths (TRW) were measured using Coorecorder, standardized in ARSTAN, and correlated with monthly temperature and precipitation data from nearby stations (Kandalaksha, Salekhard, Khatanga, Chokurdakh, Ostrovnoye) from September of the

previous year to September of the current year. In addition, 25-year (one-year step) moving correlations, based on mean monthly temperatures, were used to assess the temporal stability of TRW climate signals.

Results indicate summer temperature, particularly June and July, as the primary limiter of radial growth. At APA, *P. sylvestris* showed a strong correlation with July temperatures ($r = 0.41$, $p < 0.01$), linked to milder conditions and a deep active soil layer (1 - 2 m). *Larix* species at PUR, KHA, CHO, and BIL were more sensitive to June temperatures, with highest correlations at PUR ($r = 0.54$, $p < 0.01$) and KHA ($r = 0.43$, $p < 0.01$), and weaker but significant at CHO ($r = 0.24$, $p < 0.05$) and BIL ($r = 0.41$, $p < 0.01$), reflecting extreme continentality and short vegetation periods [2]. Precipitation had a minor role, with rare significant correlations, though positive signals at APA and BIL suggest sufficient snowmelt moisture.

Moving correlations showed rising temperature influence in recent decades. At PUR and KHA, June-July correlations peaked until the 1990s ($r = 0.60$ - 0.65) but later declined ($r = 0.40$ - 0.45). At CHO, the signal weakened since the 1980s ($r < 0.20$), possibly due to warming, while at BIL it increased from $r = 0.40$ to $r = 0.55$ over 30 years, possibly indicating a divergence. Species physiology influenced responses: evergreen *P. sylvestris* benefits from a longer photosynthetic season, relying on July temperatures, while *Larix* species depend on rapid June leaf unfolding in short-summer permafrost zones. Precipitation played a secondary role, with correlations being mostly weak, but in rare cases significant negative or positive [3]. Rare positive signals (e.g., on APA and BIL).

In conclusion, summer temperatures dominate conifer radial growth in the permafrost zone, with *P. sylvestris* tied to July and *Larix* species to June, reflecting regional adaptations. Rising temperature influence indicates ongoing adaptation to warming, with precipitation secondary. These findings inform forest-tundra dynamics and carbon cycle predictions under climate change.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [FSRZ-2020-0014].

References

1. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia / E. A. Vaganov, M. K. Hughes, A. V. Kirilyanov [et al.] // Nature. 1999. № 400. P. 149 - 151.
2. Climate signals in tree - ring width, density and $\delta^{13}\text{C}$ from larches in Eastern Siberia (Russia) / A. V. Kirilyanov, K. S. Treydte, A. Nikolaev [et al.] // Chemical Geology 252. 2008. P. 31- 41.
3. Ongoing Climate Change in the Arctic / J. E. Walsh, J. E. Overland, P. Y. Grogan [et al.] // Springer. 2011. № 46. P. 6 - 16

UDC 574.24

RADIAL GROWTH OF LARCH IN THE NORTH OF CENTRAL AND NORTHEASTERN SIBERIA UNDER CONTEMPORARY ARCTIC WARMING

A. I. Kolmogorov¹

Supervisor A. N. Nikolaev²

Doctor of Biological Sciences

¹*Siberian Federal University*

Climate change has long been a central topic of scientific discussion due to its impact on various aspects of natural ecosystem functioning and human activity. It has been observed that Arctic regions are experiencing significant temperature increases, far exceeding global averages. This warming is not uniformly distributed across the hemispheres, with Siberia being a striking example, characterized by particularly rapid warming rates. Consequently, northern Siberia has become a key region for studying the effects of environmental drivers and climate change on forest ecosystem growth. However, the influence of these factors on boreal forests remains insufficiently understood.

Investigating the response of various ecosystem components in the region to these climatic changes is an urgent task requiring multidisciplinary expertise, including studies on tree growth dynamics in permafrost-affected areas [1]. The primary factor controlling tree radial growth in northern latitudes is climate, particularly summer temperatures during the growing season. Due to the high climatic sensitivity of vegetation in the forest-tundra ecotone, these ecotones serve as key areas for monitoring early responses to climate change [2,3,4].

In this study, we analyze the variability of radial growth and its sensitivity to climatic changes in 313 larch trees (*Larix* spp.) from 13 habitats within the forest-tundra ecotone across the Khatanga, Lena, Omoloy, and Indigirka river basins. These regions are critically important for understanding the response of pristine northern forests to rising temperatures.

The study area extends from the eastern edge of the Taymyr Peninsula in the west to the settlement of Chokurdakh in Allaikhovsky District, Republic of Sakha (Yakutia). The investigated transect spans 1750 km, located between 68°-72°N and 101°-147°E (Figure).

The methodological framework of this research is based on approaches from dendrochronological and dendroclimatic analysis [5].

Research materials were collected between 2013 and 2016 at 13 study sites. For dendroclimatic analysis, we used the period from 1960 to 2013. This time frame was selected based on the length of the obtained chronologies and the quality of climatic data available from the meteorological stations in Khatanga, Deputatsky, Kyusyur, Yubileyny, and Chokurdakh.

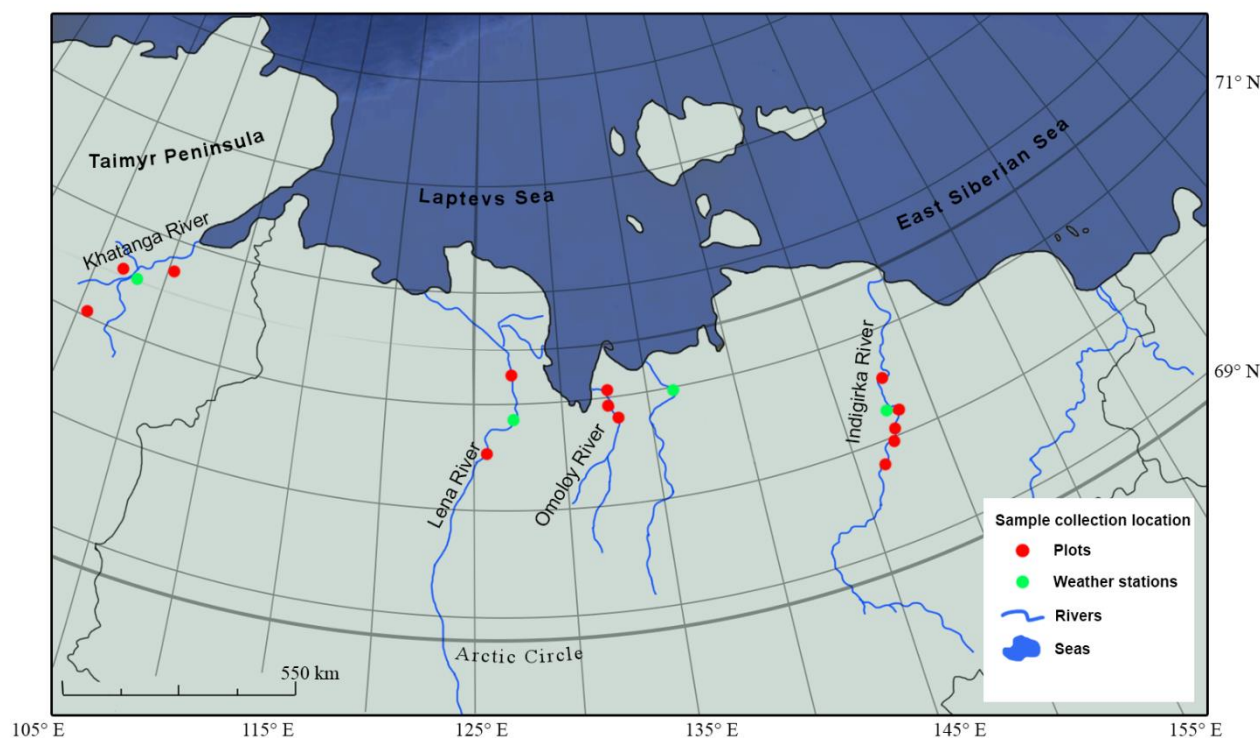


Figure. Study area. Investigated sites are marked with red dots, meteorological stations with green dots.

The analyzed chronologies exhibit high sensitivity to external factors. For each chronology group, generalized chronologies were developed according to their region of origin. These were subjected to comparative analysis and dendroclimatic analysis to determine whether this external signal is consistent across different regions.

The dendroclimatic analysis results indicate a relatively late onset of tree-ring growth (June) and regional variations in climatic signals. These findings underscore the importance of high-precision ground measurements across Siberian regions for better understanding temperature impacts on boreal forest functioning and productivity.

Acknowledgements

This work was supported by the Russian Ministry of Science and Higher Education as part of the state assignment in scientific activity (Projects №FSRG-2020-0014 and №FSRG-2023-0027).

References

1. Permafrost collapse is accelerating carbon release / M. R. Turetsky, B. W. Abbott, M. C. Jones [et al.] // *Nature*. 2009. Vol. 569. P. 32-34.
2. Shiyatov S. G. The upper timberline dynamics during the last 110 years in the Polar Ural Mountains // *Oscillation of the Alpine and Polar tree limits in the Holocene*. 1993. P. 195-203.
3. Kullman L. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973-2005: implications of tree line theory and climate change ecology // *Journal of Ecology*. 2006. Vol. 95. № 1. P. 41-45.
4. Arctic amplification causes earlier onset of seasonal tree growth in northeastern Siberia / A. V. Kirdyanov, A. I. Kolmogorov, S. Kruse [et al.] // *Environmental research letters*. 2024. Vol. 19. № 11. P. 114091
5. Fritts H.C. *Tree Rings and Climate* // London, New York: Acad. Press. 1976. 567 p.

UDC 574*574.2*574.24

RECONSTRUCTION OF OUTBREAKS OF INSECT DEFOLIATORS OF CONIFEROUS TREES IN CENTRAL SIBERIA

A. V. Malchikov¹

Scientific supervisor A. Arzac¹

Candidate of Biological Sciences, associate professor

¹*Siberian Federal University*

Outbreaks of mass reproduction occur when favorable weather conditions—such as optimal temperatures, low precipitation, and low humidity—allow pest populations to surge rapidly [1, 2]. Among conifer-defoliating pests, the Siberian silkworm (*Dendrolimus superans* Butler, 1877, syn. *Sibiricus* Tschetverikov, 1908) (Lepidoptera, Lasiocampidae) is one of the most ecologically important due to its extensive distribution and the severe damage. It is considered the most destructive pest in boreal forests [3]. While direct population data may be limited, past outbreaks can be reconstructed using dendrochronological methods [4]. This approach has enabled researchers to identify and date mass reproduction events of various leaf-eating insects over extended periods, sometimes spanning more than a thousand years [5, 6, 7, 8].

The aim of this study was to identify reduced annual ring widths in coniferous trees during known insect outbreaks and to reconstruct historical outbreaks.

Five sites were included in the study: one in the Republic of Khakassia and four in Krasnoyarsk Krai. The Krasnoyarsk Krai sites were located near the Yenisei and Angara River confluence, while the Khakassian site was situated in the southeastern part of the republic near Lake Chernoye. *Larix sibirica* Ledeb. and *Pinus sylvestris* L. were selected as study species.

Krasnoyarsk Krai has a sharply continental, with an average annual temperature of 1.8–3.0 °C and growing-season temperatures (≥ 10 °C) accumulating 1850–2000 °C. Annual precipitation averages 450 mm. In Khakassia, winters are colder and summers cooler, with growing-season temperatures (≥ 10 °C) totaling 1550–1875 °C over 100–110 days. Annual precipitation does not exceed 450 mm [4, 9].

A total of five sites were examined in the study (IKSH, GAL, YEN, EPI and RNL). Tree cores were collected from only two sites in Krasnoyarsk Krai, IKSH and GAL, during the 2024 growing season using a 5 mm Hagl f increment borer. Two cores per tree were extracted at breast height (1.2–1.5 m), yielding 46 samples in total. For safe transportation, cores were stored in plastic containers with slightly larger compartments. Tree-ring width (TRW) were measured from polished and scanned cores using CooRecorder 9.3.1. Chronologies were standardized with ARSTAN [10].

Insect outbreaks were identified using five detection methods [7]. Combining results from three affected sites (IKSH, GAL, RNL) revealed 46 potential outbreaks between 1938 and 2022, with 38 years showing no defoliation signals. Overlapping detections across multiple methods increased confidence in outbreak identification, suggesting higher defoliation intensity.

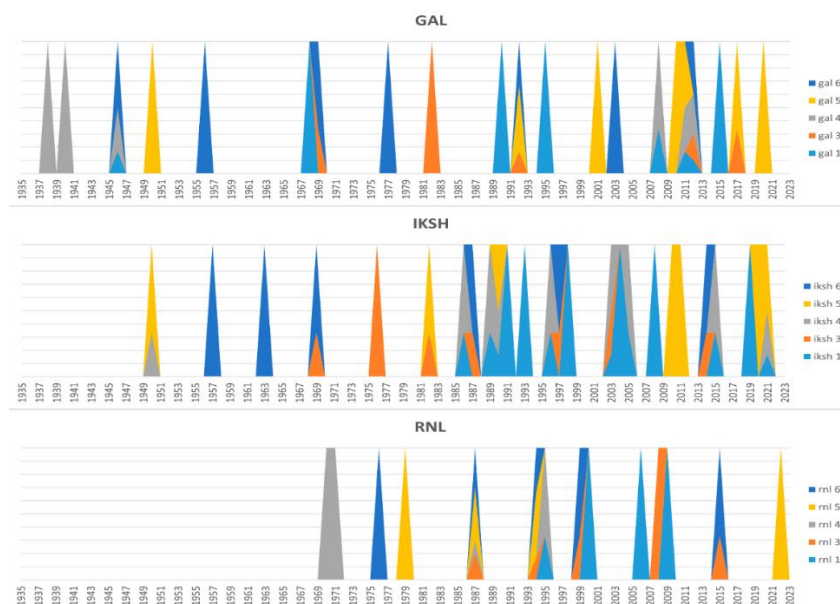


Figure. Time series of reconstructed outbreaks of the Siberian silkworm over the period 1935–2023. Five different colors represent five outbreak detection methods.

The study reconstructed 16 defoliation events with annual precision, revealing increased insect activity in the late 20th and early 21st centuries. If current climate trends persist, outbreak frequency may rise further.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [FSRZ-2020-0014].

References

1. Брюханов А. В. Экологическая оценка состояния лесов в Сибири: тревожные итоги // Устойчивое лесопользование. 2009. № 2(21). С. 21-31.
2. Им С. Т., Федотова Е. В., Харук В. И. Спектрорадиометрическая космосъемка в анализе зоны вспышки массового размножения сибирского шелкопряда // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2008. № 4. С. 346-358.
3. Леонтьев Д. Ф. Распространение и прогнозирование численности сибирского шелкопряда (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) (Научный обзор) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 11-5. С. 705-709.
4. Демидко Д. А., Ефременко А. А., Баранчиков Ю. Н. История массовых размножений сибирского шелкопряда в восточных предгорьях Кузнецкого Алатау: дендрохронологическая реконструкция // Сибирский лесной журнал. 2023. № 1. С. 98-110.
5. Change in the periodicity of a cyclical forest defoliator: An indicator of ecosystem alteration in Western Canada / R. I. Alfaro, L. vanAkker, J. Berg [et al.] // For. Ecol. Manag. 2018. Vol. 430. P. 117–125.
6. Dendrochronological reconstruction of spruce budworm (*Choristoneura fumiferana*) outbreaks in southern Quebec for the last 400 years / Y. Boulanger, D. Arseneault, H. Morin [et al.] // Can. J. For. Res. 2012. Vol. 42. N. 7. P. 1264–1276.
7. Three centuries of insect outbreaks across the European Alps / U. Büntgen, D. Frank, A. Liebhold [et al.] // New Phytol. 2009. Vol. 182. Iss. 4. P. 929–941.
8. Clark P. W., Speer J. H., Winship L. J. Identifying and separating pandora moth outbreaks and climate from a 1500-year ponderosa pine chronology from central Oregon // Tree-Ring Res. 2017. Vol. 73. N. 2. P. 113–125.
9. Попияков Т. А. Физико-географическое районирование Ширинского района (Республика Хакасия) // Абакан: Хакаский государственный университет им. Н.Ф. Катанова. 2015. С. 158-159.
10. Cook E. R., Holmes R. Guide for computer program ARSTAN. The international tree ring data bank program library version // Laboratory of Tree-Ring Reseach. Universisty of Arizona, Tucson, USA. 1996. P. 75–87.

UDC 574.24

WIND IMPACT ON THE KEY SPECIES GROWTH OF THE MIDDLE SIKHOTE-ALIN CEDAR-BROADLEAVED FORESTS

M. E. Rubleva¹, A. S. Vozmishcheva¹, S. N. Bondarchuk¹

¹Siberian Federal University

The mixed cedar-broadleaved forests of the Russian Far East include more than 40 tree species, with the life span of some exceeding several hundred years. These key species are *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen., *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière, *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. dominated by *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc. The Sikhote-Alin forests are globally significant for their endemic flora and fauna, but their dynamics remain understudied in the context of climatic and abiotic stressors. Wind, as a driver of mechanical stress and tree mortality, shapes stand structure and succession patterns. While temperature and precipitation dominate dendroclimatological research, wind's role in modulating tree growth is poorly understood, especially in mixed forests. This study addresses two questions: Does wind speed variability correlate with annual growth increments of key conifers? Are species differences in windthrow susceptibility linked to growth resilience? We hypothesize that wind impacts are secondary to climatic factors but amplify mortality risks in physiologically stressed trees.

Core samples were collected from 80 dominant trees (20 per species) in undisturbed stands of the Middle Sikhote-Alin (45°–47°N, 134°–136°E). Sites were selected to minimize anthropogenic and topographic biases. Ring-width series were detrended using negative exponential curves in “dplR” package to remove age-related growth trends [1]. Residual chronologies were built to emphasize climate- and disturbance-driven signals. Monthly and annual wind speed data (mean/maximum) from nearby meteorological stations (1966–2020) were aligned with the «Treeclim» package to assess growth responses [2]. Exploratory analysis focused on wind speed trends (linear regression) and visual alignment of growth chronologies with wind anomalies. Correlation analysis employs bootstrapped response functions.

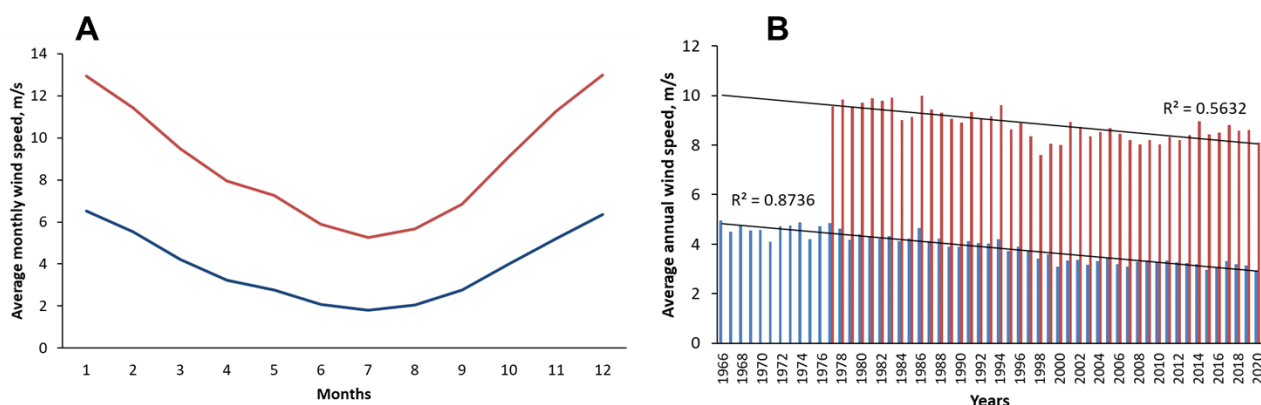


Figure. Wind speed changes on the eastern macroslope of Sikhote-Alin according to the Terney weather station (meteo.ru): A. Annual trend of the monthly average (blue) and maximum (red) wind speed. B. Change in the average (blue) and maximum (red) wind speed for 1966-2020 and 1977-2020, respectively. The abscissa axis shows months (A) and years (B), the ordinate axis shows wind speed in m/s. Linear regression and the value of the determination coefficient R^2 are shown for each data series (B)

The mean monthly wind speed according to the meteorological station “Terney” experiences significant seasonal fluctuations during the year (figure). The highest wind speed is observed during 5.3 months (from October 15 to March 25) with a mean wind speed of more than 4.2 m/s. The windiest month of the year is January, with an average wind speed of 5.7 m/s. The trend in monthly wind load changes coincides for the mean and maximum wind speeds. The decrease in the mean annual wind load is most reflected in the average speed ($R^2 = 0.8736$). It varied from 2.93 m/s to 4.95 m/s for 1966-2020, which corresponds to the end and beginning of the meteorological observation period. The maximum wind speed decreases at a slower rate ($R^2 = 0.5632$), but the trend remains stable. It ranged from 7.6 m/s (1998) to 10 m/s (1986). Overall, a significant decline in annual wind speeds was observed ($\beta = -0.12$ m/s per decade, $p < 0.05$). Annual trends for mean and maximum wind speeds showed parallel declines, suggesting regionally coherent atmospheric changes (e.g., reduced cyclonic activity).

No coherent growth suppression coincided with high-wind years, supporting the hypothesis of limited direct wind impact. Wind can be a secondary growth modulator. The absence of direct wind-growth correlations aligns with global studies where wind acts as a stochastic disturbance rather than a chronic stressor [3]. Declining wind speeds may reduce background mechanical stress, potentially benefiting growth in vulnerable species. However, this trend could also signal shifting storm regimes (e.g., fewer but more intense events [4]), which dendrochronological methods may fail to capture at annual resolution.

Historical windthrow records and tree morphology suggest spruce and fir are disproportionately affected during storms due to shallow root systems and higher canopy exposure in mixed stands. Cedar and larch exhibited lower

windthrow rates, likely due to flexible wood anatomy and deeper rooting. Spruce and fir's susceptibility mirrors findings in European boreal forests, where windthrow opens regeneration niches but threatens stand stability. In contrast, cedar and larch's resilience may buffer ecosystem-level impacts, though their slower recruitment rates could hinder post-disturbance recovery.

This study provides preliminary evidence that wind's influence on Sikhote-Alin forests operates indirectly through disturbance-mediated mortality rather than direct growth suppression. While declining wind speeds may alleviate chronic stress, heightened climatic variability could amplify episodic windthrow risks, particularly for spruce and fir. Forest management should prioritize structural diversification in vulnerable stands and monitor interactions between wind regimes and secondary stressors (e.g., bark beetles).

Acknowledgements

This work was supported by the project FSRZ-2020-0014 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

References

1. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-Ring Bulletin*. 1983.
2. Zang C., Biondi F. Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships // *Ecography*. 2015. Vol. 38. №. 4. P. 431-436.
3. Mitchell S. J. Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis // *Forestry*. 2013. Vol. 86. №. 2. P. 147-157.
4. Poleward migration of the destructive effects of tropical cyclones during the 20th century / J. Altman, O. N. Ukhvatkina, A. M. Omelko [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018. Vol. 115. №. 45. P. 11543-1154 UDC 581.5.

UDC 574.24

COMPARING CLIMATE-GROW RESPONSES OF DIFFERENT SOCIAL STATUS *PINUS SYLVESTRIS* L. TREES IN “POGORELSKY BOR” RESEARCH STATION

A. K. Golubenko¹

Scientific supervisor A. Arzac¹
Ph.D. in Biology, associate Professor

¹*Siberian Federal University*

One of the most pressing challenges in modern science is understanding climate change, its historical patterns, and its impacts on forest ecosystems. Studying past climatic fluctuations provides critical analogues for future scenarios, while documenting how forests respond to changing conditions offers insights into ecosystems resilience.

Although rising temperatures and elevated atmospheric CO₂ concentrations could theoretically enhance tree growth [1], increasing evidence points to drought stress as a growing limitation, particularly in vulnerable region like southern Siberia's forest-steppe ecotone. This transitional zone, covering approximately 14% of the Russian territory [2], experiences sharp climate gradients, making it a critical area for investigating climate-forest interactions.

Differential access to essential resources—light, moisture, and nutrients—results in a vertical stratification of forest stands into distinct social groups, namely dominant and suppressed trees [3]. This stratification influences both the growth rates and the climatic sensitivity of individual trees. Yet, dendrochronological studies have predominantly focused on dominant trees, which are assumed to contribute more significantly to carbon cycling [4]. Recent research, however, highlights the ecological importance of suppressed trees in long-term carbon storage [5], underscoring the need to include them in climate-growth analyses.

The objective of this study was to analyze the stand structure of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and to assess the influence of major climatic factors on the secondary growth of trees across social classes (dominant vs suppressed individuals). We compared positive and negative growth responses between dominant and suppressed trees to elucidate their divergent roles in forest adaptation.

The study was conducted at the permanent research station “Pogorelsky Bor” (56°22'N, 92°57'E, 164 m a.s.l) in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk region, characterized by a sharply continental, moderately cool climate, with a mean annual temperature of 1.3°C and a mean annual precipitation of 537 mm for the period 1925–2023 (data available at <https://meteo.ru>). A circular sample plot with a radius of 35 meters was established in the summer 2024. Wood cores from a total of 124 *Pinus sylvestris* L. trees were collected at breast height with a 5-mm increment borer. Tree height, diameter at breast height and bark thickness and position were recorded for each individual tree. All tree cores were air-dried, glued into wooden holders and polished using a belt sander with sandpaper ranging from 120 to 1000 grit. The samples were then scanned using an Epson Perfection V800 scanner (Epson, Japan). Tree-ring width (TRW) was measured on the polished samples using CooRecorder software (version 9.3). The accuracy of cross-dating was verified using COFECHA software, and raw series were standardized using ARSTAN. A total of 104 accurately cross-dated samples were included for analysis.

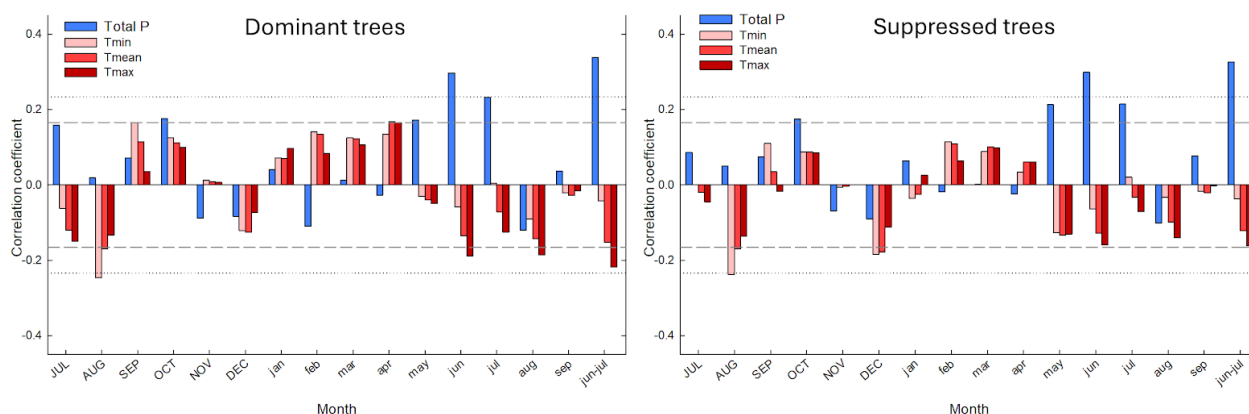


Figure. Correlations (Pearson's coefficient) between dominant trees and suppressed trees tree-ring width chronologies of *Pinus sylvestris* with total monthly precipitation, maximum, mean and minimum monthly temperature for the period 1925–2023 at Pogorelsky bor. Correlations were calculated from July of the previous year (uppercase letters) to September of the current growth year (lowercase letters). Dashed lines indicate $P < 0.05$ and dotted lines indicate $P < 0.01$.

Our results show that tree growth in Krasnoyarsk forest-steppe region is limited mostly by precipitation during May–July, with temperature playing a secondary role with a negative impact. The combination of both climate signals suggest drought limiting conditions. Our analysis reveals that suppressed trees show slightly higher sensitivity to precipitation on the early stages of growing season, whereas dominant trees show higher bound to maximum temperatures during all growing season. Earlier response to precipitation may be a strategy of suppressed trees to compete for soil moisture with dominant trees, which potentially have a more developed root system.

The study period (1925–2023) was divided into two intervals (1925–1974 and 1975–2023). This division revealed a decrease in the climate signal in both dominant and suppressed groups. This observation may reflect improved conditions for growth associated with rising temperatures and precipitation during the latter period.

This work was supported by the Russian Science Foundation and the Krasnoyarsk Science Foundation [25-14-20060].

References

1. Net carbon uptake has increased through warming-induces changes in temperature forest phenology / T.F. Keenan, J. Gray, M.A. Friedl [et al.] // *Nature Climate Change*. 2014. Vol. 4. P. 598–604.
2. Smelansky I., Tishkov A. The steppe biome in Russia: ecosystem services, conservation status, and actual challenges // *Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World*. 2012. Vol. 6. P. 45–102.
3. Positive interactions can increase size inequality in plant populations / C.-J. Chu, J. Weiner, F. T. Maestre [et al.] // *Journal of Ecology*. 2009. Vol. 97. P. 1401–1407.

4. Notes towards an optimal sampling strategy in dendroclimatology / A.V. Kirilyanov, A. Piermattei, T. Kolář [et al.] // *Dendrochronologia*. 2018. Vol. 52. P. 162–166.

5. Forest carbon sink neutralized by pervasive growth-lifespan trade-offs / R.J.W. Brienen, L. Caldwell, L. Duchesne [et al.] // *Nature communications*. 2020. Vol. 11. P. 4241.

УДК 57*017.24

DIFFERENCE OF NSC STORAGE AMONG CONIFEROUS TREES IN MIXED MOUNTAIN FOREST IN CENTRAL SIBERIA

T. A. Stepina¹

Scientific supervisor A. Arzac¹
PhD in Biology, associate professor

¹*Siberian Federal University*

Through photosynthesis, trees assimilate atmospheric CO₂ to produce sugars, which are subsequently allocated to various physiological processes and storage pools. Non-structural carbohydrates play diverse roles and stored in different tree organs (e.g., leaves, branches, stem wood, roots). When carbon demand exceeds supply, trees rely on stored NSC to sustain metabolism and growth [1]. Deciduous and evergreen trees exhibit contrasting phenological and physiological strategies. Deciduous species shed their leaves or needles in response to unfavorable conditions such as low temperatures, limited light or water deficit, thereby minimizing transpiration losses during dormancy [2]. In contrast, evergreen species retain their foliage year-round and typically show higher evapotranspiration rates [3]. These physiological differences also extend to NSC storage and utilization, with deciduous trees requiring substantial carbohydrate reserves to support leaf flush in spring. In this study, we evaluate tree-ring width (TRW) climate response over the 1966–2021 period of two coexisting conifer species (*Abies sibirica* Ledeb. and *Larix sibirica* Ledeb.) and compare their NSC storage across their life span, as well as NSC dynamics during the 2021 growing season to address the following questions: *i*. How do the species differ in their response to climate? *ii*. How much do NSC pools vary across the vegetative season? *iii*. How does the NSC dynamics differ between evergreen and deciduous species?

The study was carried out in the Stolby Nature Reserve in Krasnoyarsk (55°53' N. 92°46' E.). The reserve is characterized by a mountain taiga ecosystem with mixed species. Based on local meteorological data, during the 1960–2023 period, the mean annual temperature is 0.3 °C, with June being the warmest (14.7 °C) and December the

coldest (-15.6 °C) months. In May 2022, increment cores of 20 individuals of *A. sibirica* and *L. sibirica* were taken at breast height three times during the growing season: at the beginning (May), mid-season (July) and the end (October). In May, two cores per tree were taken, one 5-mm diameter for cross-dating and TRW measurements, and one 10-mm diameter for NSC analysis. In July, only 10-mm cores were collected. In October, an additional 10-mm core was taken for NSC analysis, along with a 5-mm core to quantify TRW of the year 2022. To stop enzymatic activity, 10-mm cores were microwaved at 600 W for 90 seconds [4] and air-dried at 60 °C for over 72 hours. 5-mm cores were air-dried at room temperature and then resin was extracted with ethanol (96%) in a Soxhlet. TRW and tree ages were determined using 5-mm increment cores. These cores were glued onto wooden supports and polished with increasing sandpaper grit (up to P800). The polished samples were scanned at a resolution of 3200 dpi with an Epson Perfection scanner V800 (Epson, Japan). TRW measurements were carried out using CDendro & Coorecorder version 9.3 (Cybis Elektronik & Data AB, Sweden). For NSC analysis, the 10-mm increment cores were split in 5-year segments starting from the bark for the outer 30 years, resulting in 7 segments and an extra segment including the remaining years. The mean length of the 5-year segments ranged from 4.23 ± 1.95 mm to 9.01 ± 2.86 mm in *A. sibirica*, and from 1.25 ± 0.63 mm to 3.06 ± 1.45 mm in *L. sibirica*. NSC extraction followed the perchloric acid/anthrone method [5], allowing to assess the NSC content per dry weight wood (%NSC), distinguishing between the contribution of soluble sugars (SS) non-soluble sugars (NSS). %NSC was calculated for each tree and radial segment by adding soluble and insoluble carbohydrate contribution.

A. sibirica showed the widest rings in the 1992–1996 segment compared with *L. sibirica*. Based on TRW analysis *L. sibirica* was older than (129.0 ± 10.1 years) *A. sibirica* (53.0 ± 17.6 years). Pearson correlations were used to assess the dependence of the TRW on climatic factors (temperature and precipitation). Correlations were performed from September of the previous year to September of the current year. Autumn temperatures (October) have a positive effect and summer temperatures (June) has a negative effect on the growth of *L. sibirica*. Summer precipitation (June) had a positive impact on *A. sibirica*. and winter precipitation (November, December) had a

negative impact on *P. sibirica*.

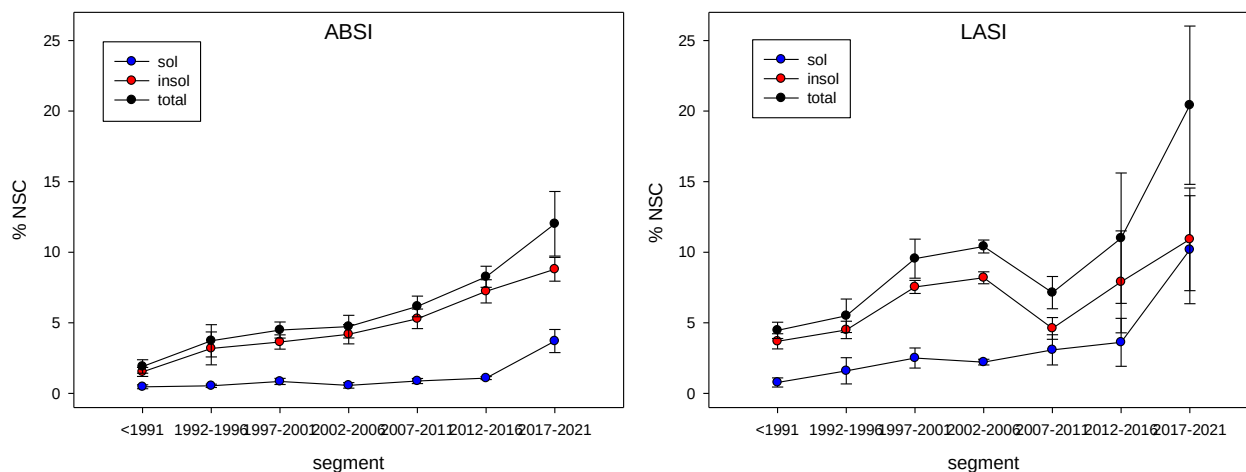


Figure 1. The content of soluble and insoluble sugars for the studied period (1991-2021). ABSI - *A. sibirica*, LASI - *L. sibirica*.

The total content of NSC in the oldest segment was higher in *L. sibirica* compared with *A. sibirica*, and at the same time is showed a greater variety on storage pools during the studied period. (Fig. 1). Closer look at the last segment (2017-2021) reveals a slight decrease in stored NSC in *A. sibirica* July followed by an increase in October, while *L. sibirica* didn't express the same pattern (Fig. 2).

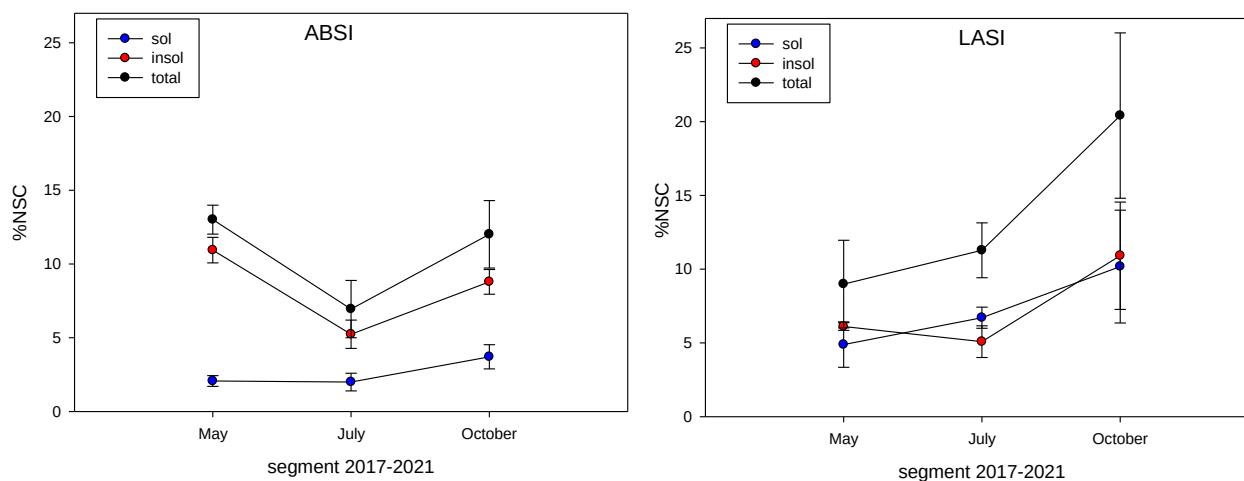


Figure 2. The content of soluble and insoluble sugars for the last segment. ABSI - *A. sibirica*, LASI - *L. sibirica*.

Our results indicate that the amount of NSS dominate over SS across the studied period. The highest NSC content was found in the outmost segments, near the bark, likely reflecting their role in supporting active growth. Our findings are consisted with that of von Arx et al. (2017), who reported similar pattern. As hypothesized, *L. sibirica*, being deciduous, showed greater reliance on stored NSC for spring growth to support

new needles formation (Fig. 1). Notably, *L. sibirica* retained higher levels of soluble sugars by the end of the growing season, which may serve as a stock for the following spring. Understanding the seasonal dynamics and allocation strategies of NSCs improves our knowledge of tree growth processes and offers insight into how trees might respond to future climate change.

This work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [FSRZ-2020–0014].

References

1. Piper F.I., Paula S. The Role of Nonstructural Carbohydrates Storage in Forest Resilience under Climate Change // Current Forestry Reports, 2020. Vol. 6. № 1. P. 1–13.
2. Kozłowski T. T., Pallardy S.G. Physiology of woody plants. Elsevier, 1996.
3. Vitasse Y. et al. Elevational adaptation and plasticity in seedling phenology of temperate deciduous tree species // Oecologia. 2013. Vol. 171, № 3. P. 663–678.
4. Würth M.K.R. et al. Non-structural carbohydrate pools in a tropical forest // Oecologia. 2005. Vol. 143. № 1. P. 11–24.
5. Olano J., Menges E., Martinez E. et al. Carbohydrate storage in five resprouting Florida scrub plants across a fire chronosequence // New Phytol. Wiley Online Library, 2006. Vol. 170. № 1. P. 99–106.
6. von Arx G. et al. Responses of sapwood ray parenchyma and non-structural carbohydrates of *Pinus sylvestris* to drought and long-term irrigation // Funct. Ecol. 2017. Vol. 31. № 7. P. 1371–1382.

UDC*574.24

EVALUATING AGE-RELATED CLIMATE RESPONSE OF LARIX GMELINII TREES IN THE NORTHERN TAIGA

A. K. Lesnikova¹

Scientific supervisor A. Arzac¹

Ph.D. in Biology, associate professor

¹*Siberian Federal University*

Global climate change, particularly Arctic amplification—a phenomenon characterized by unprecedented warming, with temperatures rising faster in the Arctic than the global average [1]—is significantly impacting boreal forests in Arctic and Subarctic regions [2]. Boreal forests, which cover approximately 30% of the global forested area, represent one of Earth's most critical biomes. These northern ecosystems serve as the planet's largest reservoir of surface freshwater and act as a major carbon

sink, sequestering substantial atmospheric CO₂ and thereby playing a key role in global climate regulation [3].

As climate change progresses, accurate historical climate data becomes increasingly valuable. Dendroclimatological methods enable the reconstruction of detailed, annually resolved climate records from tree rings, providing insights for paleoenvironmental research. Such data can help forecast tree radial growth, stand productivity, and forest dynamics under changing climatic conditions.

This study aims to analyze the age-structured composition of a *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. forest stand and analyzes secondary growth (radial growth) responses to climatic factors across two different age groups near Tura, Central Siberia. The research site, located on the Central Siberian Plateau (middle course of Nizhnyaya Tunguska river), lies within continuous permafrost zone. The local climate is extremely continental, with an average annual temperature and annual precipitation of -8.7 °C and 365 mm for the period from 1933 to 2023 (<https://www.meteo.ru>). The productivity of trees in permafrost areas is limited by low temperatures, the combination of anaerobic soil conditions and the spatial constraint of roots on the shallow active layer above permafrost [4].

Wood cores were collected at breast height with a 5-mm increment borer from a total of 63 trees during the summer 2024. Tree height, diameter at breast height and position were recorded for each individual tree. Wood samples were air-dried and polished using a belt sanding machine with progressively finer sandpaper (up to 1000 grit). Polished surfaces were scanned using an Epson Perfection V800 scanner (Epson, Japan) at a resolution up to 6000 dpi. Tree-ring width (TRW) was measured using CooRecorder software (version 9.3). Cross-dating accuracy was checked using COFECHA software (Grissino-Mayer, 2001), and each raw series was standardized in ARSTAN (Cook and Holmes, 1996).

Our sample depth features a number of 63 trees, which were divided into two distinct age classes: mature (<200 years) and overmature (≥ 200 years). This age stratification was implemented to examine potential ontogenetic effects on climate-growth relationships, specifically investigating how trees of different age groups respond to climatic signals. The produced TRW chronology spans from 1747 to 2023, including trees from 133 to 277 years old. However, reliable meteorological observations began in 1933. Therefore, TRW chronologies were correlated against monthly climate data over the period from 1933 to 2023.

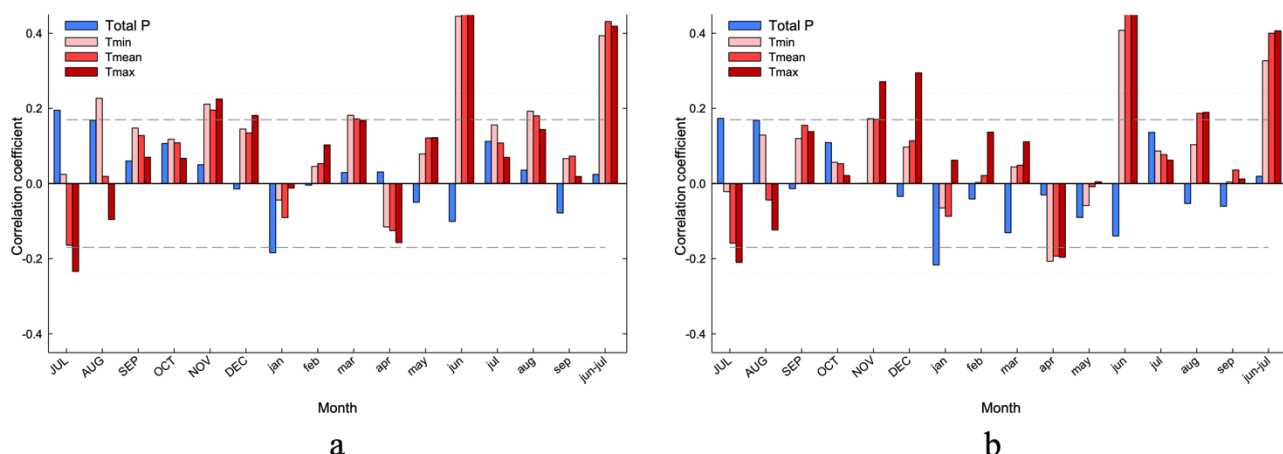


Figure. Correlations of *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. secondary growth of different age groups with total monthly precipitation, minimum monthly temperature, mean monthly temperature and maximum monthly temperature for the 1933-2023 period at the site near Tura village. a – mature trees, b – overmature trees. Correlations were calculated from July of the previous year (uppercase letters) to September of the current growth year (lowercase letters). Dashed lines indicate $P < 0.05$ and dotted lines indicate $P < 0.01$

Our results confirm the state that tree growth in the northern region is strongly temperature limited, particularly by June thermal conditions. Mature trees show slightly higher temperature sensitivity than overmature trees, possibly due to anatomical and physiological aging factors [5]. We can suggest that expanding the age range of sampled trees, including both younger and oldest trees, would likely amplify these differences.

The study period (1933–2023) was divided into two intervals (1933–1977 and 1978–2023). This division revealed a decrease in the climate signal in both mature and overmature age groups. This observation may reflect improved conditions for growth associated with rising temperatures during the latter period.

This work was supported by the Russian Science Foundation and the Krasnoyarsk Science Foundation [25-14-20060].

References

1. Serreze M.C., Roger G.B. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis // *Global and Planetary Change*. 2011. Vol. 77. P. 85-96.
2. Shifts in Arctic vegetation and associated feedbacks under climate change / R. G. Pearson, S. J. Phillips, M. M. Loranty [et al.] // *Nature Climate Change*. 2013. Vol. 3. P. 673-677.
3. Boreal forest health and global change / S. Gauthier, P. Bernier, T. Kuuluvainen [et al.] // *Science*. 2015. Vol. 349. P. 819-822.

4. Larch (*Larix dahurica* Turcz) growth response to climate change in the Siberian permafrost zone / V. I. Kharuk, K. J. Ranson, I. A. Petrov [et al.] // Regional Environmental Change. 2019. Vol. 19. P. 233-243.

5. Climate signal age effects in *Pinus uncinata* tree-ring density data from the Spanish Pyrenees / S. Spelsberg, U. Büntgen, I. K. Homfeld [et al.] // Trees. 2025. Vol. 39. P. 1-11.

Биолюминесценция

УДК 799.3.015.15

ОЦЕНКА АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ-СТРЕЛКОВ В ТРЕНИРОВОЧНОМ ПРОЦЕССЕ

А. С. Герасимова¹

Научный руководитель О. Г. Стребкова¹

Научный консультант Л. В. Степанова²

Кандидат биологических наук, доцент

¹Сибирский федеральный университет

Рост достижений в спорте связан в основном с совершенствованием учебно-тренировочного процесса и адаптационными возможностями организма к тренировочным нагрузкам.

Основные методы оценки функционального состояния спортсмена базируются на существующей линейной зависимости между частотой сердечных сокращений и интенсивностью нагрузки.

Пулевая стрельба не является физически активным видом спорта, но выдвигает большие требования к стрессоустойчивости личности спортсмена и адаптационным возможностям организма [1]. Необходимы нестандартные методики оценки функционального состояния организма спортсмена.

Интегральным показателем функционального состояния организма может служить изменение состояния организма до и после тренировочного процесса. Слюна, как динамическая биологическая жидкость, может быстро реагировать на изменение в состоянии организма. В качестве метода тестирования слюны может быть использован ферментативный биолюминесцентный биотест, который позволяет по уровню биолюминесцентного свечения, испускаемой ферментативной реакцией в ответ на изменение состава слюны, определить изменения в организме.

Показана применимость биолюминесцентного анализа слюны для оценки токсикоза и стрессоустойчивости организма человека [2]. Представляется возможным выявление адаптационных возможностей организма по изменению биолюминесцентного показателя для слюны во время тренировочного процесса.

Интегральный контроль состояния организма может быть использован в спортивной медицине для оценки адаптационных процессов к соревновательным нагрузкам.

Цель исследования: выявление возможности использования биолюминесцентного тестирования слюны для оценки адаптационного состояния организма спортсменов к предсоревновательным нагрузкам.

Задачи исследования:

- 1) проанализировать изменение биолюминесцентного показателя для слюны и концентрации лактата в слюне до и после тренировок в период тренировочного сбора;
- 2) оценить адаптационные возможности организма спортсменов во время тренировочного процесса.

В исследовании участвовали девушки ($n=2$), профессионально занимающиеся пулевой стрельбой в спортивной школе олимпийского резерва Академии биатлона Красноярск. Спортсмены-стрелки были в возрасте 14-15 лет и имели спортивную квалификацию мастер спорта.

Исследование проводили во время тренировочных сборов (8-16 октября 2024 г.). Тренировочные занятия проходили в тире. Выстрелы производили из пневматического оружия на расстоянии 10 метров до мишени.

Тренировочный процесс включал следующие элементы:

1 день - разминка (стрельба 30 мин) + зачетная стрельба (60 мин); 2 день - стрельба 40 мин; 3 день - разминка (стрельба 20 мин) + зачетная стрельба (60 мин); 4 день – отдых; 5 день - разминка (стрельба 30 мин) + зачетная стрельба (60 мин); 6 день (формат соревнования) - разминка (стрельба 30 мин) + контрольная стрельба (90 мин); 7 день - разминка (стрельба 30 мин) + зачетная стрельба (70 мин).

Материалом исследования служила слюна спортсменов, которую отбирали до и после тренировок. Собранная слюна хранилась замороженной в морозильной камере ($t = -200^{\circ}\text{C}$). Перед тестированием слюну размораживали и центрифугировали в течение 15 минут при 5000 об/мин.

Концентрация лактата в образцах слюны определялась спектрофотометрическим методом (спектрофотометр UV-1800, Shimadzu, Япония) при колориметрировании слюны с хлоридом железа III на длине волны 440 нм.

Биолюминесцентное тестирование проводили на люминометре «Люмишот» (Прикладные биосистемы, Красноярск) с использованием иммобилизованного ферментативного реагента «Энзимоллюм» (Прикладные биосистемы, Красноярск). Реагент содержал комплект субстратов и лиофилизированные препараты высокоочищенных ферментов (0,4 мг/мл люциферазы и 0,18 ед. активности НАДН:ФМН-оксидоредуктазы). Субстратом, катализирующим биолюминесцентное свечение реакционной смеси, служил 0,16 мМ водный раствор флавиномононуклеотида (ФМН) (Serva, Германия).

Реакцию биотеста определяли по величине остаточного свечения (биолюминесцентный показатель) как отношение средних максимальных

интенсивностей свечения экспериментального измерения (I) к контролю (I_0), умноженному на 100 %.

Статистическую обработку результатов в программе Excel (Microsoft Office, США) с подсчетом среднего значения и стандартного отклонения.

Результаты исследования показали, что концентрация лактата в слюне после тренировки понижена по сравнению до тренировки в зачетных стрельбах (1-5 дни) и повышена – на контрольных стрельбах (6-7 день). Повышение уровня лактата во время контрольных стрельб может быть связано с интенсивностью мышечной нагрузки при соревновательном режиме стрельбы. Интересно, что у стрелков из лука сборной России ситуация другая: концентрация лактата повышается в ответ на стандартную нагрузку и понижается при скоростном режиме стрельбы [3].

Биолюминесцентный показатель для слюны у стрелков из винтовки был постоянно повышен после тренировки по сравнению с ситуацией до тренировки. Однако изменение биолюминесцентного показателя до и после тренировки достоверно неразлично, как во время стандартной нагрузки (зачетная стрельба 2-5 день), так и при соревновательном режиме стрельбы (контрольная стрельба на 6-ой день). При этом значительное тушение биолюминесцентного свечения происходило во время зачетной стрельбы (2-5 день). Одинаковые показатели биолюминесцентного свечения в 5-ый и 6-ой дни могли указывать на адаптационные возможности организма.

Выявлено, что тушение биолюминесцентного свечения взаимосвязано с ростом концентрации лактата в слюне. Отмечается, что у стрелков из лука главные динамические изменения в слюне обусловлены повышением уровня кортизола и концентрацией глюкозы, которые свидетельствуют о мобилизации резервных функций организма спортсмена [3].

Полагаем, изменение биолюминесцентного показателя может быть обусловлено не только концентрацией лактата в слюне, но и другими биохимическими показателями, ответственными за состояние организма.

Интегральный биолюминесцентный показатель может быть использован для выявления адаптационных возможностей организма при учете изменений биохимического состава слюны. Необходимы дальнейшие исследования для выявления причин и факторов, влияющих на интегральный биолюминесцентный показатель для слюны.

Список литературы

1. Hrybovska I., Hrybovskyy R., Sobko I., Zadorozhna O. Ways of improving the technical and tactical training of athletes in bullet shooting // Scientific Journal of National Pedagogical Dragomanov University Series 15 Scientific and pedagogical problems of physical culture. 2023. P. 47-51.

2. Есимбекова Е. Н., Торгашина И. Г., Калябина В. П., Кратасюк В. А. Ферментативное биотестирование: научные основы и применения // Сибирский экологический журнал. 2021. Т 14, №3. 290-304 с.
3. Тарасова Л. В. Механизм энергообеспечения стрелков из лука в процессе спортивной тренировки // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2009. №7. 102-104 с

УДК 577.325

ВЛИЯНИЕ БЕЛКА LUXF НА БИОЛЮМИНСЦЕНЦИЮ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ СИСТЕМЫ БАКТЕРИЙ

А. М. Малафеева¹, Е. С. Тыртышная¹

Научный руководитель Е. В. Немцева^{1,2}

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Белок LuxF – продукт соответствующего гена lux-оперона светящихся бактерий [1], отвечающего за функцию биолюминесценции. Предполагается, что этот белок выполняет функцию адсорбции myrFMN – побочного продукта реакции, катализируемой люциферазой [2]. Однако структурно-функциональные характеристики LuxF и особенности механизмов его взаимодействия с другими белками биолюминесцентной системы остаются недостаточно изученными.

Данная работа направлена на анализ влияния LuxF на биолюминесценцию ферментативной системы бактерий, что позволит углубить понимание его функции в метаболических цепях.

В работе измеряли интенсивность биолюминесценции в реакции, катализируемой люциферазой, с помощью люминометра GloMax 20/20p (Promega) и скорость окисления NADH в этой реакции с помощью спектрофотометра Cary 5000 (Agilent Technologies). Были использованы бактериальная люцифераза *Photobacterium leiognathi* (LuxAB, НПО «Прикладные биосистемы»), FMN (Serva), NADH (Gerbu), тетрадеканаль (Manchester Organics), фосфатный буфер (pH 6,9, 0,05 M). В реакцию добавляли NADP(H):FMN-оксидоредуктазу *Vibrio fischeri* (Red, НПО «Прикладные биосистемы»), LuxB и LuxF из *P. leiognathi* (ИБФ СО РАН), а так же BSA (Диаэм).

Измерение кинетики биолюминесценции показало, что наблюдается значительное увеличение интенсивности свечения после добавление в смесь

субстратов с LuxAB, как Red, так и LuxF, LuxB (в концентрации 0,1 мг/мл). В качестве белка сравнения использовали BSA, добавление которого в той же концентрации не увеличивало интенсивность свечения. Такой результат говорит о возможной редуктазной активности гомологичных белков LuxF и LuxB.

Добавление третьего белка в биферментную систему LuxAB+Red приводило к различным эффектам: LuxB увеличивал интенсивность биолуминесценции, в то время как введение LuxF и BSA приводило к снижению. Последовательное добавление LuxB и LuxF к LuxAB+Red приводило к компенсации эффекта отдельных белков. Это может означать, что LuxF взаимодействует с редуктазой или другими компонентами системы, что приводит к снижению эффективности сопряженной люминесцентной реакции.

Скорость окисления NADH оценивался спектрофотометрически на длине волны 340 нм для реакционных смесей с одним, двумя либо тремя белками. Было получено, что добавление второго белка в реакцию Red приводит к увеличению скорости окисления в случае Red+LuxB и уменьшению – в случае Red+LuxF. Аналогичный эффект наблюдался для систем с тремя белками: добавления LuxB ускоряло окисление в LuxAB+Red, а добавление LuxF замедляло.

Таким образом, в ходе исследования было выявлено, что LuxF оказывает стимулирующее воздействие на биолуминесценцию в реакции, катализируемой бактериальной люциферазой, но снижает эффективность биферментной системы, где люцифераза работает в сопряжении с оксидоредуктазой. Так же было выявлено, что LuxF изменяет скорость окисления NADH, как в неферментативном процессе, так и в реакции с оксидоредуктазой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 25-24-00617.

Список литературы

1. Brodl E., Winkler A., Macheroux P. Molecular mechanisms of bacterial bioluminescence //Computational and structural biotechnology journal. – 2018. – Т. 16. – С. 551-564.
2. Tabib C. R., Brodl E., Macheroux P. Evidence for the generation of myristylated FMN by bacterial luciferase //Molecular microbiology. – 2017. – Т. 104. – №. 6. – С. 1027-1036

УДК 57.043:577.112.083

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЗО- И ПСИХРОФИЛЬНЫХ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ *P. RHOSPHEREUM*

Ю. А. Шешина¹Научный руководитель А. Б. Сарангова¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Одной из важнейших переменных, определяющих скорость биохимических реакций, является температура. В биологических системах биохимические реакции протекают в определенных диапазонах температуры, влияние температуры осложняется множеством факторов, например, стабильностью белков и ферментов [1]. В зависимости от температуры среды обитания выделяют три основные группы: психрофильные, мезофильные и термофильные организмы (рис.1) [2].

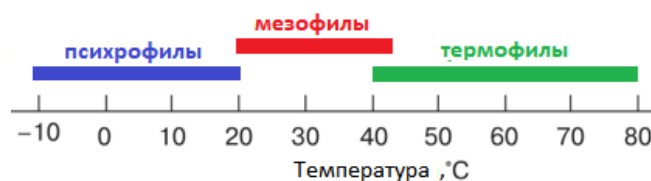


Рисунок 1. Классификация организмов в зависимости от температурного диапазона роста

Мезофильные организмы считаются самой распространенной группой микроорганизмов, однако значительная часть морского побережья России находится под влиянием низких температур, а для холодных регионов характерны особые условия (например, недостаток питательных веществ, чрезмерное ультрафиолетовое излучение, высокое атмосферное давление). Низкие температуры оказывают влияние на пластичность мембран, скорость протекания ферментативных реакций, диффузии и другие функции [3, 4]. Эволюция выработала у психрофильных организмов ряд адаптивных механизмов, которые позволяют им размножаться, выживать и использовать различные защитные стратегии при низких и даже отрицательных температурах [5]. Поэтому явления ферментативной терморегуляции и требуют изучения.

Вопрос терморегуляции ферментов является фундаментальным в биологии и относится не только к биохимии ферментов, но и к физиологии, эволюции организмов и экологии. Безусловно, различия в механизмах работы мезофильных и психрофильных ферментах огромны. Биолуминесценция — ферментативный процесс, он также зависит от влияния температуры, при этом

биолюминесценция в клетке сопряжена с остальными метаболическими процессами, в то время как выделенный ферментный комплекс от этой зависимости освобожден. Поэтому целью работы являлось описание, а затем и сравнение зависимости интенсивности биолюминесценции от температуры у мезо- и психрофильных штаммов бактерий, а также у выделенных из них низкоочищенных белковых экстрактов, содержащих люциферазу. Анализ полученных результатов позволит приблизиться к пониманию механизмов ферментативной терморегуляции изучаемых светящихся бактерий, описать отличия в люциферазных комплексах, а также определить границы применимости биолюминесцентного тестирования на основании температурных оптимумов для разных групп бактерий.

Объект исследования: *Photobacterium phosphoreum* 1883 – мезофильный штамм из Индийского океана из коллекции ИБФ СО РАН, *Photobacterium phosphoreum* 36 – психрофильный штамм, выделенный из бычка Белого моря, из коллекции кафедры микробиологии МГУ, биолюминесцентная система, находящаяся во внутриклеточном белковом экстракте данных штаммов бактерий.

Бактерии культивировались на соответствующих для каждого штамма твердых средах при соответствующих температурах: *Photobacterium phosphoreum* 1883 – при 24 оС, *Photobacterium phosphoreum* 36 – при 17 оС. На рис. 2 приведены спектры биолюминесценции исследуемых бактерий. Максимум спектра *P.phosphoreum* 1883 смещен в коротковолновую область, что, вероятно, обуславливается присутствием люмазинового белка.

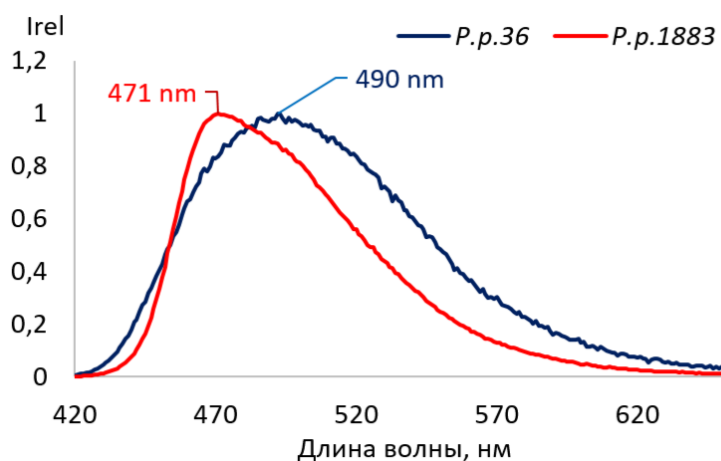


Рисунок 2. Нормированные спектры биолюминесценции изучаемых штаммов

Для получения температурной зависимости интенсивности биолюминесценции бактериальной культуры образцы инкубировали в течение 5 минут при выбранных температурах. Эксперимент (рис.3А) показал, что температурный оптимум психрофильных бактерий ожидаемо ниже, чем у мезофильных. Максимум интенсивности биолюминесценции для обоих

штаммов зарегистрирован при температурах, превышающих условия их культивирования.

Для получения температурной зависимости интенсивности биolumинесценции экстракта он был предварительно выделен из бактериальной биомассы с помощью стандартных методик. Далее полученные образцы инкубировались при тех же условиях. Показано (рис.3Б), что температурные оптимумы интенсивности биolumинесценции обоих экстрактов смещены в область пониженных температур: мезофильного – на 5 оС, а психрофильного – на 10 оС.

Особый интерес вызвал температурный максимум психрофильных бактерий, превышающий таковой максимум белкового экстракта на 10 оС, что требует детального дальнейшего исследования. Можно предположить, что такое расхождение температурных оптимумов обусловлено сопряженными с биolumинесценцией другими процессами и синтезом внутриклеточных интермедиатов, которые не могут быть включены в метаболические процессы при такой температуре.

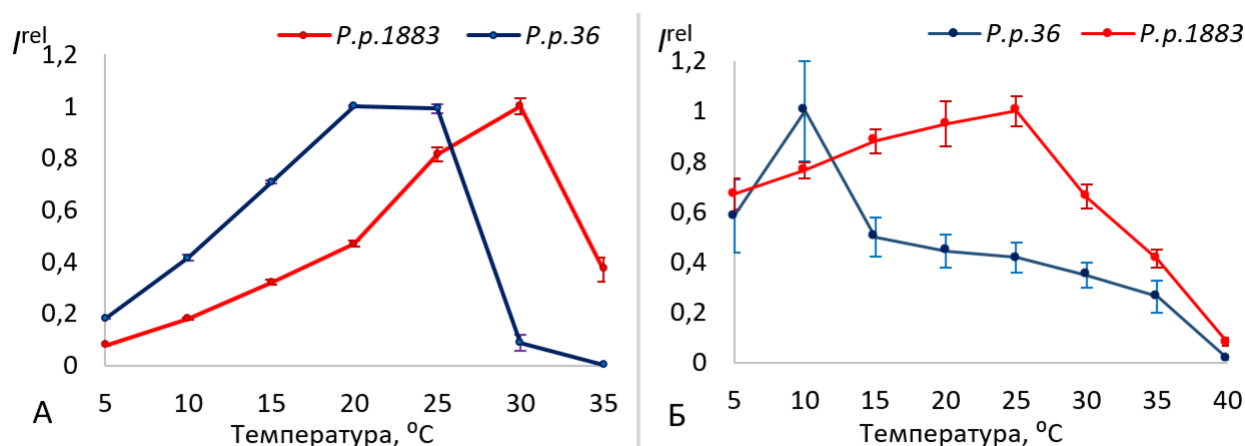


Рисунок 3. Зависимость относительной интенсивности биolumинесценции I_{rel} мезо- и психрофильных бактериальных штаммов (А) и выделенных экстрактов (Б) от температуры инкубирования

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Температурный оптимум мезофильного штамма как бактерий, так и экстракта, не противоречит классическим условиям для ферментативного анализа (30 оС и 25 оС соответственно).

2. Обнаружено смещение температурного оптимума выделенного белкового экстракта психрофилов по сравнению с таковым у бактериальной культуры в область пониженных температур. Различие составило 10 оС.

Полученные результаты лежат в области ферментативной терморегуляции и требуют дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Arcus V., Prentice E., Hobbs J., Mulholland A., Van der Kamp M., Pudney C., Parker E., Schipper L. On the Temperature Dependence of Enzyme-Catalyzed Rates // *Biochemistry*. 2016. Vol. 55 (12). P. 1681 – 1688.
2. Шлегель Г. Общая микробиология: Пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 567 с.
3. De Maayer P., Anderson D., Cary C., Cowan D. Some like it cold: understanding the survival strategies of psychrophiles // *EMBO reports*. 2014. Vol. 15 (5). P. 508 – 517.
4. Harrison J., Gheeraert N., Tsigelnitskiy D., Cockell C. The limits for life under multiple extremes // *Trends in Microbiology*. 2013. Vol. 21 (4). P. 204 – 212.
5. Margesin R, Miteva V. Diversity and ecology of psychrophilic microorganisms // *Research in Microbiology*. 2011. Vol. 162 (3). P. 346 – 361.

УДК 535.37:577.325.3

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ЛЮЦИФЕРАЗ

П. А. Ерошенко¹

Научный руководитель Е. В. Немцева^{1,2}

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹Сибирский федеральный университет

Конформационная динамика белков (относительные движения субструктур, происходящие в масштабах времени от пикосекунд до секунд) играет важную роль в их правильном функционировании, что считается особенно актуальным для ферментов. Эффективное протекание ферментативных реакций обеспечивается определённым соотношением жесткости и гибкости структуры белка, которое может изменяться при разных температурах. Ранее было показано, что бактериальные люциферазы *V. harveyi* и *P. leiognathi* проявляют различия в ферментативной активности при вариации температуры (5-45 °С) [1]. *P. leiognathi* («быстрая» люцифераза) остается активной при более низких температурах, в то время как диапазон оптимальных температур фермента *V. harveyi* («медленной» люциферазы) оказался смещен в область более высоких температур. Также было получено, что люцифераза *V. harveyi* проявляет большую термостабильность. На основании этих результатов можно предположить, что бактериальные люциферазы данных подсемейств обладают разными динамическими свойствами. Целью данной работы стало сравнение динамических характеристик белковых глобул бактериальных люцифераз *V. harveyi* и *P. leiognathi* при разных температурах с помощью метода триптофановой люминесценции белка.

Для оценки плотности упаковки внутренних триптофанов люцифераз был использован метод триптофановой фосфоресценции при комнатной температуре (RTTP). Были получены спектры и спады интенсивности фосфоресценции деоксигенированных растворов белков при 5-35°C. При 5 °С обе люциферазы демонстрировали одинаковую максимальную интенсивность. При 10-35 °С интенсивность люциферазы *V. harveyi* была выше. Из спадов были получены два времени жизни фосфоресценции: 2,28-5,45 и 0,16-0,4 мс для белка *V. harveyi*, 0,9-2,99 и 0,07-0,43 мс для белка *P. leiognathi*. Более длительным было время жизни для фермента *V. harveyi*, что является признаком более жесткого окружения внутренних триптофанов.

Были получены спады флуоресценции при 315-400 нм после импульсного возбуждения (296 нм) и построены время-разрешенные спектры флуоресценции (TRES) для времен 0,1-20 нс после возбуждения (Рис. 1, А). Изменение центра тяжести TRES белка для каждой из температур было описано двумя временами релаксации микроокружения: 5,15-7,42 и 0,17-0,3 нс для белка *V. harveyi*, 6,81-8,44 и 0,13-0,22 нс для белка *P. leiognathi*, соответственно (Рис. 1, Б). Получено, что фермент *V. harveyi* характеризуется меньшим временем релаксации при 3-10 нс, чем белок *P. leiognathi*. Это свидетельствует о более жесткой конформации люциферазы *V. harveyi*.

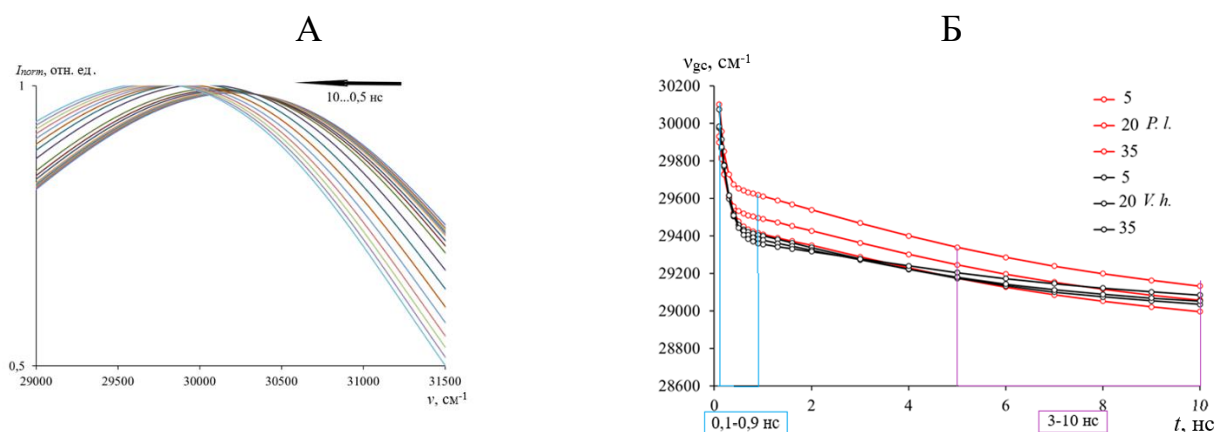


Рисунок 1. (А) Нормированные TRES люциферазы *P. leiognathi* для 0,5-10 нс. (Б) Изменение положения центра тяжести TRES люцифераз *P. leiognathi* (красным) и *V. harveyi* (черным) при 5, 20 и 35°C. Синим и фиолетовым выделены диапазоны, которые описывали экспоненциальной функцией для получения времён релаксации.

Полученные данные подтверждают, что люцифераза *V. harveyi* характеризуется более жесткой по сравнению с *P. leiognathi* структурой. Также была выявлена корреляция начальной скорости и константы спада свечения в реакции, катализируемой люциферазами при разных температурах, со временем жизни фосфоресценции люцифераз. Это может свидетельствовать о том, что параметры фосфоресценции лучше отражают температурную динамику структурных элементов исследованных белков, чем параметры флуоресценции. Результаты опубликованы в [2].

Автор выражает благодарность Герасимовой М. А. за помощь в обработке результатов. Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 25-24-00617.

Список литературы

1. Deeva A. A., Lisitsa A. E., Sukovatyi L. A., Melnik T. N., Kratasyuk V. A., Nemtseva E. V. Structure-function relationships in temperature effects on bacterial

luciferases: Nothing is perfect // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23. №. 15. P. 8119.

2. Nemtseva E. V., Gulnov D. V., Eroshenko P. A., Sukovatyi L. A., Kratasyuk V. A. Comparison of the structural dynamics of bacterial luciferases using time-resolved luminescence techniques // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2025. P. 1-7.

УДК 577.325

КИНЕТИКА РЕАКЦИИ, КАТАЛИЗИРУЕМОЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЛЮЦИФЕРАЗой, В ПРИСУТСТВИИ БЕЛКА LUXF

Е. С. Тыртышная¹, А. М. Малафеева¹, А. Е. Лисица¹

Научный руководитель Е .В. Немцева^{1,2}

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Биолюминесценция бактерий обеспечивается рядом белков, закодированных в *lux*-опероне, наиболее изученным из которых на данный момент является люцифераза. Данный фермент катализирует реакцию окисления длинноцепочечного альдегида при участии восстановленного флавиномононуклеотида, в результате чего происходит испускание кванта света. У ряда биолюминесцентных бактерий в *lux*-опероне присутствует ген *luxF*, последовательность которого на 30% идентична последовательности гена *luxB*, кодирующего одну из субъединиц гетеродимерной люциферазы. Продуктом гена *luxF* является гомодимерный белок, функция которого на сегодняшний день недостаточно изучена. Известно, что LuxF способен связывать FMN и его производное тугFMN в четырех центрах связывания, два из которых расположены в области межсубъединичного пространства [1].

Целью работы было определение механизмов влияния белка LuxF бактерий *P. leiognathi* на кинетические характеристики реакции, катализируемой люциферазой.

Были использованы люцифераза *P. leiognathi* (НПО «Прикладные биосистемы»), FMN (Serva), тетрадеканаль (Manchester Organics), EDTA (Gerbu), LuxF и LuxB из *P. leiognathi* (ИФБ СО РАН), BSA (Диаэм), фосфатный буфер (pH 6.9, 0,05M).

Восстановление FMN проводили фотохимически в буфере, пробарботированном аргоном. Кинетику биолюминесцентной реакции и автоокисления FMNH₂ измеряли в течение 15 секунд при 20° С методом

остановленного потока, с помощью анализатора SX-20 (Applied Photophysics). Моделирование кинетики согласно стадийности реакции, проводили с помощью программного пакета Scilab [ii].

Было получено, что добавление в реакционную смесь белков LuxF, LuxV и BSA в концентрации 0,1 мг/мл приводит к замедлению кинетики биолуминесцентной вспышки. Наблюдается увеличение времени выхода на максимум, уменьшение константы спада свечения, а также начальной скорости реакции.

Исследование кинетики реакции автоокисления FMNH₂ в присутствии белков показало, что скорость реакции не изменяется. Вариация концентрации альдегида в реакции, катализируемой бактериальной люциферазой, в присутствии LuxF вывило изменение сродства фермента к тетрадеканалу.

Таким образом, было получено, что влияние белка LuxF на биолуминесцентную реакцию бактерий осуществляется путём изменения взаимодействия люциферазы с алифатическим альдегидным субстратом.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 25-24-00617.

Список литературы

1. Structural and biochemical properties of LuxF from *Photobacterium leiognathi* / T. Bergner, C. R. Tabib, A. Winkler et al. // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*. 2015. Т 1854. № 10. С. 1466-1475.
2. Mechanisms of viscous media effects on elementary steps of bacterial bioluminescent reaction / A. E. Lisitsa, L. A. Sukovatyi, S. I. Bartsev et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Т 22. № 16. С. 8827.

УДК: 57.083.185:616-084

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО ЛЕСА, КАК МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ БИОМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

П. А. Мартыщук¹

Научный руководитель Г. В. Жукова¹.

м.н.с. лаборатории биолуминесцентных биотехнологий, ст. преподаватель
кафедры биофизики

Научный руководитель А. Н. Шуваев¹

кандидат физико-математических наук, заведующий базовой кафедрой медико-биологических систем и комплексов

¹*Сибирский федеральный университет*

Оценку состояния организма можно провести, используя биоллюминесцентный анализ слюны и исследуя зависимость состава слюны от патологических и физиологических состояний организма. Однако такой анализ является интегральным, реагирует на множество факторов, каждый из которых потенциально может повлиять на результат [1,2]. Поэтому разработка подобной тест системы должна включать в себя анализ биомедицинских данных, который способен оценивать влияние каждого потенциального фактора.

Цель работы: оценить эффективность использования алгоритма случайного леса для анализа биоллюминесцентных данных слюны и комплексной диагностики состояния организма.

Оценку эффективности методов обработки проводили на базе данных двух типов с различными целевыми задачами: группы диспетчеров Красноярского филиала АО «РЖД», с целью выявления уровня стрессоустойчивости на рабочем месте и на примере группы пациентов онкодиспансера с диагнозом рак молочной железы, с целью прогноза стадии заболевания. Анализ биомедицинских данных производился методом случайного леса.

В обеих группах объектом исследования является слюна. В первой группе были оценены такие ее показатели, как pH, концентрация лактата, остаточное свечение биферментной системы светящихся бактерий: НАД(Ф)Н: ФМН-оксидоредуктаза + люцифераза (ЛИ %). Проанализированы данные из медицинских карт сотрудников, биохимические показатели крови и данные из специально разработанных анкет, включающее субъективную оценку стресса и работоспособности до и после смены, информацию о режиме дня, потреблении пищи, лекарственных средств, энергетических напитков и табака. Для второй группы также был проанализирован уровень остаточного свечения, диагноз и данные анамнеза. В качестве перспективного метода анализа был выбран метод случайного леса.

С помощью классификационного алгоритма случайного леса для первого набора данных был предсказан уровень стресса и получено ранжирование факторов по уровню влияния на результат классификации. Наиболее значимые параметры: интервал между курением и забором пробы, уровни холестерина и глюкозы в крови (рис. 1). Средняя точность работы алгоритма: 95% -96%.

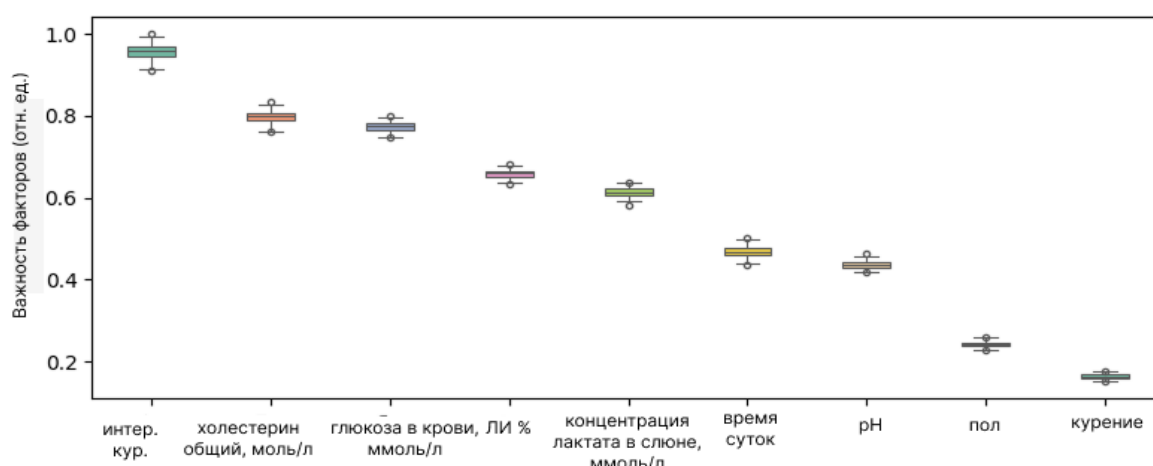


Рисунок 1. Распределение факторов по уровню влияния на результат предсказания уровня стресса. (« ° » - обозначение выбросов на диаграмме)

Для второго набора данных решалась классификационная задача по распределению испытуемых на три класса (здоровы или имеют доброкачественное новообразование, диагноз рак молочной железы I-II стадии, диагноз рак молочной железы III-IV стадии). Для классификации использовались данные анамнеза и уровень остаточного свечения.

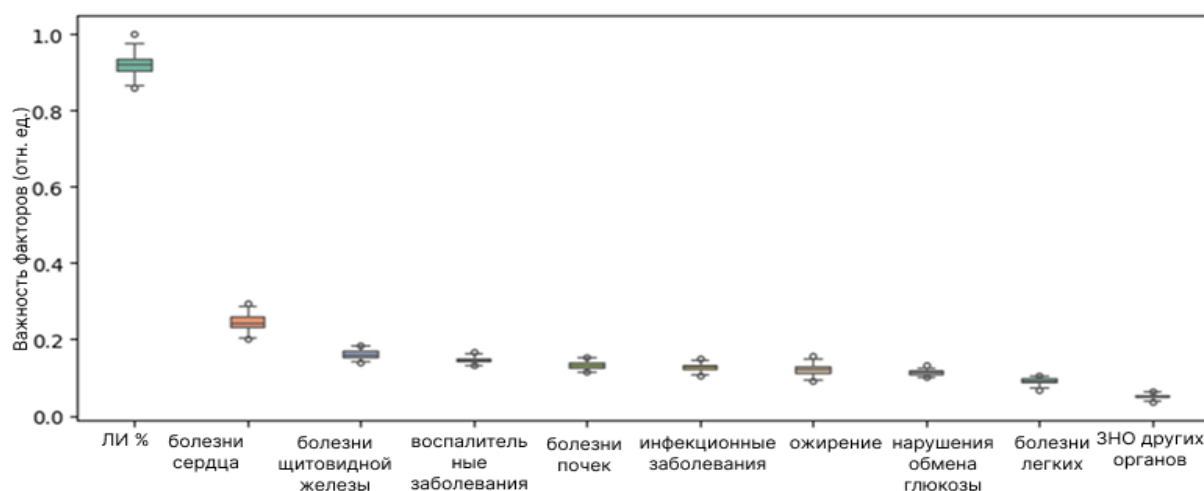


Рисунок 2. Распределение факторов по уровню влияния на целевое значение при классификации больных раком молочной железы

Было оценено влияние факторов на результаты классификации, наибольший вклад вносит уровень остаточного свечения (рис. 2). Средняя точность работы алгоритма: 77 – 76 %.

Таким образом была определена возможность применение метода случайного леса для обработки результатов оценки состояния испытуемых с помощью биoluminesцентного анализа слюны. Данный метод позволяет

выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на результаты оценки состояния организма.

Список литературы:

- 1) Zhukova, G.V., Sutormin, O.S., Stepanova, L.V. et al. Prediction of Professional Success of Employees under Stress: A New Approach. Hum Physiol 50, 515–520 (2024). <https://doi.org/10.1134/S0362119724700981>/Г. В. Жукова, О. С. Сутормин., Л. В. Степанова и В. А. Кратасюк. Прогнозирование профессиональной успешности работника в условиях воздействия трудовых нагрузок: новый подход// Физиология человека, 2024, том 50, №5 с 87-94 DOI: 10.31857/S0131164624050092
- 2) Stepanova, L.V., Kolenchukova, O.A., Zhukova, G.V. et al. Bioluminescence Enzymatic Bioassay of Saliva for Occupational Monitoring of the Functional State of the Body in Rail Transportation Workers. BIOPHYSICS 69, 575–583 (2024). <https://doi.org/10.1134/S0006350924700647>

Биотехнология

УДК 574:581.9:579.2

ВЛИЯНИЕ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА МИКРОБНУЮ СТРУКТУРУ ПОЧВ, ПОДСТИЛАЕМЫХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫМИ ПОРОДАМИ

Д. О. Ануева¹

Научный руководитель С. Ю. Евграфова^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Микроорганизмы играют ключевую роль в производстве первичной биомассы и круговороте элементов в почвах территорий, подстилаемых многолетнемерзлыми породами (ММП). За последние несколько десятилетий, вследствие изменения климата, мощность сезонно-талого слоя почвы этих территорий увеличивается, что приводит к уменьшению площади подстилающих ММП. В свою очередь, это способствует повышению микробиологической активности и деструкции захороненного органического вещества, что, как следствие, может привести к выбросу парниковых газов CO₂ и CH₄ [1].

Исследования показывают, что уровень экосистемного дыхания в почвах зависит от различных факторов, таких как содержание органического вещества, растительный покров, доступности воды, наличия снега или снежного покрова, температуры и микробной биомассы. Доказано, что для арктических экосистем активность почвенного дыхания напрямую связана с количеством гетеротрофных бактерий [2].

Целью работы являлось исследование взаимосвязей между напочвенным покровом и структурой микробных сообществ почв, подстилаемых ММП.

Объектом исследований служили карболитоземы лесотундровой зоны Средней Сибири, расположенной в Таймырском Долгано-Ненецком районе Красноярского края. Образцы почв были отобраны в межкроновом пространстве лиственничников голубично-дриадово-зеленомошных (почвенный профиль 21-3-1, далее по тексту ПП_21-3-1) и копеечниково-дриадово-зеленомошных (почвенный профиль 21-3-2, далее по тексту ПП_21-3-2).

Выделение микроорганизмов из почвы проводилось по методу посева на плотные питательные среды. Группа гидролитических микроорганизмов выделялась на мясопептонном агаре (МПА), группа олиготрофных микроорганизмов выделялась на почвенном агаре (ПА). Подсчет

колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов проводился путем учета числа колоний, выросших на питательной среде, и пересчитывался на 1 г сухой почвы [3].

Базальное дыхание (БД) микробных сообществ почвы определяли кинетическим методом. Измерение скорости дыхания активных и потенциально активных микроорганизмов почвы проводилось методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД), который основан на измерении выделившегося CO_2 после обогащения почвы или подстилки дополнительным источником углерода в виде глюкозы. Расчет углерода микробной биомассы $\text{С}_{\text{мик}}$ (мкг С г^{-1} почвы) проводился по методу Андерсона и Домча согласно формуле: $\text{С}_{\text{мик}} = \text{СИД} \times 40,04$ [4].

Ранее нами было показано, что гетеротрофные характеристики исследуемых карболитоземов не демонстрировали зависимостей от мозаичности экосистемы и межучастковой изменчивости, и было сделано предположение о широком диапазоне адаптационных способностей микробиоценозов исследуемых почв, активность которых, вероятно, в большей степени зависит от содержания и доступности почвенного органического вещества [5]

В данном исследовании методом главных компонент показано, что композиции микробных сообществ (гидролитическая и олиготрофная составляющие) различались между профилями почв с присутствием в напочвенном покрове голубичника или копеечника (рисунок А). При этом, в вышележащих горизонтах почв обоих профилей доминировала олиготрофная составляющая микробиоценоза, а в нижележащих – гидролитическая (рисунок Б).

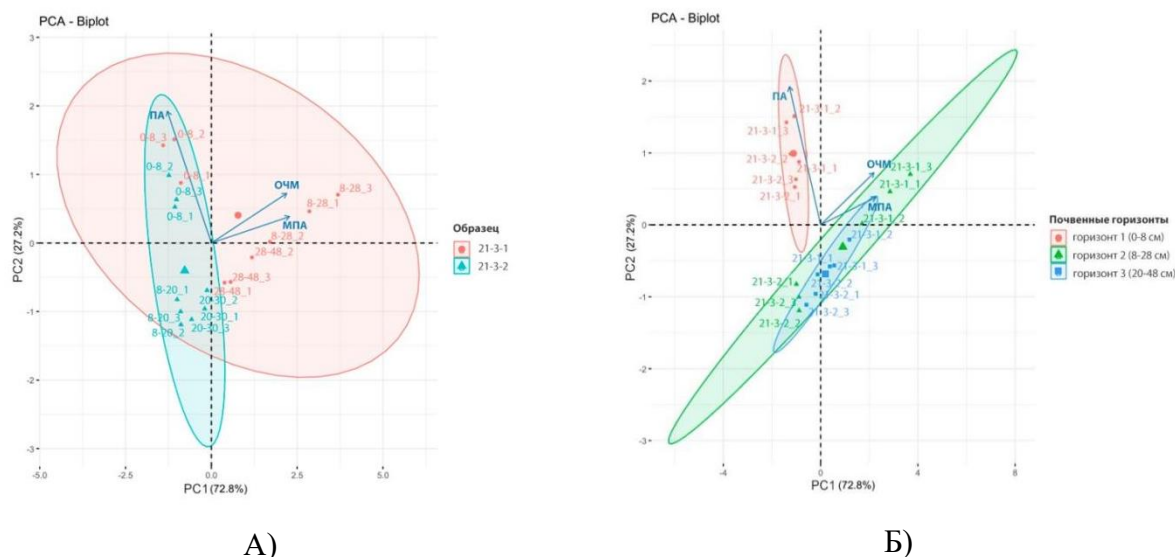


Рисунок 1. Результаты анализа главных компонент. Главные компоненты - PC1 и PC2; ПА – почвенный агар; МПА – мясопептонный агар; ОЧМ – общее микробное число; цифрами обозначены почвенные горизонты (3 повторности). А) Биплот анализа сходства между пробными площадями; ПП_21-3-1 – лиственничник голубично-дриадово-

зеленомошный; ПП_21-3-2 – лиственничник копеечниково-дриадово-зеленомошный. Б)

Биплот анализа сходства между почвенными горизонтами.

Анализ взаимосвязей микробиологических показателей и содержания органического углерода (С) и азота (N) в исследуемых почвах показал, что олиготрофная составляющая микробоценозов почв обоих профилей была тесно связана с концентрацией С и N, в то время как взаимосвязь между С и N и гидролитической микрофлорой была негативной (таблица). Если параллельно учесть, что потенциальное гетеротрофное дыхание (СИД) также в значительной степени зависело от содержания С и N, а связь базального дыхания с этими параметрами была отрицательной или слабой, то можно предположить, что гидролитическая составляющая микробоценозов исследуемых почв находилась в покое (неактивном) состоянии, а микробиологические процессы в почвах протекали за счет жизнедеятельности олиготрофных микроорганизмов. Высокие положительные коэффициенты корреляции между С/N и БД и количеством гидролитических микроорганизмов могли свидетельствовать о дополнительном источнике N в почвах лиственничников копеечниково-дриадово-зеленомошных за счет фиксации N бактериями, ассоциированными с копеечником – растением семейства бобовых.

Таблица 1

Взаимосвязь (коэффициент корреляции Пирсона) микробиологических показателей и содержания углерода и азота в исследуемых почвах (жирный курсив – значимо при $p < 0.05$)

Показатель	ПП_2-3-1 (лиственничник голубично-дриадово-зеленомошный)			ПП_2-3-2 (лиственничник копеечниково-дриадово-зеленомошный)		
	Сорг, %	N, %	C/N	Сорг, %	N, %	C/N
СИД	0.61	0.64	-0.98	0.93	0.94	-0.75
БД	-0.38	0.50	-0.34	-0.83	-0.81	0.97
Гидролитики на МПА	-0.65	-0.62	-0.02	-0.59	-0.57	0.83
Олиготрофы на ПА	0.98	0.98	-0.61	0.88	0.89	-0.66

Таким образом, можно сделать вывод, что напочвенный покров может влиять на структуру микробных сообществ почв, подстилаемых ММП, например, за счет привнесения дополнительного количества биодоступного азота бактериями, связанными с бобовыми растениями.

Список литературы

1. Jansson, Janet K. The microbial ecology of permafrost / Janet K. Jansson, Neslihan Tas // Nature reviews | Microbiology. 2014. Volume 12. P. 414-425.
2. Anderson, O.R. Bacterial and Heterotrophic Nanoflagellate Densities and C-biomass Estimates Along an Alaskan Tundra Transect with Prediction of Respiratory CO₂ Efflux. // Journal of Eukaryotic Microbiology. 2014. №61(1). P.11-16.

3. Практикум по биологии почв: Учеб. пособие / Зенова Г.М. [и др.] - М.: Издательство МГУ, 2002. 120 с.

4. Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников южной тайги (Костромская область) / Н.Д. Ананьева [и др.] // Почвоведение. 2009. №9. С. 1108-1116.

5. Гетеротрофная характеристика почв лиственничных редколесий лесотундровой зоны Средней Сибири / Евграфова С.Ю., Мухортова Л.В., Децура А.Е., Ануева Д.О. [и др.] // Материалы международной конференции «Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски». Красноярск: ИЛ СО РАН, 2024. С. 96-97.

УДК 579.66:579.244:579.222.3

БИОСИНТЕЗ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ, СОДЕРЖАЩИХ МОНОМЕРЫ 3- И 4-ГИДРОКСИВАЛЕРАТА, БАКТЕРИЯМИ CUPRIAVIDUS NECATOR B-10646

А. В. Березовская¹

Научный руководитель Н. О. Жила^{1,2}
Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Широкое использование синтетических полимеров создает глобальную экологическую проблему: скорость их потребления во много раз превышает скорость восполнения запасов ископаемого топлива на основе углерода, вызывая не только серьезный дисбаланс в углеродном цикле, но также приводит к загрязнению биосферы. В настоящее время для решения этой проблемы рассматриваются два пути. Первый – модификация существующих синтетических материалов для придания им способности к разложению в естественных условиях. Однако этот путь требует введения дополнительных этапов в процесс полимеризации, тем самым повышая себестоимость конечного продукта. Более перспективным является разработка новых материалов – биополимеров [1]. Среди перспективных «зеленых» пластиков – полигидроксисалканоаты (ПГА) – разрушаемые полимеры микробиологического происхождения, способные к естественной деградации природной микрофлорой до CO₂ и H₂O без вреда для биоты и окружающей среды в целом. На данный момент самый распространенный, активно изучаемый и, что важно, коммерчески воспроизводимый представитель ПГА – это гомополимер 3-

гидроокисмасляной кислоты (П(ЗГБ)) [2]. Однако высокая степень кристалличности (> 70%) и температура плавления (более 179 °С), а также хрупкость, вызванная процессами вторичной кристаллизации, и жесткость, значительно ограничивают сферу его применения [3]. Получение сополимеров, содержащих мономеры отличные от 3-гидроксibuтирата позволяет преодолеть нежелательные свойства гомополимера.

Настоящее исследование посвящено изучению способности бактерий *Cupriavidus necator* B-10646 к синтезу необычного и малоисследованного типа ПГА, содержащего в качестве мономеров, помимо 3-гидроксibuтирата (ЗГБ) и 3-гидроксивалерата (ЗГВ), также мономеры 4-гидроксивалерата (4ГВ) с использованием субстрата-предшественника - леулиновой кислоты, которая является побочным продуктом в деревообрабатывающей промышленности.

Варьируя концентрацию и количество доз субстрата-предшественника а также основного углеродного субстрата, удалось найти условия, обеспечивающие образование мономеров 3- и 4-гидроксивалерата и их включение в С-цепь поли(3-гидроксibuтирата) при одновременном сохранении высокого содержания полимера в клетках (до 80%).

Получен набор сополимеров П(ЗГБ-со-ЗГВ-со-4ГВ) с различным содержанием мономеров ЗГВ (30-70 мол.%) и 4ГВ (1-6 мол.%) и изучены их свойства. Показано, что соотношение мономеров ЗГВ и 4ГВ в составе ПГА значительно влияет на их физико-химические свойства, включая молекулярно-массовое распределение, степень кристалличности и температурные свойства.

Список литературы

1. Koller M., Mukherjee A. Polyhydroxyalkanoates – Linking properties, applications, and end-of-life options // Chem. Biochem. Eng. 2020. Vol. 34. P. 115–129.
2. Muzaiyanah A. R., Amirul A. A. Studies on the microbial synthesis and characterization of polyhydroxyalkanoates containing 4-hydroxyvalerate using γ -valerolactone // Appl. Biochem. Biotechnol. 2013. V.170. P. 1194-1215.
3. Raza Z. A., Abid S., Banat I. M. Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications// Int. Biodeter. Biodegr. 2018. V. 126. P. 45-56.

УДК 579.66:579.244:579.222.3

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ НА ОТХОДАХ РЫБОПЕРЕРАБОТКИ БАКТЕРИЯМИ *CUPRIAVIDUS NECATOR B-10646*

А. В. Березовская¹

Научный руководитель Н. О. Жила^{1,2}
Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Накопление пластиковых отходов, загрязняющих природные экосистемы, наносит вред биоте и здоровью человека. Решение проблемы пластиковых отходов, наряду с технологиями их повторного использования, связано с постепенным переходом на разлагаемые полимерные материалы нового поколения [1]. Среди перспективных «зеленых» пластиков – полигидроксиалканоаты (ПГА) – разрушаемые полимеры микробиологического происхождения, способные к естественной деградации природной микрофлорой до CO₂ и H₂O без вреда для биоты и окружающей среды в целом [3]. Однако себестоимость ПГА в значительной степени определяется стоимостью исходного сырья для их получения, поэтому одно из ключевых направлений исследований сосредоточено на поиске дешевого и доступного углеродного сырья, в качестве которого могут выступать различные соединения (углеводы, спирты, глицерин и др.), в том числе и различные побочные продукты производств. [2]. Жиросодержащие отходы, получаемые в результате переработки рыбы являются новым, но малоизученным субстратом. Поэтому настоящее исследование посвящено изучению возможности применения жиросодержащих отходов рыбопереработки, как основного углеродного субстрата для роста бактерий *Cupriavidus necator B-10646* и накопления ПГА.

Исследованы два источника жира, полученные из отходов рыбоперерабатывающей промышленности: головы копченой балтийской кильки и свежие головы балтийской кильки.

Наибольшие выходы биомассы (до 4,7 г/л) и ПГА (до 62%) были зафиксированы для жира из голов копченой балтийской кильки в концентрации 20 г/л (Рисунок). При концентрации субстрата выше 25 г/л наблюдалось ингибирование роста и синтеза полимера. При культивировании на масле, полученном из голов свежей кильки, бактерии синтезировали гомополимер П(ЗГБ), а на масле из голов копченой кильки - трехкомпонентный сополимер П(ЗГБ-со-ЗГВ-со-ЗГГ), в котором преобладали мономеры 3-гидроксibuтирата (ЗГБ) – 97,1мол.% и присутствовали мономеры 3-гидроксивалерата (ЗГВ) – 1,6

мол.%, а также незначительные включения 3-гидроксигексаноата (ЗГГ) – 0,3 мол.%. Средневесовая молекулярная масса и полидисперсность полимера, синтезированного бактериями при использовании жира из голов копченой и свежей кильки, составляла, соответственно 752 кДа, 5.6 и 711 кДа, 3,4.

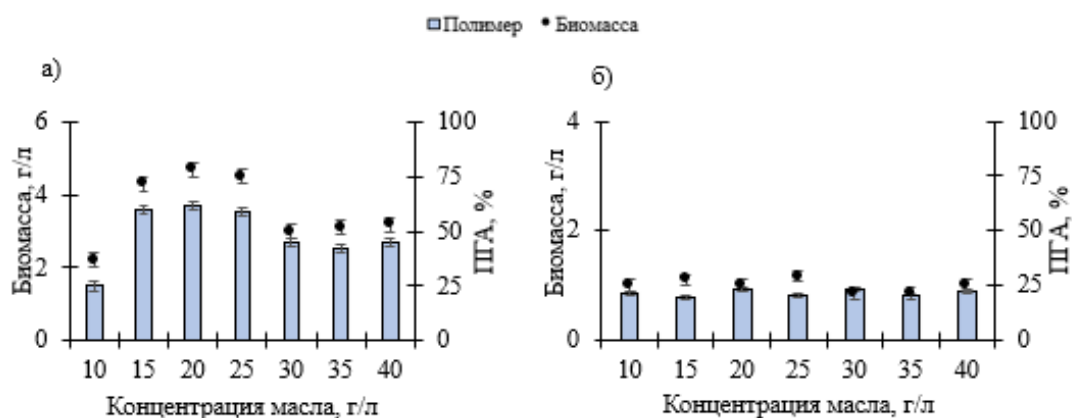


Рисунок. Концентрация биомассы *Cupriavidus necator* B-10646 и содержание ПГА в экспериментах, где основным углеродным субстратом было масло из а) голова копченой балтийской кильки б) голова свежей балтийской кильки.

Степень кристалличности П(ЗГБ), полученного при использовании жира из голов свежей кильки, составляла 78%, тогда как степень кристалличности сополимера П(ЗГБ-со-ЗГВ-со-ЗГГ), полученного при использовании жира из голов копченой кильки, была несколько ниже – 71%. Кроме того, все образцы имели более низкую температуру плавления по сравнению с полимерами, синтезированными на сахарах.

Таким образом, жиросодержащие отходы рыбоперерабатывающей промышленности являются перспективными субстратами для синтеза полигидроксисалканоатов, включая сополимеры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 23-64-10007, <https://rscf.ru/project/23-64-10007/>). Автор благодарен Жила Н.О. за научное руководство.

Список литературы

1. Zhila N. O., Kiselev E. G., Volkov V. V. [et al]. Properties of Degradable Polyhydroxyalkanoates Synthesized from New Waste Fish Oils (WFOs)// Int. J. Mol. Sci. 2023. V.24(19). P. 14919.
2. Dietrich K. [et al.]. Sustainable PHA production in integrated lignocellulose biorefineries// New Biotechnol. 2019. V. 49. P. 161-168.
3. Raza Z. A., Abid S., Banat I. M. Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications// Int. Biodeter. Biodegr. 2018. V. 126. P. 45-56.

УДК 577.2:543.06

BRET-ПАРЫ: ЛЮЦИФЕРАЗЫ И ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ БЕЛОК LSSmSCARLET

П. А. Бочарова¹

Научный руководитель С. В. Маркова^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Резонансный перенос энергии биолюминесценции (Bioluminescence resonance energy transfer (BRET)) — это безызлучательная передача энергии от донора (биолюминесцентного белка) к акцептору. Акцептором обычно является флуоресцентный белок (флуорофор), который поглощает свет с заданной длиной волны и повторно излучает свет с большей длиной волны. Для исследований *in vivo* необходим свет с длиной волны в красной области спектра, в то время как большинство люцифераз излучает свет в голубой области. Решением проблемы может стать создание гибридных белков люцифераз с красными флуоресцентными белками.

Целью работы было получение вариантов гибридных белков люцифераз *Metridia* и *Renilla* с красным флуоресцентным белком LSSmScarlet и оценка их потенциал как BRET-репортеров.

Объектами исследования были люциферазы из мягкого коралла *Renilla muelleri* и морского рачка *Metridia longa*. Оба фермента являются целентеразин-зависимыми и генерируют свечение путем окисления субстратов, не нуждаются в кофакторах и имеют небольшие размеры [1]. В качестве акцептора использовался красный флуоресцентный белок LSSmScarlet, созданный и предоставленный Курчатовским институтом [2]. Он относится к новому классу флуоресцентных белков с большим сдвигом Стокса и ещё не раскрытым потенциалом использования.

Помимо общих характеристик красного флуоресцентного белка LSSmScarlet и особенностей люцифераз *Renilla* и *Metridia* описанных выше выбор BRET-пар производили, учитывая степень перекрывания спектра поглощения флуоресцентного белка со спектром эмиссии люцифераз (рис. 1). Большая область перекрытия спектра возбуждения красного флуоресцентного белка LSSmScarlet с эмиссионными спектрами люцифераз *Metridia longa* и *Renilla muelleri*, отраженная на графиках, позволяет ожидать эффективного переизлучения для видимого эффекта BRET [3].

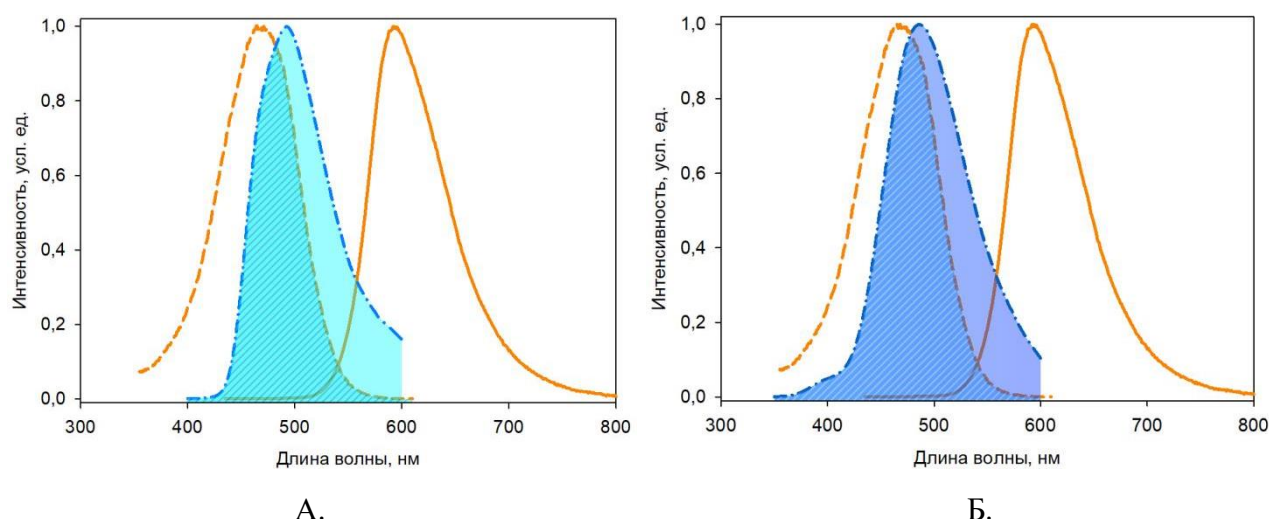


Рисунок 1. Спектры возбуждения (пунктир) и излучения (сплошная) красного флуоресцентного белка LSSmScarlet со спектром биолуминесценции: (А) люциферазы ML (циановый); (Б) люциферазы RmL (синий). Область перекрытия спектров заштрихована

Методами молекулярного клонирования были получены генно-инженерные конструкции пар «флуоресцентный белок – люцифераза Metridia» (далее LSSmScarlet-ML) и «флуоресцентный белок и люцифераза Renilla» (далее LSSmScarlet-RmL). Для экспрессии полученных конструкций LSSmScarlet-ML и LSSmScarlet-RmL использовали штамм *E.coli* XL1-Blue. Синтез рекомбинантных белков индуцировали добавлением ИПТГ. Уровень экспрессии целевых белков оценивали полунативным ДСН-электрофорезом. Далее проводилась очистка полученных BRET-пар хроматографическими методами.

Для измерения спектров биолуминесценции и флуоресценции использовали препарат чистого белка. Спектры регистрировались с помощью спектрофлуориметра CaryEclipse (Varian, США).

При измерении биолуминесценции в конструкции LSSmScarlet-ML явного второго пика, соответствующего максимуму флуоресценции белка LSSmScarlet не наблюдалось (рис.2).

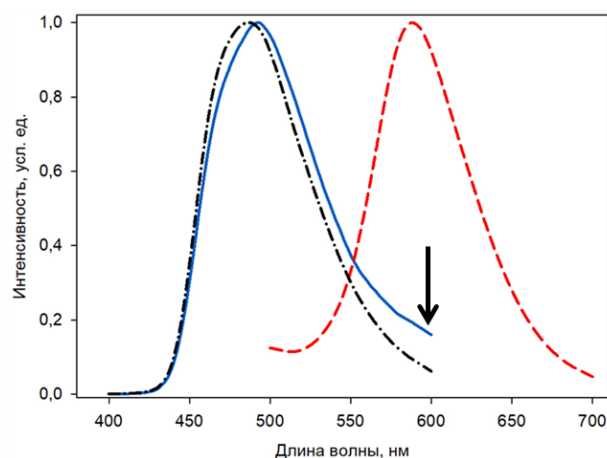


Рисунок 2. Спектры биолюминесценции конструкции LSSmScarlet-ML (сплошная линия) и флуоресценции LSSmScarlet (пунктирная линия), биолюминесценция люциферазы (штрихпунктирная линия). Стрелкой показано переизлучение

Тем не менее видно отклонение спектра биолюминесценции гибрида от спектра биолюминесценции люциферазы, что свидетельствует о наличии некоторого процента переизлучения.

При измерении биолюминесценции конструкции LSSmScarlet-RmL на препарате очищенного белка (рис. 3) присутствовал второй пик, максимум которого соответствует максимуму излучения красного флуоресцентного белка LSSmScarlet (598 нм). Переизлучение в данном гибриде присутствует и составляет порядка 40% от исходной интенсивности свечения красного флуоресцентного белка (линия штрих-двойной пунктир на рисунке).

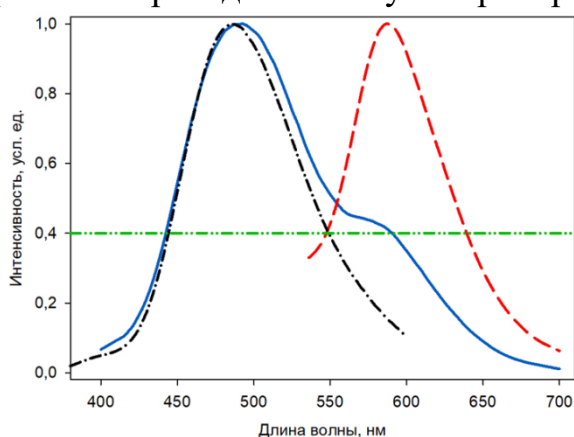


Рисунок 3. Спектры биолюминесценции конструкции LSSmScarlet-RmL (сплошная линия) и флуоресценции LSSmScarlet (пунктирная линия). Биолюминесценция люциферазы (штрихпунктирная линия). Линией штрих-двойной пунктир показан приблизительный уровень переизлучения

Таким образом, полученный уровень переизлучения в конструкции LSSmScarlet-RmL составляет около 40 %, что позволяет ожидать успешного применения данной конструкции в качестве BRET-репортера для различных аналитических приложений.

Список литературы

1. Франк Л. А., Красицкая В. В. Целентеразин-зависимые люциферазы: свойства и применение в молекулярном анализе // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2024. Т. 65. № 3. С. 245–254.
2. Subach O. M. et al. LSSmScarlet, dCyRFP2s, dCyOFP2s and CRISPRed2s, genetically encoded red fluorescent proteins with a large Stokes shift // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Т. 22. №. 23. С. 12887.

3. Weihs F. et al. Experimental determination of the bioluminescence resonance energy transfer (BRET) Förster distances of NanoBRET and red-shifted BRET pairs // *Analytica chimica acta*: X. 2020. Т. 6. С. 100059

УДК 579.6:504.062

РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАММА *CUPRIAVIDUS NECATOR* В-10646 НА РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ СУБСТРАТАХ

Н. Д. Ипатова¹

Научный руководитель Т. Г. Волова^{1,2}
Доктор биологических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

В последние десятилетия увеличение экологической осознанности и стремление к устойчивому развитию стало приоритетным во многих областях. Решение проблемы пластикового мусора, наряду с технологиями его повторного использования, связывают с постепенным переходом на разрушаемые полимерные материалы нового поколения. Значимое место среди разрушаемых биопластиков принадлежит полимерам микробиологического происхождения полигидроксиалканоатам (ПГА), которые перспективны для широкого применения [1]. Привлекательность ПГА усиливается возможностью привлечения для их биосинтеза отходов техносферы различного происхождения [2]. Использование в биотехнологических процессах отходов — это не только путь снижения объемов их накопления в биосфере, но и повышение эффективности использования сырьевых ресурсов в целом.

Отмечается растущая тенденция в поиске дешёвого углеродного сырья, особенно отходов для синтеза ПГА. Одним из перспективных субстратов для крупномасштабного производства ПГА является глицерин. Глицерин является побочным продуктом, составляя около 10%, при производстве биодизеля методом переэтерификации животных и растительных жиров и масел (рапсового, горчичного, соевого, пальмового) [3].

Жиросодержащие отходы рыбоперерабатывающей отрасли — это потенциально новый источник углеродного сырья, который может стать крупнотоннажным и возобновляемым субстратом для процессов биотехнологии, включая производство ПГА [4].

Цель работы - исследование ростовых характеристик штамма *Cupriavidus necator* В-10646 на различных углеродных субстратах.

Культивирование штамма *C. necator* В-10646 проводили с использованием минеральной солевой среды Шлегеля в ферментёре. В качестве углеродного субстрата использовали: глюкозу, глицерин и жировые отходы рыбопереработки (копченые головы балтийской кильки (*Sprattus balticus*)). Процесс биосинтеза на данных субстратах описан в работах [5,6,7]. Урожай биомассы бактерий оценивали объёмно-весовым методом. Внутриклеточное содержание ПГА определяли на хромато-масс-спектрометре Agilent Technologies 7890A (США).

Все исследованные углеродные субстраты показали высокие ростовые характеристики продуцента и накопление ПГА в клетках. В результате были достигнуты следующие показатели продуктивности синтеза, представленные на рисунке.

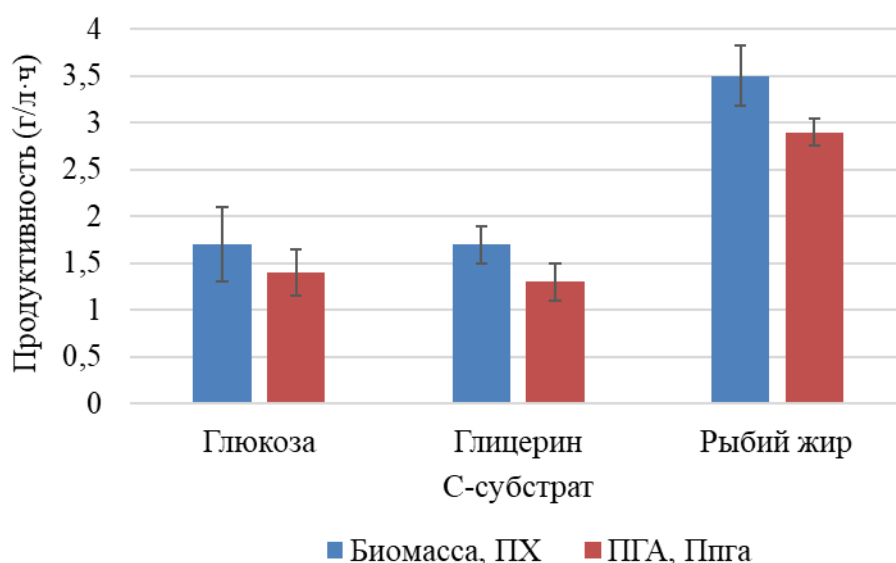


Рисунок 1. Продукционные показатели культуры *C. necator* В-10646 при использовании различных углеродных субстратов.

Продуктивность штамма бактерий *C. necator* В-10646, используя в качестве углеродного субстрата глюкозу, составила по биомассе клеток и полимера 1,7 и 1,4 г/л·ч соответственно.

Показатели продуктивности исследуемого штамма, используя в качестве углеродного субстрата глицерин, сопоставимы с показателями продуктивности на глюкозе и составили по биомассе 1,7 г/л·ч, по ПГА 1,3 г/л·ч.

Показатели продуктивности исследуемого штамма, используя в качестве углеродного субстрата жировые отходы рыбопереработки, составили по биомассе 2,7 г/л·ч, по ПГА 2,2 г/л·ч.

Достоверно более высокие продукционные показатели исследуемый штамм *C. necator* В-10646 демонстрирует при использовании в качестве углеродного субстрата отходы рыбопереработки.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (Проект № 23-64-10007).

Список литературы

1. Palmeiro-Sánchez T., O'Flaherty V., Lens P. N. Polyhydroxyalkanoate bio-production and its rise as biomaterial of the future // *Journal of Biotechnology*. 2022. Vol. 348. P. 10–25.
2. Choi S. Y., Lee Y., Yu H. E., Cho I. J., Kang M., Lee S. Y. Sustainable production and degradation of plastics using microbes // *Nature Microbiology*. 2023. Vol. 8. P. 2253–2276.
3. Posada J. A., Naranjo J. M., Lypez J. A., Higueta J. C., Cardona C. A., Design and analysis of poly-3-hydroxybutyrate production processes from crude glycerol // *Process Biochemistry*. 2011. Vol. 46. P. 310–317.
4. Thuoc D. V., Anh V. T. M. Bioconversion of crude fish oil into poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia* sp. M91 // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021. Vol. 57. P. 219–225.
5. Kiselev E.G., Demidenko A.V., Baranovskiy S. V., Volova T. G. Scaling of Biodegradable Polyhydroxyalkanoates Synthesis Technology in Pilot Production Conditions // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2014 Vol. 7. P. 134-147.
6. Volova T., Demidenko A., Kiselev E. et al. Polyhydroxyalkanoate synthesis based on glycerol and implementation of the process under conditions of pilot production // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 103. P. 225–237.
7. Kiselev E. G., Demidenko A. V., Zhila, N. O. et al. Waste Fish Oil is a Promising Substrate for Productive Synthesis of Degradable Polyhydroxyalkanoates // *Journal of Polymers and the Environment*. 2025. Vol. 33. P. 1022–1034.

УДК 57.03:57.013

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МУТАНТОВ РЕКОМБИНАНТНОГО ФОТОПРОТЕИНА ОБЕЛИНА С ЗАМЕНОЙ КОНСЕРВАТИВНОГО ГИСТИДИНА НА АСПАРАГИН И ИЗОЛЕЙЦИН

П. А. Ковалева¹

Научный руководитель Е. В. Еремеева^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Явление биolumинесценции – свечения живых организмов – широко распространено в природе. Способностью к свечению обладают некоторые бактерии, грибы, простейшие, моллюски, насекомые и другие. [1]

Биolumинесцентные реакции могут протекать по люциферазному или фотопротеиновому типу. Реакция фотопротеинового типа присуща, например, белку обелину, выделенному из гидроидной медузы *Obelia longissima*. Обелин связывается с субстратом, в качестве которого выступает целентеразин, и образует с ним устойчивый комплекс. Обелин является Ca^{2+} -регулируемым фотопротеином, поэтому для инициации биolumинесцентной реакции также необходимы ионы Ca^{2+} . После связывания кальция в структуре белка происходят конформационные изменения, в результате которых 2-гидропероксицелентеразин, предокисленная форма субстрата, дестабилизируется и распадается с образованием диоксиэтанона. Это соединение крайне нестабильно, поэтому оно мгновенно распадается на CO_2 и целентерамид в возбужденном состоянии, который является эмиттером. При переходе эмиттера в основное состояние излучается квант света. [2]

Эмиттер может существовать в разных формах. Фенолят-анион целентерамида – депротонированная форма эмиттера, благодаря которой обелин излучает голубой свет. Однако, согласно теоретическим расчетам, в зависимости от расстояния протона от молекулы продукта длина волны излучения может изменяться. Так, в случае образования нейтрального целентерамида, протонированной формы, излучается фиолетовый свет. По данным структурного анализа акцептором этого протона может выступать His-22.

Для проверки данной гипотезы методом сайт-направленного мутагенеза были получены мутанты обелина OL-H22N и OL-H22I с заменой His22 на аспарагин и изолейцин. Экспрессия целевых белков проводилась в клетках *E. coli*. После выделения и очистки обелина дикого типа и его мутантов были измерены спектры биolumинесценции данных белков и параметры их биolumинесцентной активности.

В результате анализа полученных данных было выяснено, что мутанты активируются гораздо медленнее, чем обелин дикого типа, и, кроме того, обладают сравнительно низкой биолюминесцентной активностью. Что касается спектральных характеристик, то в случае OL-H22N наблюдалось смещение максимума биолюминесценции в коротковолновую область спектра. Максимум биолюминесценции OL-H22I не изменился относительно дикого типа обелина, однако значительно увеличилось дополнительное плечо в области 390 нм.

Таким образом, было показано, что His22 играет значительную роль в образовании фенолят-аниона целентерамида, акцептируя протон, а также влияет на скорость образования активного фотопротеинового комплекса. Замена His22 на другие аминокислоты увеличивает долю нейтрального эмиттера и снижает эффективность биолюминесцентной реакции.

Список литературы

1. Маркова С. В., Высоцкий Е. С. Целентеразин-зависимые люциферазы (обзор) //Биохимия. – 2015. – Т. 80. – №. 6. – С. 845-866.
2. Высоцкий Е. С., Маркова С. В., Франк Л. А. Кальций-регулируемые фотопротеины морских кишечнораотовых //Молекулярная биология. – 2006. – Т. 40. – №. 3. – С. 404-317

УДК 574:581.9:579.2

СИНТЕЗ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ БАКТЕРИЯМИ CUPRIAVIDUS NECATOR В-10646, КУЛЬТИВИРУЕМЫХ НА ОТРАБОТАННОМ ФРИТЮРНОМ МАСЛЕ

Д. А. Колесник¹

Научный руководитель Н. О. Жила^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Одной из ключевых проблем современности, затрагивающей как человечество, так и природу, является экологическая ситуация. Для её улучшения проводятся исследования, направленные на получение новых материалов, рассматриваемых как альтернативу пластмассам. Одними из таких полимеров являются полиэфиры гидроксиспиртовых кислот - полигидроксиспиртаноаты (ПГА). Для легкодоступности и дальнейшей масштабности производства ПГА, необходимо использовать дешевые углеродные субстраты. К ним можно отнести отходы рыбной промышленности,

отходы пищевых производств, а также отработанное фритюрное масло (ОФМ). Среднегодовой объем отработанного масла в РФ держится на уровне 771000 тонн. В Великобритании и странах ЕС ежегодный объем производства ОФМ достигает около 200000 и 700000-1000000 тонн соответственно [1-5]. В связи с этим целью данной работы было исследование возможности природного штамма *Cupriavidus necator* B-10646 использовать отработанное фритюрное масло в качестве единственного источника углерода для роста и синтеза ПГА.

В работе использованы три образца отработанного фритюрного масла, предоставленного предприятиями общественного питания г. Красноярска (2 образца из ресторана 0,75 please, полученного в разное время - 15 июля и 15 ноября 2024, и один образец из кафе корейской кухни Kannam Chicken (соответственно, далее образцы масла будут приведены как масло 1, масло 2, масло 3). Культивирование бактерий проводили на термостатируемом шейкере-инкубаторе при температуре 30 °C в колбах объемом 0,5 л.

В исследуемых отработанных фритюрных маслах липиды были доминирующей фракцией, составляющей 85,38-88,92% (Таблица 1). Доля углеводов и белка составляла, соответственно, 3,35-5,71 и 1,29-1,80%.

Таблица 1

Химический состав отработанных фритюрных масел (% от веса масла)

Масло	Липиды	Углеводы	Белок
Масло 1	88,92	5,71	1,29
Масло 2	85,38	4,53	1,49
Масло 3	85,37	3,35	1,80

Жирнокислотный состав масел приведен в Таблице 2. Основными жирными кислотами (ЖК) во всех маслах были насыщенная пальмитиновая кислота, моноеновая олеиновая и диеновая линолевая кислоты. Следует отметить, что суммарное содержание транс-кислот в исследованных маслах составляло 0,5-1,0 % от суммы всех жирных кислот. Высокое содержание ненасыщенных жирных кислот в маслах отразилось на соотношении суммы насыщенных к ненасыщенным, которое составляло 0,27-0,28 для масел 1 и 2. Для масла 3 это соотношение составляло 0,17, главным образом за счет более высокого содержания линолевой кислоты в образце.

Таблица 2

Жирнокислотный состав отработанных фритюрных масел

Жирная кислота	Масло 1	Масло 2	Масло 3
C14:0	0,36	0,41	0,19
C16:0	20,02	18,59	12,79

C18:1n-9	34,90	36,52	31,51
C18:2n-6	42,18	40,51	51,92
C20:1n-9	0,23	0,54	0,30
C20:0	0,25	0,51	0,32
C22:0	0,57	1,00	0,62
C24:0	0,33	0,68	0,51
Другие	1,18	1,25	1,83
Σнасыщенных ЖК/ Σненасыщ.	0,28	0,27	0,17

Исследован рост природного штамма *Cupriavidus necator* B-10646 и накопление полимера при выращивании бактерий на отработанном фритюрном масле, содержащихся в культуральной среде в различной концентрации (Рисунок). Установлено, что при использовании фритюрного масла 1 и 3 наилучшие показатели биомассы (3.3-3.7 г/л) и полимера (52.2-60.4% от веса сухой биомассы) получены при концентрации масла 20 г/л. На масле 2 урожай биомассы был значительно ниже – максимум 1.9 г/л при концентрации масла 15 г/л. Содержание полимера составляло 50% (от веса сухой биомассы).

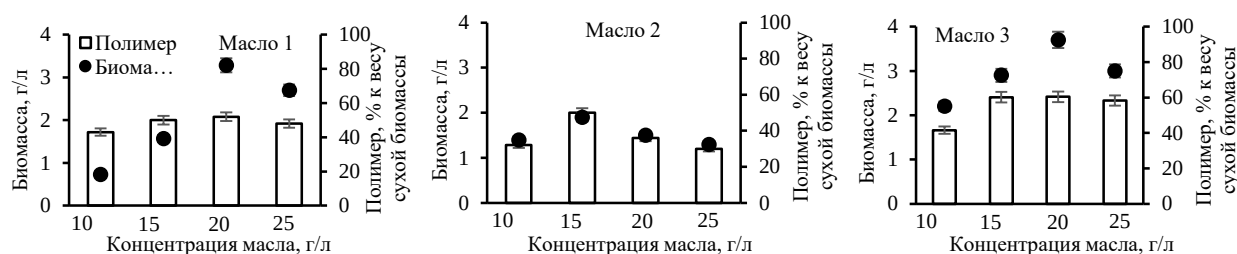


Рисунок. Урожай биомассы и содержание полимера в клетках бактерий *Cupriavidus necator* B-10646 в конце культивирования (48 ч) при использовании различных концентраций отработанного фритюрного масла

Таким образом, в ходе проведенных исследований показано, что отработанное фритюрное масло может быть использовано в качестве единственного источника углерода, что позволит снизить производственные затраты и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду, благодаря переработке таких отходов.

Список литературы

1. Follonier S., Goyder M.S., Silvestri A.C., Crelier S., Kalman F., Riesen R., Zinn M. Fruit pomace and waste frying oil as sustainable resources for the bioproduction of medium-chain-length polyhydroxyalkanoates // International Journal

of Biological Macromolecules. 2014. V. 71. P. 42-52.

2. Pernicova I., Kucera D., Nebesarova J., Kalina M., Novackovaa I., Koller M., Obruca S. Production of polyhydroxyalkanoates on waste frying oil employing selected Halomonas // Bioresource Technology. 2019. V. 292. 122028

3. Sangkharak K., Khaithongkao P., Chuaikhunupakarn T., Choonut A., Praserts P. The production of polyhydroxyalkanoate from waste cooking oil and its application in biofuel production // Springer Nature. 2020. V. 11. P. 1651-1664.

4. Ruiz C., Kenny S.T., Narancic T., Babu R., Connor K.O. Conversion of waste cooking oil into medium chain polyhydroxyalkanoates in a high cell density fermentation // J Biotechnol. 2019. V. 306. P. 9-15.

5. Ghosh S., Tripathi A.D., Nandan A., Agarwal A., Paul V., Hooda A., Rai H. Valorization of waste cooking oil (WCO) for production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) copolymers using Bacillus megaterium MTCC 428 and characterization by untargeted metabolomics // Biomass Conversion and Biorefinery. 2025.

УДК 577

ДЛИНА ПОЛИПЕПТИДНОЙ ЦЕПИ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ В РАЦИОНАЛЬНОМ ДИЗАЙНЕ ХИМЕРНЫХ ФОТОПРОТЕИНОВ

О. В. Коновалова¹

Научный руководитель Л. П. Буракова^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Биолюминесценция, как способность живых организмов излучать свет в видимом спектре, широко распространена в природе, но наиболее часто встречается в морских экосистемах. За свечение гидромедуз отвечают целентеразин-зависимые Ca^{2+} -регулируемые фотопротеины, образующие устойчивый фермент-субстратный комплекс.

Эти белки представляют собой компактную глобулу из двух доменов, в каждом из которых содержится два EF-hand мотива. Но только три из них (I, III, IV) функциональны и отвечают за связывание двухвалентных ионов металлов. Связывание ионов кальция приводит к изменению конформации белка и окислению субстрата с образованием целентерамида в возбужденном состоянии. При его переходе в основное состояние высвобождается энергия в виде квантов света.

К настоящему времени клонирован и получен в рекомбинантном виде ряд фотопротеинов гидромедуз, в том числе акворин из *Aequorea victoria* и

митрокомин из *Mitrocoma cellularia*. Идентичность аминокислотных последовательностей акворина и митрокомина составляет около 68%. При этом они имеют некоторые отличия в свойствах, такие, как биолюминесцентная активность, стабильность и чувствительность к ионам кальция [1].

Благодаря такой вариативности фотопротеинам уделяют особое внимание как к маркерным молекулам, в том числе как индикаторам кальция. Они могут быть использованы в качестве репортерных белков для отслеживания динамики кальция *in vivo* в различных типах клеток и их компартментах, а также, для выявления инфекционных агентов. Так, на примере белка "Photina", в котором участок II EF-hand обелина был заменён на аналогичный участок клитина, была показана возможность создания химерных фотопротеинов с характеристиками, отличающимися от белков дикого типа [2].

Существуют основания полагать, что в рациональном дизайне фотопротеинов большое влияние на фолдинг и функции белка оказывает длина аминокислотной цепи. Так изменение длин N- и C-концевых участков может приводить к нарушению замыкания субстрат-связывающей полости и снижению стабильности фотопротеинового комплекса, что было показано в работах на акворине и обелине [3, 4]. Однако удаление C-концевого остатка Тур в митрокомине увеличивает его биолюминесцентную активность [5]. При этом обычно модификация N-концевого участка белка менее критична, чем C-концевого. Например, укорочение N-конца акворина на 6 аминокислотных остатков никак не влияет на его биолюминесцентную активность [6]. Однако не найдено ни одной работы, описывающей влияние изменения длины аминокислотной цепи в центральной ее части на функцию фотопротеинов.

Целью работы являлось оптимизация двух ранее созданных генноинженерных конструкций химерных белков на основе акворина и митрокомина для повышения биолюминесцентной активности и стабильности кодируемых ими химерных белков.

В предыдущих экспериментах были получены два варианта экспрессионных конструкций в векторе pET22b, содержащих гены акворина с заменой II EF-hand на таковой митрокомина (AVI-MCII-AVII-IV) и с обратной заменой (MCI-AVII-MCIII-IV), а также созданы штаммы-продуценты химерных белков на основе штамма *E. coli*. Анализ свойств этих белков показал низкую способность образования фотопротеинового комплекса. Длина полипептидных цепей этих белков отличалась от таковых фотопротеинов дикого типа, что, по нашему предположению, оказалось основной причиной их дисфункциональности (рисунок). В данной работе с помощью сайт-направленного мутагенеза было проведено восстановление длин генов химерных белков в соответствии с длинами фотопротеинов дикого типа, получены высокоочищенные фотопротеиновые комплексы, проанализированы биолюминесцентные и спектральные свойства белков.

	76	86	96	106
AVI_MCII_AVIII_IVcorr	QKCV	EDFFGGAGLE	YDKDTWPEYI	EGWKR---LASEELK
AVI_MCII_AVIII_IV	QKCV	EDFFGGAGLE	YDKDTWPEYI	EGWKRRLAKLASEELK
AV7	KDAVE	AF FGGAGMKY	GVET EWPEYI	EGWKR---LASEELK
MCI_AVII_MCIII_IVcorr	KDAVE	AF FGGAGMKY	GVET EWPEYI	EGWKK---LAKTELE
MCI_AVII_MCIII_IV	KDAVE	AF FGGAGMKY	GVET EWPEYI	EGWKK---L---ELE
MC2	QKCV	EDFFGGAGLE	YDKDTWPEYI	EGWKR---LAKTELE

Рисунок. Сравнение аминокислотных последовательностей мутированных, химерных и диких фотопротеинов. Локализация изменения длины цепи показана голубым.

Длина полипептидной цепи MCI-AVII-MCIII-IV изначально получилась короче на три аминокислоты в области конца II EF-hand, что привело к практически полной неспособности связывать целентеразин. В результате коррекции выход активного белка после инкубации с целентеразином составил 6,5%, а биолуминесцентная активность была всего около 0,65% от таковой митрокомина дикого типа. В данном случае достаточно низкие показатели этих величин обусловлены уже не длиной полипептидной цепи, а изменениями, к которым привела замена II EF-hand в митрокоmine, даже несмотря на то, что ключевые аминокислотные остатки не были затронуты.

Коррекция же длины последовательности AVI-MCII-AVII-IV, заключающаяся в ее укорочении на 3 аминокислотных остатка, привела к увеличению: выхода активного белка с 4% до 100%, а удельной активности – с 1,6% до 53% от таковой акворина дикого типа. При этом также увеличилась термостабильность белка при 37°C. Следует также отметить значительное замедление кинетики биолуминесцентной реакции, что, вероятно, связано именно с перестановкой II EF-hand. Все вышеперечисленное делает AVI-MCII-AVII-IV также и перспективным аналитическим инструментом.

Таким образом, мы показали, что изменение длины полипептидной цепи в центральной ее части является критичным для фолдинга, стабильности и функции фотопротеинов.

Список литературы

1. Malikova N.P. et al. Characterization of hydromedusan Ca²⁺-regulated photoproteins as a tool for measurement of Ca²⁺ concentration // Analytical and bioanalytical chemistry. 2014. Vol. 406. P. 5715-5726.
2. Bovolenta S. et al. Development of a Ca²⁺-activated photoprotein, Photina®, and its application to High-Throughput Screening // J Biomol Screen. 2007. Vol. 12. P. 694-704.
3. Nomura M. et al. A C-terminal proline is required for bioluminescence of the Ca(2+)-binding photoprotein, aequorin // FEBS Lett. 1991. Vol. 295. P. 63-66.

4. Ereemeeva E.V. et al. Hydrogen-bond networks between the C-terminus and Arg from the first α -helix stabilize photoprotein molecules // Photochem Photobiol Sci. 2014. Vol. 13. P. 541-547.

5. Burakova L. P. et al. Mitrocomin from the jellyfish *Mitrocoma cellularia* with deleted C-terminal tyrosine reveals a higher bioluminescence activity compared to wild type photoprotein // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2016. Vol. 162. P. 286-297.

6. Malikova N. P. et al. Specific activities of hydromedusan Ca^{2+} -regulated photoproteins // Photochemistry and Photobiology. 2022. Vol. 98. P. 276-284.

УДК 579.222.3:579.66

ОТХОДЫ РЫБОПЕРЕРАБОТКИ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ СУБСТРАТ ДЛЯ БИОСИНТЕЗА ПОЛИ(3-ГИДРОКСИБУТИРАТ-СО-4-ГИДРОКСИБУТИРАТА)

К. Ю. Сапожникова¹

Научный руководитель Н. О. Жила^{1,2}
Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Полигидроксиалканоаты (ПГА) – это нетоксичные, биосовместимые, биоразлагаемые термопласты, которые могут быть получены из возобновляемых ресурсов. Они обладают высокой степенью полимеризации, являются оптически активными, изотактическими и нерастворимыми в воде биополимерами [1]. Благодаря полностью биотехнологическому процессу синтеза и огромному спектру применения в различных отраслях – от расходных материалов до медицинской сферы, а также возможности производства на биоперерабатывающих заводах в рамках интегрированных биопроцессов эти материалы стали конкурентоспособной альтернативой нефтехимическим пластикам [2]. Широкая вариабельность мономерного состава ПГА открывает большие перспективы, поскольку, управляя составом сополимеров и соотношением мономеров в них, можно получить полимерные материалы с заданными свойствами [1-3].

Наиболее известным и получаемым в промышленных масштабах является гомополимер поли(3-гидроксибутират) (П(ЗГБ)), характеризующийся высокой степенью кристалличности (порядка 70 %), хрупкостью и малым разрывом между температурой плавления и деградации (менее 100 °С), что затрудняет его

переработку в изделия [4]. Возможность получения сополимеров, включающих такие мономеры, как, например, 4-гидроксibuтират (П(3ГБ-со-4ГБ)), улучшает физико-химические свойства ПГА и расширяет сферы их применения [4-5].

Сдерживающим фактором на пути успешной коммерциализации ПГА является высокая стоимость их производства. В первую очередь она определяется углеродным субстратом, затраты на который могут составлять до 50 % от общих расходов в случае использования сахаров, в частности глюкозы [6]. Ключевой момент для наращивания объемов выпуска и расширения сфер применения ПГА – это снижение их стоимости за счет привлечения доступного углеродного сырья [7]. В качестве перспективных источников углерода для получения ПГА различного состава рассматриваются дешевые жировые отходы рыбоперерабатывающей отрасли. Это актуально в виду больших объемов такого типа отходов и сложностями, связанными с их утилизацией [8].

Цель настоящей работы заключается в оценке возможности привлечения жировых отходов рыбопереработки в качестве источника углерода для синтеза сополимеров П(3ГБ-со-4ГБ).

В культуре высокопродуктивного природного штамма *Cupriavidus necator* В-10646 исследованы закономерности синтеза сополимерных ПГА, содержащих в своем составе мономеры 4-гидроксibuтирата (4ГБ). В качестве основного источника углерода был использован отход рыбопереработки – жир, полученный из голов копченой балтийской кильки (*Sprattus sprattus*), в качестве прекурсора мономеров 4ГБ – ϵ -капролактон, вносимый дробно в различных концентрациях. В контрольных экспериментах использовали масляную кислоту как основной углеродный субстрат (Рисунок).

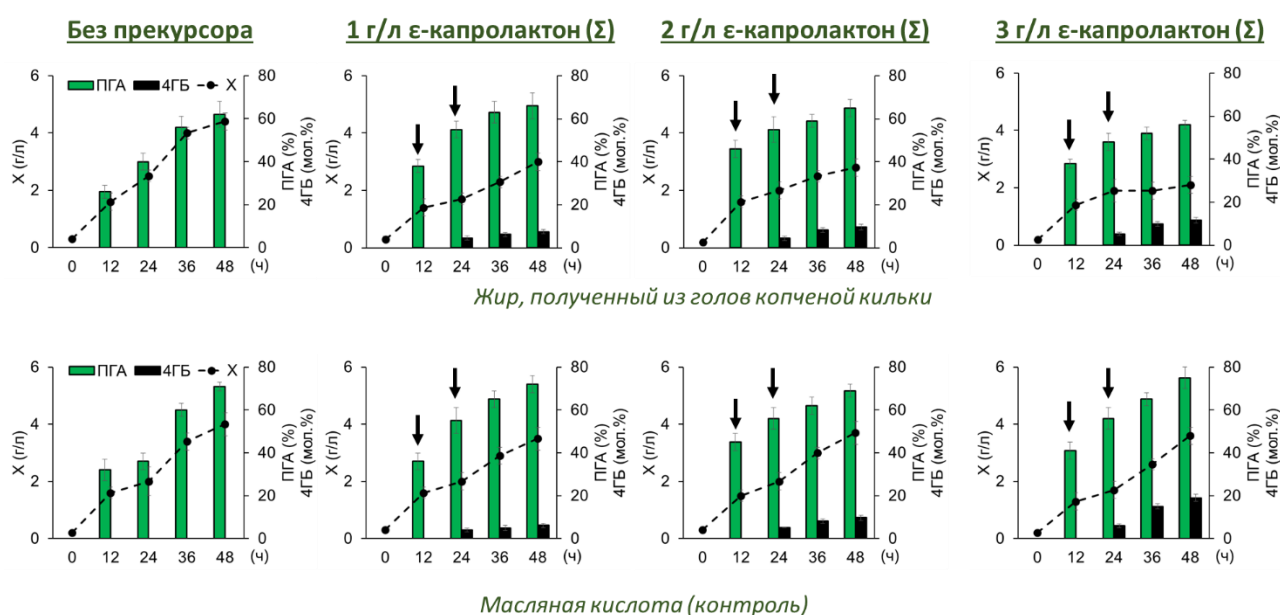


Рисунок 1. Концентрация биомассы бактерий *C. necator* В-10646, содержание и состав ПГА при использовании жира, полученного из голов копченой кильки, в качестве основного источника углерода и масляной кислоты в качестве контроля (стрелками указано время подачи ϵ -капролактона в культуру бактерий)

С повышением концентрации прекурсора наблюдалось снижение урожая биомассы и содержания ПГА: с 4,2 до 2,1 г/л и с 62 до 56 % соответственно; в контроле на масляной кислоте ингибирующий эффект был менее выраженным. Показано, что при использовании жира, полученного из голов копченой кильки, с повышением суммарной концентрации прекурсора в среде доля 4ГБ в составе сополимера увеличивалась с 7,4 до 11,6 мол.%. При анализе физико-химических свойств, выявлено снижение средневесовой (M_w) молекулярной массы (с 593 до 330 кДа) и температуры плавления ($T_{\text{плав}}$) (с 167 до 156 °С) полученных сополимеров. Наиболее значительно снижалась степень кристалличности синтезированных образцов: до 48-57 % по сравнению с аналогичным показателем П(3ГБ), составляющим 74 %.

Таким образом, в настоящем исследовании показана возможность использования жира, полученного из голов копченой кильки (отход рыбопереработки), для синтеза сополимеров П(3ГБ-со-4ГБ) с содержанием мономеров 4ГБ от 7,4 до 11,6 мол.%, демонстрирующих сниженные показатели степени кристалличности (до 48 %), что оказывает положительное влияние на их свойства и облегчает переработку в изделия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 23-64-10007.

Список литературы

1. Awasthi S. K. [et al.]. A comprehensive review on recent advancements in biodegradation and sustainable management of biopolymers // *Environ. Pollut.* 2022. Vol. 307. P. 119600.
2. Chen G. Q. [et al.]. Polyhydroxyalkanoates (PHA) toward cost competitiveness and functionality // *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.* 2020. Vol. 3. P. 1-7.
3. Tan D. [et al.]. Grand Challenges for industrializing polyhydroxyalkanoates (PHAs) // *Trends Biotechnol.* 2021. Vol. 39. P. 953-963.
4. Steinbüchel A., Valentin H. E. Diversity of bacterial polyhydroxyalkanoic acids // *FEMS Microbiol. Lett.* 1995. Vol. 128. P. 219-228.
5. Costa P. [et al.]. Copolymers as a turning point for large scale polyhydroxyalkanoates applications // *Int. J. Biol. Macromol.* 2024. Vol. 275. P. 133575.
6. Koller M. The handbook of polyhydroxyalkanoates, three volume set // CRC Press. 2020. P. 1194-1215.
7. Sathya A. B. [et al.]. Production of polyhydroxyalkanoates from renewable sources using bacteria // *J. Polym. Environ.* 2018. Vol. 26. P. 3995-4012.

8. Alfio V. G. [et al.]. From fish waste to value: an overview of the sustainable recovery of omega-3 for food supplements // Molecules. 2021. Vol. 26. P. 1002.

УДК 579.6

ВЫДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ, СИНТЕЗИРУЮЩИХ ЭКЗОПОЛИСАХАРИД КСАНТАН

Е. П. Соснова¹

Научный руководитель С. В. Прудникова¹

Доктор биологических наук

¹*Сибирский федеральный университет*

Экзополисахариды (ЭПС), синтезируемые бактериями, являются ценными экологически чистыми биodeградируемыми продуктами, которые находят широкое применение в разных областях пищевой, текстильной, нефтедобывающей промышленности, медицины, косметологии и др. [1]. Ксантан, или ксантановая камедь, относится к одним из самых ранних известных ЭПС, открытых еще в 1950-х годах [2]. При растворении в воде ксантан образует высоковязкие растворы и гидрофильные коллоиды при низких концентрациях (0,06-0,2 %). Растворы ксантана нетоксичны, устойчивы к изменениям температуры, pH, солености; применяются в качестве загустителей, эмульгаторов, стабилизаторов для улучшения качества продуктов [3]. Бактерии, продуцирующие ксантан – это грамотрицательные палочки из рода *Xanthomonas*, которые повсеместно распространены и могут вызывать болезни растений, например, капусты, риса, земляники и т.д. Помимо ксантана бактерии также продуцируют специфические пигменты – ксантомонадины, которые придают колониям желтый цвет [1]. Спрос на ксантан постоянно растет, поэтому поиск новых высокопродуктивных штаммов, способных использовать широкий спектр углеводных субстратов, является перспективным направлением.

Целью работы являлось выделение новых штаммов бактерий рода *Xanthomonas* и оценка их способности к образованию ксантана на среде с разными источниками углерода – глюкозе и сахарозе.

Бактерии выделяли из листьев капусты белокочанной (*Brassica oleracea*) с признаками заболевания. Фрагменты листьев растирали асептически и полученную массу вносили в пробирки со стерильной водой. Полученную суспензию высевали на питательную среду (г/л): сахароза – 20, дрожжевой экстракт – 5, пептон – 10, агар – 20. В течение 5-7 суток чашки инкубировали при 30 °C и затем выделяли изолированные колонии с характерными признаками – слизистые выпуклые колонии, окрашенные в желтый цвет (рис. 1). Полученные изоляты культивировали в колбах в 100 мл жидкой среды, содержащей сахарозу

или глюкозу, на шейкере при 30 °С и 200 об./мин. В течение 3-х суток. Ксантан экстрагировали этанолом и высушивали в сушильном шкафу до постоянного веса.

В ходе работы было выделено 9 изолятов бактерий, продуцирующих экзополисахарид ксантан. Исследование влияния источника углерода на продукцию ксантана показало, что количество ЭПС, образующегося на среде с глюкозой и сахарозой отличалось у разных изолятов (рис. 2). Так, максимальное количество ксантана на среде с глюкозой синтезировал изолят *Xanthomonas* sp. X-3 ($12,3 \pm 0,7$ мг/мл), а на среде с сахарозой – изоляты *Xanthomonas* sp. X-8 и X-9 ($14,5 \pm 1,5$ и $13,9 \pm 0,6$ мг/мл, соответственно).



Рисунок 1. Колонии бактерий среде

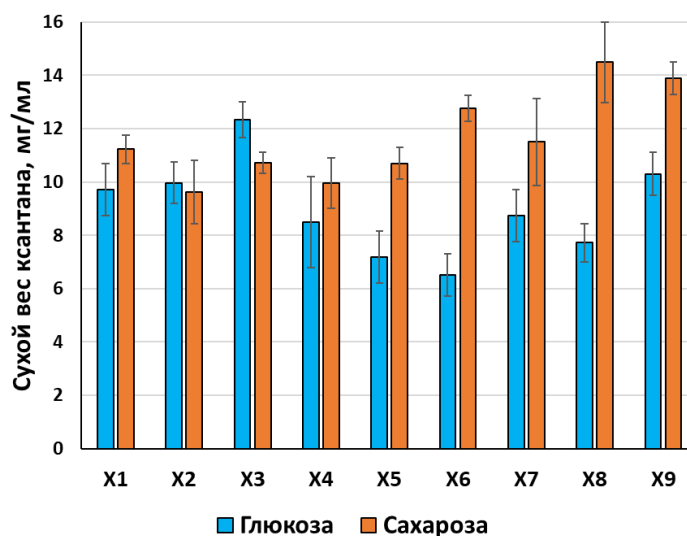


Рисунок 2. Синтез ксантана бактериями *Xanthomonas* sp. при культивировании на среде с разными источниками углерода

Также было показано, что для изолятов *Xanthomonas* sp. X-1, X-2, X-3 и X-4 количество синтезируемого ксантана не зависело от типа источника углерода. В то же время для остальных изолятов более эффективным субстратом для синтеза была сахароза.

Таким образом, полученные изоляты обладают разной биосинтетической активностью и могут быть использованы для синтеза ксантана на средах с разными источниками углерода.

Список литературы

1. Netrusov A. I., Liyaskina E. V., Kurgaeva I. V., et al. Exopolysaccharides producing bacteria: a review // *Microorganisms*. 2023. V. 11. P. 1541.
2. Margaritis A., Zajic J. E. Biotechnology review: mixing mass transfer and scale-up of polysaccharide fermentations // *Biotechnology and Bioengineering*. 1978. V. 20. P. 939-1001.

3. de Souza E. R., Rodrigues P. D., Sampaio I. C., et al. Xanthan gum produced by *Xanthomonas campestris* using produced water and crude glycerin as an environmentally friendlier agent to enhance oil recovery // Fuel. 2022. V. 310. P. 122421.

УДК 504.064.3:577.4:622.276

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДАЦИИ СОРБЕНТОВ ЛИНИИ УНИСОРБИ ОБЩЕЙ ЧИСЛЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИЙ В УСЛОВИЯХ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

К. А. Туркин¹

Научный руководитель С. В. Прудникова
Доктор биологических наук, доцент

Сибирский федеральный университет

Исследования, связанные с процессами биоремедиации нефтезагрязнённых почв, остаются актуальны в настоящее время. Добыча и переработка нефти по-прежнему являются основными источниками загрязнения окружающей среды. В частности, причиной этому становятся техногенные аварии (утечки, разливы), происходящие на промышленных объектах [1]. Согласно ежегоднику «Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году» [1], массовые доли нефтепродуктов в почвах обследованных населённых пунктов находятся в диапазоне от 100 до 500 мг/кг, что соответствует уровням фона или повышенного фона. При этом в каждом регионе были выявлены территории с умеренным уровнем загрязнения.

Согласно исследованиям [2-3], перспективным методом ремедиации загрязнённых нефтепродуктами почв являются синтетические сорбенты, которые показывают более высокую эффективность в сравнении с сорбентами на основе растительного сырья.

Известно, что ключевую роль в деградации углеводородов нефти и восстановлении почв играют микроорганизмы [4], поэтому при оценке целесообразности и эффективности применения сорбентов с различным составом важно комплексно изучить их влияние на микробные экосистемы.

В связи с этим в работе была поставлена цель – оценить взаимосвязь общей численности бактерий и скорости деградации сорбентов двух разных видов – «Унисорб» и «Унисорб-Био» в нефтезагрязнённых почвах. В качестве контроля использовалась почва, свободная от нефтепродуктов.

Для оценки общей численности микроорганизмов использовался метод высева разведений почвенных образцов на мясопептонный агар (Nutrient Agar, HiMedia). Оценка процесса биodeградации сорбента (в %) проводилась путём определения убыли массы образцов в динамике. Отбор проб производился на протяжении 22 недель. Работа выполнена в рамках реализации программы развития «Приоритет-2030».

Через 4 недели экспозиции сорбентов в почве максимальная численность бактерий наблюдалась в нефтезагрязнённой почве с внесённым сорбентом «Унисорб», составив более 110 млн. КОЕ/г почвы (рис. 1).

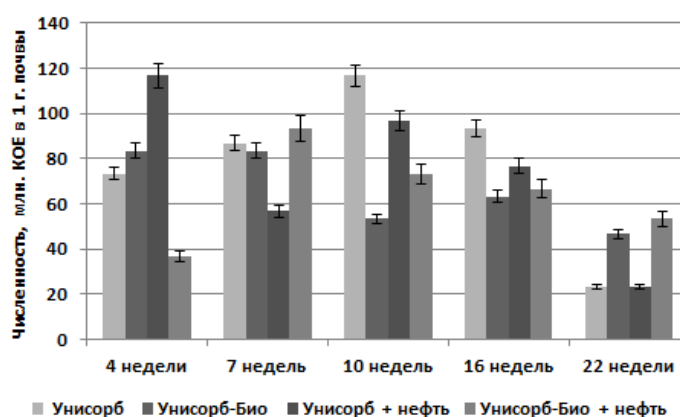


Рисунок 3. Общая численность бактерий (10⁶ КОЕ) в динамике

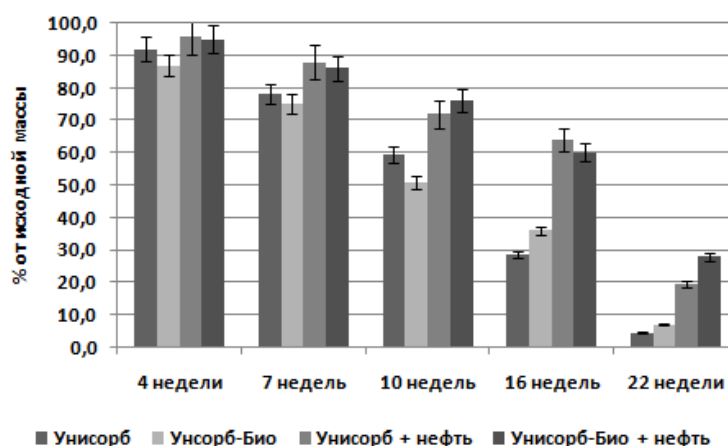


Рисунок 4. Убыль массы сорбентов (%) в динамике

Минимальное значение численности зафиксировано в образце нефтезагрязнённой почвы с внесением сорбента «Унисорб-Био» - менее 40 млн. КОЕ/г почвы. В образцах почвы без внесения нефтепродуктов в вариантах с

обоими сорбентами достоверных различий численности не выявлено. К 7-ой неделе заметно снижение численности бактерий в образце с внесением нефти и сорбента «Унисорб». Такие результаты свидетельствуют о том, что внесение нефти оказывает токсическое воздействие на почвенную микрофлору. Повышение числа микроорганизмов в нефтезагрязнённом образце с «Унисорб-Био» более чем в 2 раза, вероятно, можно объяснить тем, что микробный препарат в составе сорбента «Унисорб-Био» оказывает протекторное действие и оказывает стимулирующий эффект на ранних этапах попадания загрязнителя, который сохраняется на протяжении всего эксперимента, так как численность бактерий оставалась высокой [2].

Высокая численность микроорганизмов в образцах без внесения нефти свидетельствует о том, что внесение сорбентов не оказывает негативного эффекта на почвенную микрофлору. Различия в вариантах опыта с разными сорбентами можно объяснить наличием в составе сорбента «Унисорб-Био» микроорганизмов, которые могут вступать в конкурентные взаимоотношения с естественной микрофлорой.

К концу эксперимента можно заметить, что численность микроорганизмов в нефтезагрязнённых образцах заметно выше, что может свидетельствовать о включении в процесс ремедиации микроорганизмов-нефтедеструкторов, способных использовать углеводороды нефти в качестве источников углерода [4].

Изменение массы сорбентов также демонстрировало закономерную динамику (рис. 2). Начиная с 7-ой недели, наблюдалось снижение массы сорбентов, более выраженное в вариантах без внесения нефти. На 10-ой неделе потери массы достигали до 30% от исходной, а к 16-ой неделе превышали 50% в образцах свободных от нефти, что свидетельствует об активном протекании процессов биodeградации. К 22-ой неделе масса сорбентов в чистых образцах снизилась до значений менее 5% от исходной, а в нефтезагрязнённых не превышала 30%.

Таким образом, получены данные, демонстрирующие, что увеличение численности микроорганизмов сопровождается ускорением деградации сорбента, а сам сорбент не оказывает ингибирующего воздействия на общую численность почвенной микрофлоры.

Результаты эксперимента свидетельствуют об эффективности сорбентов линии «Унисорб» в стимулировании процессов микробной деградации в чистых и нефтезагрязнённых почвах. Внесение сорбента в нефтезагрязнённые почвы способствует формированию активного микробного сообщества, ускоряя процессы деструкции как нефти, так и самого сорбента.

Список литературы

1. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году: ежегодник. — М.: Росгидромет, 2023. — 120 с.
2. Semenyuk N. N., Yatsenko V. S., Strijakova E. R. [и др.]. Effect of activated charcoal on bioremediation of diesel fuel-contaminated soil // *Microbiology*. 2014. Vol. 83, № 5. P. 589–598.
3. Буланова А. В., Грецкова И. В., Муратова О. В. Исследование сорбционных свойств сорбентов, применяемых для очистки почв от нефтяных загрязнений // *Вестник Самарского государственного университета. Естественнаучная серия*. 2005. № 3 (37). С. 150–158.
4. Margesin R., Schinner F. Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2021. Vol. 105. P. 650–663.

Биофизика

УДК 616.89-008.454

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПРЕССИИ CD38 И CD157 В КЛЕТКАХ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ СТРЕССЕ РАННЕГО ПЕРИОДА ЖИЗНИ

Е.С. Ведешкина¹

Научный руководитель Н. А. Малиновская²

Доктор медицинских наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Депрессия, одно из наиболее распространенных психических расстройств, обычно состоит из симптомов, включающих ангедонию, пессимизм, потерю аппетита и бессонницу. Эти симптомы серьезно влияют на качество жизни этих людей и снижают его. Депрессия – повторяющееся на протяжении всей жизни состояние со сложным патогенезом [1]. Современные клинические методы лечения имеют плохой прогноз в долгосрочной перспективе. Широко используемые методы лечения, такие как селективные ингибиторы обратного захвата серотонина, трициклические антидепрессанты, селективные ингибиторы обратного захвата норэпинефрина и ингибиторы моноаминоксидазы, не идеальны, поскольку ремиссии достигает лишь небольшая часть пациентов. Кроме того, не известна причина, по которой некоторые люди реагируют на препараты, в то время как другие – нет [2].

Нейрогенез – многоступенчатый регулируемый процесс получения новых нейронов в ЦНС из нейрональных стволовых клеток, включающий пролиферацию эндогенных клеток, их миграцию и дифференцировку в зрелые функциональные нейроны. Этот процесс лежит в основе адаптивной функции мозга и обеспечивает нейропластичность, выражающуюся в структурной и функциональной реорганизации нейронных сетей. Однако нейрогенез не является самостоятельным фактором в борьбе за функциональное восстановление тканей мозга, важная роль также принадлежит ангиогенезу [3].

Существует несколько видов рецепторов и ферментов иммунной системы, которые активно экспрессируются в головном мозге в первый месяц постнатального периода – CD38 и его ортолог CD157 [4]. Увеличение экспрессии CD38 на клетках нейрональной и глиальной природы – маркер повреждения мозга и дизрегуляции нейрон-астроглиальных взаимодействий в развивающемся и созревшем мозге, важный участник регуляции социального поведения [5]. Дефицит CD157 может вызывать аномалии миндалевидного тела. Функции миндалина связаны с обеспечением оборонительного поведения, двигательными, вегетативными, эмоциональными реакциями, мотивацией

условно-рефлекторного поведения, что подтверждается депрессивным поведением при нокауте CD157: это вызывает ослабление высвобождения окситоцина из окончаний аксонов в гипофизе без заметных изменений содержания окситоцина в ядрах гипоталамуса [6].

Цель данного исследования – выяснить особенности экспрессии маркеров CD38 и CD157 в клетках регионов головного мозга, потенциально связанных с развитием депрессивного поведения, при стрессе раннего периода.

Объектом исследования являлись готовые образцы головного мозга контрольной группы и модели стресса раннего периода жизни (СРПЖ) на крысах линии Wistar ($n=13$ в обеих группах), фиксированными в формалине и перенесенными далее на хранение в 30% раствор сахарозы. Ранее проведенные исследования на животных проводились в соответствии с соблюдением принципов гуманности, изложенных в Директиве Европейского сообщества (2010/63/EC). Срезы были окрашены путем непрямой иммуногистохимии по методике окраски «свободно-плавающих срезов» и просматривались на флуоресцентном микроскопе ZOE с последующим фотографированием материала для дальнейшей обработки фотографии с помощью ПО ImageJ. Статистическую обработку проводили с использованием непараметрической статистики (критерий Манна-Уитни) с помощью ПО StatPlus 2006. Подсчитывали процент клеток, экспрессирующих искомый антиген, от общего числа клеток (окраска ядер клеток DAPI), в энторинальной коре, зубчатой извилине гиппокампа и базолатеральной миндалине.

По проценту CD38-иммунопозитивных клеток в изученных регионах головного мозга не было обнаружено значимых различий, однако обнаружены тенденции к повышению процента CD38-экспрессирующих клеток в базолатеральной миндалине у животных со стрессом раннего периода жизни ($38,6 \pm 2,8\%$), в отличие от контрольной группы ($34,2 \pm 2,7\%$). Процент CD157-экспрессирующих клеток был значимо ($p=0,025$) снижен в энторинальной коре животных с моделью стресса раннего периода жизни ($38,8 \pm 2,9\%$) в сравнении с контролем ($50,1 \pm 3,9\%$) и обнаружены тенденции к увеличению процента CD157-экспрессирующих клеток в базолатеральной миндалине при СРПЖ ($39,3 \pm 2,7\%$), в отличие от контрольных животных ($38,2 \pm 5,4\%$).

Таким образом, результаты исследований выявили значимое снижение процента CD157-экспрессирующих клеток у крыс с СРПЖ в энторинальной коре и тенденции к повышению процента CD38- и CD157-экспрессирующих клеток базолатеральной миндалины (что косвенно может свидетельствовать о начале развития нейровоспаления в данном регионе головного мозга, так как эти молекулы широко экспрессируются на активированной микроглии и астроцитах, связанных с развитием нейровоспаления), но не в гиппокампе, что согласуется с литературными данными. В гиппокампе можно предположить нарушение синаптогенеза при отсутствии изменений экспрессии НАД-

гликогидролаз CD38 и CD157. Мозг со СРПЖ характеризуется снижением нейрогенеза в гиппокампе [7,8], однако в воспалительной модели депрессии, по данным литературы, именно гиппокампальный CD38 тесно связан с депрессивным поведением, что подчеркивает его потенциал в качестве терапевтической мишени для разработки антидепрессантов [9]. Согласно нашим результатам исследований, в качестве потенциальной молекулы-маркера может рассматриваться не только CD38, но и ортолог данной молекулы CD157.

Список литературы

1. Fan C., Li Y., Lan T. et al. Microglia secrete miR-146a-5p-containing exosomes to regulate neurogenesis in depression. // *Mol. Ther.* 2022. Vol. 30(3). P. 1300–1314.
2. Samuels B. A., Leonardo E. D., Gadiant R. et al. Modeling treatment-resistant depression. // *Neuropharmacology*. 2011. Vol. 61(3). P. 408–413.
3. Королева Е. С., Алифирова В. М. Механизмы нейрогенеза и ангиогенеза при ишемическом инсульте: обзор литературы // *Анналы клин. и эксперимент. неврологии*. 2021. № 15(3). С. 62–71.
4. Hattori T., Kaji M., Ishii H. et al. CD38 positively regulates postnatal development of astrocytes cell-autonomously and oligodendrocytes non-cell-autonomously. // *Glia*. 2017. Vol. 65(6). P. 974–989.
5. Комлева Ю. К., Малиновская Н. А., Горина Я. В. и др. Экспрессия молекул CD38 и CD157 в ольфакторных луковицах головного мозга при экспериментальной болезни Альцгеймера // *Сиб. мед. обозрение*. 2015. № 5(95). С. 45–49.
6. Lopatina O., Yoshihara T., Nishimura T. et al. Anxiety- and depression-like behavior in mice lacking the CD157/BST1 gene, a risk factor for Parkinson's disease. // *Front. Behav. Neurosci.* 2014. Vol. 8:133.
7. Menard C., Hodes G. E., Russo S. J. Pathogenesis of depression: Insights from human and rodent studies. // *Neuroscience*. 2016. Vol. 321. P. 138–162.
8. Lopatina O. L., Komleva Y. K., Malinovskaya N. A. et al. CD157 and Brain Immune System in (Patho)physiological Conditions: Focus on Brain Plasticity. // *Front. Immunol.* 2020. Vol. 11:585294.
9. Zhang X., He T., Wu Z. et al. The role of CD38 in inflammation-induced depression-like behavior and the antidepressant effect of (R)-ketamine. // *Brain Behav. Immun.* 2024. Vol. 115. P. 64–79.

УДК 577.11:544.022.822:544.478.3

ИММОБИЛИЗАЦИЯ АЛКОГОЛЬДЕГИДРОГЕНАЗЫ В БИОПОЛИМЕРНЫЕ НОСИТЕЛИ: ВЛИЯНИЕ НА СТАБИЛЬНОСТЬ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

П.В. Гук¹

Научный руководитель И.Г. Торгашина¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Иммобилизация является одним из наиболее широко применяемых способов стабилизации ферментов для использования в исследованиях [1]. При иммобилизации ферментов одной из ключевых задач является выбор оптимального носителя и метода иммобилизации, обеспечивающих баланс между стабильностью и чувствительностью к субстратам и ингибиторам. Это особенно важно для алкогольдегидрогеназы (ADH) при использовании ее в ингибиторном анализе, поскольку данный фермент обладает высокой энантиоселективностью [2–4] и чувствительностью к ряду потенциально вредных веществ, что определяет широкий спектр применений ADH — от биокатализа до разработки биосенсоров. В современных исследованиях особое внимание уделяется поиску и использованию экологичных, биосовместимых и доступных материалов для иммобилизации ферментов. В данном контексте биополимеры, такие как крахмал, желатин и альгинат, представляют собой крайне перспективные носители для иммобилизации ADH, удовлетворяющие этим критериям [1,5].

Целью работы является оценка стабильности и чувствительности алкогольдегидрогеназы, иммобилизованной в водно-биополимерные смеси на основе крахмала (ADH-S); желатина (ADH-G); альгината (ADH-A) с последующим высушиванием.

Иммобилизованный препарат алкогольдегидрогеназы был получен путем смешивания раствора фермента с водно-крахмальной; -желатиновой или -альгинатной смесью в концентрациях 3%, 2% и 1% полимера соответственно, затем дозирован на подложку в виде капель объемом по 25 мкл и подвергнут высушиванию. В результате процедуры иммобилизации получены «сухие диски», включающие ADH, где один диск предназначен для одного измерения (рис.1).

Активность ферментного препарата измерялась спектрофотометрически в реакционной смеси, включающей натрий-фосфатный буфер, диск с иммобилизованным ферментом и растворы субстратов. Термическая стабильность растворимого и иммобилизованного фермента определялась путем инкубации при различных температурах (40–90 °С) в течение 120 минут. Для оценки чувствительности иммобилизованных препаратов АДН в качестве модельного токсиканта использовался коммерческий препарат пестицидов «Ликвидатор» с действующим веществом глифосат.

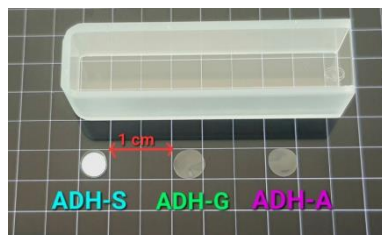


Рисунок 1. Иммобилизованная АДН в водно-биполимерных смесях на основе крахмала (ADH-S), желатина (ADH-G) и альгината (ADH-A) с последующим высушиванием.

Активность иммобилизованного фермента в сравнении с АДН в форме раствора составляла (39±6) % для АДН-S, (71±7) % для АДН-G и (56±9) % для АДН-A. При исследовании температурного оптимума препаратов АДН максимальная активность АДН-S и АДН-A наблюдалась при $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, что на 5 °С выше, чем активность АДН в форме раствора. Для максимума активности АДН-G наблюдался сдвиг температурного оптимума на 10 °С относительно растворимой формы фермента и составил 35 °С. Полученные результаты говорят о смещении температурного оптимума в сторону высоких температур для иммобилизованной формы АДН. Для подтверждения стабилизации АДН в иммобилизованной форме исследовали активность фермента при длительном действии высоких температур, полученные зависимости представлены на рисунке 2.

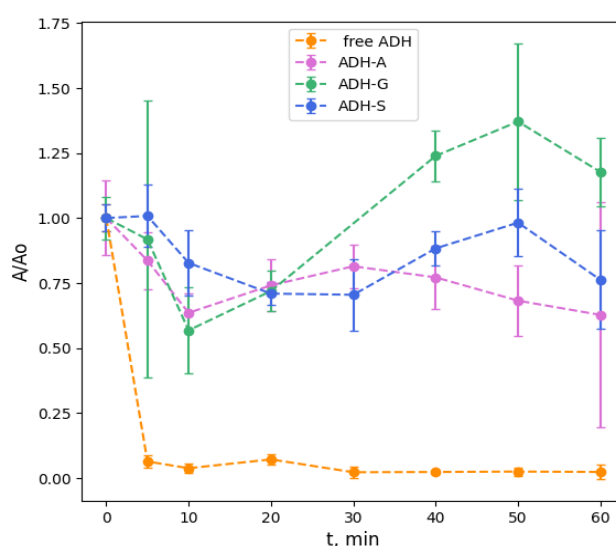


Рисунок 2. Относительная активность АДН в растворимой и иммобилизованной форме (A) в зависимости от времени инкубации при температуре 60 °C (нормирование по отношению к значению активности соответствующих препаратов АДН инкубированных при 24 °C (A_0)).

Относительная активность всех иммобилизованных форм АДН после часа инкубации при температуре 60 °C превышала 60 %, тогда как растворимая форма сохраняла менее 8 % уже через 5 минут инкубации. Такой результат свидетельствует о значительном стабилизирующем действии биополимерной матрицы при термоинактивации фермента. Кроме того, АДН-S, АДН-G и АДН-A имеют более длительный срок хранения, чем растворимая форма: к 120-му дню их активность составляла 17 %, 25 % и 87 % от первоначального значения активности соответственно, тогда как растворимая форма полностью утрачивала активность к 40-му дню, что также указывает на увеличение стабилизации белковой молекулы в иммобилизованной форме.

Исследование влияния модельных токсикантов показало, что иммобилизованная АДН сохраняет чувствительность к ним независимо от типа носителя (крахмал, желатин или альгинат) и сопоставима с чувствительностью растворимой формы.

Таким образом, биополимеры крахмал, желатин и альгинат, могут успешно использоваться для иммобилизации алкогольдегидрогеназы, поскольку обеспечивают повышение термической устойчивости фермента и увеличение срока его хранения, при этом иммобилизованные препараты сохраняют функциональную пригодность для аналитических исследований.

Зарегистрирована заявка на патент «Иммобилизованный ферментный препарат на основе алкогольдегидрогеназы и способ его получения» (регистрационный номер 2024137148 от 11.12.2024).

Список литературы

1. M. Bilal, H. M. N. Iqbal. Naturally-derived biopolymers: Potential platforms for enzyme immobilization // International Journal of Biological Macromolecules. 2019.
2. Y. G. Zheng, et al. Recent advances in biotechnological applications of alcohol dehydrogenases // Springer Verlag. 2017.
3. E. V. Zhmaeva, T. N. Shekhovtsova. Enzymatic Method for the Determination of Inorganic and Organic Inhibitors of Alcohol Dehydrogenase // 2000.
4. E. N. Esimbekova, et al. The Effects of Commercial Pesticide Formulations on the Function of In Vitro and In Vivo Assay Systems: A Comparative Analysis // Chemosensors. 2022. Vol. 10. No. 8. P. 1-8.
5. V. I. Lonshakova-Mukina, E. N. Esimbekova, V. A. Kratasyuk. Stabilization of Butyrylcholinesterase by the Entrapment into the Natural Polymer-Based Gels // Dokl Biochem Biophys. 2018. Vol. 479. No. 1. P. 98–10.

УДК 577.21:612.39:616-053.6

СВЯЗЬ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ *UCP2* И *GNB3* С ИНДЕКСОМ МАССЫ ТЕЛА У ПОДРОСТКОВ

Д. А. Деймунд¹, Р. Д. Полуян¹, Д. И. Дик¹, А. С. Ташкинова¹, А. О. Ключанцев¹, М. А. Клейн¹, Н. Д. Давыдова¹, Е. И. Хомайко¹

Научный руководитель М. В. Смольникова^{1,3}

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Научный руководитель К. В. Миронов^{1,3}

студент, лаборант-исследователь НИИ МПС

Подростковый возраст является критически важным периодом развития человека, требующим полноценного и достаточного питания [1]. Поскольку отсутствие системного подхода и избирательность в питании в этом возрасте значительно повышают риск функциональных отклонений и хронических заболеваний, включая проблемы с недостаточным или избыточным весом, ведущие эксперты подчеркивают необходимость разработки конкретных рекомендаций по ранней коррекции питания [2].

В последние годы продвигается концепция персонализированного питания, учитывающего индивидуальные генетические особенности человека [3]. Одним из условий создания такого подхода является изучение маркеров, связанных с изменениями метаболизма, включая полиморфные варианты гена

разобщающего белка 2 (*UCP2*) и гена β 3-субъединицы G-белка (*GNB3*) [4,5]. Белок *UCP2* относится к семейству митохондриальных переносчиков, участвует в защите клеток от окислительного стресса [6]. *UCP2* кодируется одноименным геном *UCP2*, который расположен на 11 хромосоме. Его полиморфизм rs660339 (G>A) приводит к замене аминокислоты аланин на валин (Ala55Val), что в ранних исследованиях было связано с ожирением у женщин. β 3-субъединица G-белка участвует в регуляции уровня глюкозы через метаболический путь передачи сигналов инсулина [4]. β 3-субъединица кодируется геном *GNB3*, который имеет полиморфный вариант rs5443 *GNB3* (C>T), влияющий на способность β 3-субъединицы к формированию эффективных комплексов с G-белком [7]. В ряде исследований была показана ассоциация полиморфизма rs5443 *GNB3* с сахарным диабетом 2-го типа [5].

Целью данного исследования было выявить связь полиморфизмов rs660339 гена *UCP2* (C>G) и rs5443 гена *GNB3* (C>T) с индексом массы тела у подростков. В исследовании приняли участие 120 подростков из школ г. Красноярск в возрасте от 12 до 18 лет (средний возраст $15,51 \pm 0,95$ лет). Подростки прошли осмотр, в ходе которого измерялись основные антропометрические показатели (рост, вес) и показатели состава тела при помощи весов BC-731/732 (Tanita, Япония). На основе данных показателей рассчитывался индекс массы тела (ИМТ), происходило распределение участников на группы с недостаточным весом (ИМТ $<18,5$ кг/м²), нормальным весом ($18,5 - 25$ кг/м²), избыточным весом ($25 - 30$ кг/м²) и ожирением I степени (ИМТ >30 кг/м²). От участников исследования были также получены образцы буккального эпителия, из которого выделяли ДНК. Генотипирование осуществляли при помощи ПЦР в режиме реального времени. Статистически значимыми различия между группами считали при $p < 0,05$.

Было обнаружено, что у 25 % подростков (30 человек) в представленной выборке был дефицит массы тела, а у 10,8 % (13 человек) – ожирение I степени. Показаны статистически значимые различия между частотами аллелей rs660339 гена *UCP2* в группах с недостаточным и избыточным весом. Для rs5443 *GNB3* обнаружены различия между частотами аллелей в группах с недостаточным весом и ожирением I степени. Статистически значимые различия также наблюдались в доминантной модели наследования между группами подростков с недостаточным весом, сопоставленных с подростками с нормальным и избыточным весом для rs660339 гена *UCP2*, между группами с нормальным и избыточным весом для rs5443 гена *GNB3*.

В настоящем исследовании выявлена тенденция, при которой частоты минорных аллелей встречались реже в группах сравнения при больших значениях ИМТ для rs660339 гена *UCP2* (A) и чаще для rs5443 гена *GNB3* (T). Это указывает на потенциальную роль данных генетических вариантов в

патогенезе ожирения и других расстройств, связанных с изменениями массы тела.

Список литературы

1. Norris S. A. et al. Nutrition in adolescent growth and development // *Lancet Lond. Engl.* 2022. Vol. 399. P. 172–184.
2. Heslin A. M., McNulty B. Adolescent nutrition and health: characteristics, risk factors and opportunities of an overlooked life stage // *Proc. Nutr. Soc.* 2023. Vol. 82. P. 142–156.
3. Singar S. et al. Personalized Nutrition: Tailoring Dietary Recommendations through Genetic Insights // *Nutrients.* 2024. Vol. 16. P. 2673.
4. Sierra-Ruelas E. et al. Uncoupling Proteins Variants Are Linked to Hypercholesterolemia and Abdominal Obesity in Metabolically Unhealthy Women // *Lifestyle Genomics.* 2025. Vol. 18. P. 27–35.
5. Agostini L. da C. et al. G Protein Subunit Beta 3 (GNB3) Variant Is Associated with Biochemical Changes in Brazilian Patients with Hypertension // *Arq. Bras. Cardiol.* 2023. Vol. 120. P. e20230396.
6. Nesci S., Rubattu S. UCP2, a Member of the Mitochondrial Uncoupling Proteins: An Overview from Physiological to Pathological Roles // *Biomedicines.* 2024. Vol. 12. P. 1307.
7. Calebiro D. et al. G protein-coupled receptor-G protein interactions: a single-molecule perspective // *Physiol. Rev.* 2021. Vol. 101. P. 857–906.

УДК 577.21: 575.174.015.3:616.89-008.441.44

ПОЛИМОРФИЗМЫ ГЕНОВ HTR1A, HTR2A И SLC6A4 СЕРТОНИНЕРГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ У ПОДРОСТКОВ С ИНТЕРНЕТ-ЗАВИСИМОСТЬЮ

К. В. Миронов¹

Научный руководитель М. В. Смольникова¹

Кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

¹Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук

Чрезмерное увлечение Интернетом, в особенности среди подростков, вызывает серьезную обеспокоенность у органов здравоохранения и образования, поскольку может приводить к развитию психических расстройств, включая Интернет-зависимость (ИЗ) [1]. Длительное использование Интернета связано с психосоциальными проблемами, включая плохую успеваемость, чрезмерную усталость и избегание межличностных отношений [2].

Одной из возможных причин развития ИЗ считаются изменения в работе нейромедиаторов и их систем, включая серотонинергическую систему, участвующей в модуляции процессов обучения и памяти, а в комбинации с дофамином – механизмов вознаграждения и мотивации [3]. Особый интерес представляют гены компонентов системы серотонина, полиморфные варианты которых являются потенциальными маркерами ИЗ. Так, рецепторы серотонина 5-HT_{1A} (HTR1A) и 5-HT_{2A} (HTR2A) опосредуют синаптическую передачу, тогда как транспортер серотонина (SLC6A4) обеспечивает длительность и силу серотонинергической передачи [4]. Показано, что полиморфизмы rs6295 HTR1A, rs6311 HTR2A и rs25532 SLC6A4 влияют на экспрессию генов серотонинергического пути, в ряде исследований их связывают с риском развития психических расстройств [5,6].

Целью настоящего исследования было выявить связь полиморфных вариантов генов HTR1A, HTR2A и SLC6A4 с ИЗ. Было проведено психологическое и генетическое тестирование 482 подростков в возрасте от 12 до 18 лет. ИЗ выявлялась при помощи русскоязычной версии шкалы Чен, где по результатам тестирования подростков делили на группы контроля (<65 баллов) и наличия ИЗ (>65 баллов). ДНК выделяли из слюны с использованием сорбентного метода. Генотипирование проводили по системе TaqMan с использованием зондов и олигонуклеотидных праймеров («ДНК-

Синтез», Россия). При анализе частот генотипов и аллелей статистически значимыми различия между группами считали при $p < 0,05$.

Распространенность Интернет-зависимости в представленной выборке составила 19,7 % (95 человек). Анализ распределения частот аллелей и генотипов для полиморфных вариантов генов HTR1A и HTR2A не выявил статистически значимых различий между группами. Не было также выявлено каких-либо значимых различий между группами контроля и ИЗ для полиморфизма rs25532 SLC6A4. Однако, при построении рецессивной модели наследования, где генотипы CC и TC были объединены, была обнаружена ассоциация аллеля C с ИЗ ($p=0,034$).

Настоящее исследование выявило связь rs25532 SLC6A4 с повышенным риском развития ИЗ в рецессивной модели наследования, при этом генотип TT rs25532 SLC6A4, как показал расчёт отношения шансов, может играть протективную роль, снижая риск развития ИЗ. Выявленный эффект согласуется с исследованием, показавшим связь генотипа CC rs25532 SLC6A4 с риском развития психических расстройств у мужчин [6]. Эти данные подчеркивают влияние генетических факторов на предрасположенность к Интернет-зависимости.

Список литературы

1. Odgers C. L., Jensen M. Adolescent Mental Health in the Digital Age: Facts, Fears and Future Directions // J. Child Psychol. Psychiatry. 2020. Vol. 61. P. 336–348.
2. Pan Y. C., Chiu Y. C., Lin Y. H. Systematic review and meta-analysis of epidemiology of internet addiction // Neurosci. Biobehav. Rev. 2020. Vol. 118. P. 612–622.
3. Cohen J. Y., Amoroso M. W., Uchida N. Serotonergic neurons signal reward and punishment on multiple timescales // eLife. 2015. Vol. 4. P. e06346.
4. Mattina G. F., Steiner M., Kennedy S. H., MacQueen G. M., Frey B. N. et al. The association of HTR2A polymorphisms with obsessive-compulsive disorder and its subtypes: A meta-analysis // J. Affect. Disord. 2020. Vol. 275. P. 278–289.
5. Albert P. R., Le François B., Vahid-Ansari F. Genetic, epigenetic and posttranscriptional mechanisms for treatment of major depression: the 5-HT1A receptor gene as a paradigm // J. Psychiatry Neurosci. JPN. 2019. Vol. 44. P. 164–176.
6. Rashidi F. S., Ghadiri M., Tahmasebi M., Jolfaei A. G. Association of the functional serotonin transporter haplotype with familial form of obsessive-compulsive disorder in Iranian patients // Int. J. Psychiatry Clin. Pract. 2018. Vol. 22. P. 47–53.

УДК [591.111.1+591.131.3]:543.9:637.112

ВЗАИМОСВЯЗЬ УДОЯ КОРОВ С БИОХИМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ СЫВОРОТКИ КРОВИ И СЛЮНЫ

М. Р. К. Сальседо¹

Научный руководитель Л. В. Степанова¹

Кандидат биологических наук

Научный консультант О. А. Коленчукова²

Доктор биологических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Введение. Молочная продуктивность обусловлена согласованной напряженной работой всего организма коровы. Утверждается, что для образования 1 л молока необходимо, чтобы через молочную железу коровы проходило 400-500 л крови. Все компоненты молока образуются из крови, которая поступает в молочную железу. К тому же через кровь в организме осуществляется обмен веществ, поэтому по биохимическим показателям крови можно судить об интенсивности обменных процессов и уровне молочной продуктивности животных.

Существует также взаимосвязь между количеством слюны у коровы и объёмом надоя молока: чем больше слюны синтезируется в организме животного, тем больше оно даёт молока. Это может быть связано с тем, что слюна облегчает усвоение белка из растительных кормов.

Многие авторы предлагают использовать метаболиты крови и состав слюны в качестве дополнительных тестов в селекции, направленной на повышение молочной продуктивности крупного рогатого скота, путем выявления и последующего разведения животных, метаболический уровень которых свойственен коровам с высокими показателями молочной продуктивности [1, 2]. Поэтому исследования связи между показателями молочной продуктивности и биохимическими показателями крови и слюны являются актуальными и имеют научную новизну.

Познание закономерностей между молочной продуктивностью и основными биохимическими показателями крови и слюны может быть использовано в селекционной работе племрепродукторов для повышения молочной продуктивности коров.

Таким образом, целью работы явилось выявление зависимости метаболитов сыворотки крови и слюны от величины молочной продуктивности коров.

Задачи исследования:

1. Проанализировать изменение ионного и биохимического состава сыворотки крови и слюны в зависимости от удойности коров.

2. Определить взаимосвязь метаболитов сыворотки крови и слюны от величины молочной продуктивности коров.

Материалы и методы. Исследования проводили на коровах ($n=40$), которых разводили в племенной организации ООО «ОПХ «Солянское» Красноярского края в октябре 2024 г. Кровь и слюну для исследований брали в стойловый период у здоровых дойных коров черно-пестрой породы, разных по возрасту, продуктивности и стадии лактации. Забор крови проводили из ярёмной вены общепринятым способом в одноразовые пробирки с коагулянтом после вечернего доения. Слюну собирали в ротовой полости в стерильные пробирки объемом 2 мл.

Коровы были разделены на две группы по уровню молочной продуктивности. Величину суточного удоя коров на момент забора крови принимали равной продуктивности за контрольное доение текущего месяца.

В сыворотке и слюне определяли содержание альфа-амилазы, молочной кислоты и щелочной фосфатазы, концентрации ионов натрия, калия и магния. Использованы стандартные наборы реагентов фирмы ООО «Ольвекс диагностика» (Санкт-Петербург).

Использован спектрофотометрический анализ растворов окрашенных соединений. Регистрировали оптическую плотность растворов на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония).

Статистическую обработку данных осуществляли в программе Statistica 10 (StatSoft, США) с применением непараметрического критерия при уровне значимости $p<0,05$.

Результаты исследования. Результаты исследования показали, что коровы 2-ой группы дойности от 1-ой достоверно отличались повышенным количеством дойных дней ($p=0,00005$) и объемом суточного удоя ($p=0,008$), а также повышенной концентрацией альфа-амилазы в слюне ($p=0,01$), которая значительно повышена от нормы.

Корреляционный анализ показал, что повышенное содержание альфа-амилазы в слюне коров 2-ой группы коррелировала с низкой концентрацией ионов натрия ($r=-0,5$, $p=0,05$) и пониженным содержанием щелочной фосфатазы в крови ($r=0,5$, $p=0,05$) относительно нормы [2].

Данные показатели могут указывать о наличии периода лактации коров или «технологического» стрессового состояния коров, предположительно из-за частого машинного доения [3].

Анализ показателей коров по суточной дойности выявил также две группы, отличающиеся друг от друга суточным удоем ($p=0,02$) и концентрацией щелочной фосфатазы в крови ($p=0,00005$). При этом в группе с повышенным суточным удоем наблюдалось понижение концентрации щелочной фосфатазы в крови.

Корреляционный анализ показал, что пониженная концентрации щелочной фосфатазы обратно коррелировала с возрастом ($r=-0,6$, $p=0,05$) и номером текущей лактации ($r=-0,6$, $p=0,05$), а также повышением концентрации альфа-амидазы в крови ($r=0,7$, $p=0,05$), что может быть показателем стрессового состояния коровы.

Заключение. Таким образом, коровы с большим объёмом дойности имели повышенный показатель альфа-амилазы в слюне или в крови, что может быть обусловлено периодом лактации или «технологического» стрессового состояния коров из-за машинного доения. Необходимы дальнейшие исследования для выявления причин, обуславливающие отклонение показателей сыворотки крови и слюны от нормы.

Исследования выполнены в ходе тематического плана-задания по заказу Минсельхоза РФ по теме «Разработка порядка диагностики состояния микробиоты и мер по сохранению или восстановлению нормальной микробиоты сельскохозяйственных животных».

Список литературы

1. Жариков Я. А., Канева Л. А. Взаимосвязь суточного удоя и биохимического статуса сыворотки крови коров // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. Т.2, №39. 51-55 с.
2. Иванова И. Е., Волынкина М. Г. Биохимический статус крови высокопродуктивных коров сухостойного периода в условиях АО «ПЗ «Учхоз ГАУ Северного Зауралья» // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. Т.5, №67. 173-176 с.
3. Трубников Д. В. Технологический стресс как фактор снижения молочной продуктивности и воспроизводительной функции коров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. №1. 69-71 с.

УДК 615.471

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ОБЪЕМА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Р. Е. Станцель¹, М. В. Боровик¹, М. Е. Прозорова²

Научный руководитель Д.О. Пахмурин^{1,2}

Кандидат технических наук, доцент

¹Сибирский государственный медицинский университет

В современном мире актуальна проблема недостаточного потребления чистой питьевой воды. Согласно исследованию Университета Абердина, опубликованного в 2022 году в журнале Science. Учёные проанализировали данные 5600 человек из 23 стран и установили, что в среднем для большинства взрослых жителей развитых стран норма воды составляет 1,5–1,8 литра в день [1]. При этом минимальное необходимое для поддержания физического благополучия количество воды, выпиваемое человеком за день, составляет 2 литра, рекомендуется выпивать больше. Согласно исследованию ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России, недостаточное потребление чистой питьевой воды влечёт за собой развитие сердечной недостаточности [2].

Для решения данной проблемы было принято решение разработать устройство – «умную кружку», которая будет измерять и анализировать количество выпитой жидкости за день, а также напоминать пользователю о необходимости поддержания водного баланса.

Так как расчёт объёма воды через её массу достаточно прост, основой данного устройства послужит тензодатчик, измеряющий массу воды, налитой в кружку. Датчик имеет длину 8 сантиметров и достаточно тонкий, благодаря чему его можно будет интегрировать в дно кружки. Также несомненным плюсом такого решения является независимость результатов измерения от длины плеча весов, благодаря чему этот датчик можно использовать для измерения массы воды.

Для оповещения пользователя о необходимости выпить воды будет встроен Wi-Fi-модуль, с помощью которого устройство будет связываться со смартфоном пользователя и передавать данные о количестве выпитой воды за сутки.

В качестве управляющего компонента было решено использовать комплект Arduino Nano. Плата будет принимать аналоговые данные с датчика, преобразовывать их в цифровой формат с помощью АЦП НХ711 и передавать результат на модуль связи. Для питания Arduino необходимо напряжение 7-12 В. Было принято решение обеспечить питание устройства с помощью трёх батареек CR2032, подключённых последовательно, с возможностью их замены во время

эксплуатации. Для отслеживания состояния батареек будет интегрирована индикация заряда.

Во избежание помех в получаемых данных считывание массы воды будет происходить по нажатию кнопки пользователем после наполнения кружки. После нажатия данные будут оцифровываться и поступать на плату. Далее будет происходить расчёт объёма V по следующей формуле:

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (1)$$

где:

m – измеренная масса,

ρ – плотность воды, 1 кг/л.

После рассчитанный объём передаётся на смартфон пользователя через Wi-Fi модуль и суммируется с предыдущими суточными измерениями.

В ходе дальнейшей работы планируется разработать программное обеспечение для мониторинга водного баланса и связи с «умной кружкой» для Android и iOS.

Данное решение является экономически выгодным для любой категории потребителей за счёт низкой стоимости компонентов.

Список литературы

1. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; Health and Medicine Division; Food and Nutrition Board; Committee to Review the Dietary Reference Intakes for Sodium and Potassium. Dietary Reference Intakes for Sodium and Potassium. Oria M, Harrison M, Stallings VA, editors. Washington (DC): National Academies Press (US); 2019 Mar 5. PMID: 30844154. DOI: 10.17226/10925

2. Потребление достаточного количества воды позволяет предотвратить развитие сердечной недостаточности. ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России.

УДК 615.471

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ВРЕМЕНИ ПРИЕМА ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

А. А. Шадрин¹, А. А. Попп¹

Научный руководитель Д. О. Пахмурин^{1,2,3}

Кандидат технических наук, доцент

¹Сибирский государственный медицинский университет

Регулярный прием назначенных лекарственных препаратов способствует предотвращению обострений заболеваний и снижению нагрузки на медицинские учреждения. Однако зачастую люди с хроническими заболеваниями, особенно пожилые, пропускают необходимое время и регулярность лечения теряется, что негативно сказывается на состоянии пациента [1].

В связи с этим было предложено разработать устройство (таблетницу), представляющее собой медицинское оборудование, предназначенное для обеспечения регулярности приема индивидуального набора твердых лекарственных форм на предстоящие сутки. Устройство удобно для детей, пожилых и занятых людей, так как оснащено таймером и сигнализатором, помогая организовать прием медикаментов и исключая риск пропуска времени лечения.

Таблетница поддерживает здоровье, помогая систематически принимать лекарства, особенно при хронических заболеваниях. Устройство интегрирует современные технологии в повседневную жизнь, что делает его актуальным в условиях инноваций. Таблетница особенно полезна для людей с проблемной памятью, так как снижает уровень тревожности, обеспечивая уверенность в регулярном приеме медикаментов. Это особенно важно для пожилых пациентов. Кроме того, она предлагает индивидуализированные напоминания и учитывает дозировки, что повышает удобство использования. Наличие стационарной, и мобильной версии делает прибор многофункциональным и доступным.

Разрабатываемое устройство относится к медицинскому оборудованию и предназначено для подготовки индивидуального набора твердых лекарственных форм (таблетки, капсулы) для употребления в течение дня. Оно разработано для более эффективного, безопасного и удобного использования и приема лекарственных препаратов как в домашних условиях, так и вне их.

Это устройство особенно актуально для детей, пожилых людей и занятых пользователей, которые могут забыть, принимали ли они препарат в нужное время. Устройство представляет собой пластиковый контейнер, оснащенный таймером и сигнализатором, что упрощает организацию приема лекарств.

Предложенное решение особенно удобно в случаях, когда суточный набор медикаментов разнообразен, а прием препаратов требуется несколько раз в течение дня, вплоть до почасового приема. Оно устраняет необходимость запоминать время приема и конкретные препараты, которые необходимо принять.

Достижение заявленного технического результата обеспечивается встроенным таймером с сигнализатором, который функционирует по принципу будильника и напоминает пользователю о необходимости принять определенный препарат из указанной ячейки.

Таблетница оборудована встроенным таймером с динамиком, который работает как будильник, а также индикаторами, использующими звуковые и световые сигналы для оповещения о необходимости приема медикаментов из конкретной ячейки в соответствующее время суток [2]. Устройство также имеет панель с кнопками для установки актуального времени и количества приемов в день.

Предлагаемая таблетница представляет собой пенал, куда будет помещаться суточная доза необходимых медикаментов. Внутри находится полость с несколькими контейнерами, имеющими различный размер для конкретных типов препаратов.

На рисунке ниже представлена структурная схема разрабатываемого устройства.

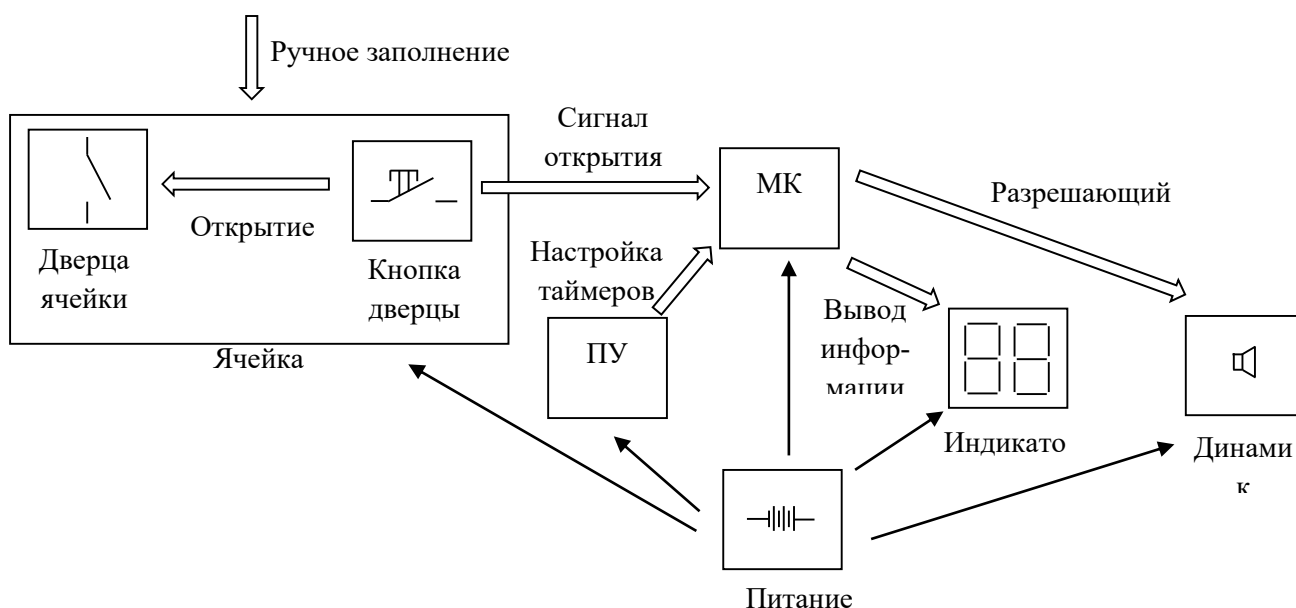


Рисунок. Структурная схема таблетницы

После заполнения контейнеров лекарственными средствами устанавливается время приема таблеток [3]. На боковой части таблетницы установлены цифровые часы, три кнопки для настройки таймеров («ОК», стрелки вниз/вверх). После нажатия на кнопку «ОК» начнет мигать четырёхразрядный семисегментный индикатор, тем самым программа зафиксирует вход в настройку таймеров. Сначала устанавливается количество принимаемого препарата в день. После нажатия кнопки «ОК» стрелками вниз/вверх увеличиваем или уменьшаем время таймера (например: каждые 6 часов или путем установления конкретного времени приема) Выбрав нужное время нажимаем «ОК», программа сохраняет изменения и переходит к следующей ячейке, и так пока не будет настроена каждая ячейка.

При достижении установленного времени срабатывает звуковой сигнал через динамик, одновременно начинает мигать индикатор той ячейки, из которого необходимо принять лекарство. После открытия дверцы программа посчитает что лекарство было принято.

В дальнейшем планируется обеспечить связь устройства контроля приема лекарственных препаратов со смартфоном и разработка программного обеспечения для более оперативного оповещения пациента о времени приема препаратов и расширения функционала.

Список литературы

1. J. Mark Ruscin. Проблемы пожилых пациентов, связанные с приёмом лекарственных препаратов, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://goo.su/YoMtoj>
2. Михеев А. А. Электронная таблетница-будильник, 2015 [Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2014112460A_20151010
3. Ислам Х. С., Лаура И. С. Устройство оповещения о необходимости приема лекарств, 2014 [Электронный ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/RU137732U1/ru>.

УДК 57.084.1

БИОКОНВЕРСИЯ БИОМАССЫ СОИ И ОГУРЦА В ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЕ: ВЛИЯНИЕ НА ГАЗООБМЕН И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ

В. Л. Шахов^{1,2}

Научный руководитель В. В. Величко^{1,2}

¹*Сибирский федеральный университет*

Совершенствование замкнутых биолого-технических систем жизнеобеспечения (БТСЖО) требует повышения эффективности массообменных процессов, в том числе за счёт увеличения разнообразия используемых культур и утилизации органических остатков. Одной из ключевых задач является обеспечение полной переработки несъедобной растительной биомассы, накопление которой нарушает замкнутость системы и может создавать фитотоксическую среду [1]. Биологическая утилизация таких остатков может быть реализована через технологию «биологической» минерализации — выращивание новых растений на почвоподобном субстрате (ППС), содержащем фракции растительной биомассы на разных стадиях разложения [2]. В то же время биоконверсия отходов в ППС осложняется рядом факторов, включая низкую доступность кислорода, накопление продуктов неполного разложения и различия в химическом составе самих остатков. Особенно это актуально для культур, ранее не входивших в фототрофное звено БТСЖО, таких как соя и огурец. В условиях ограниченного воздухообмена в ППС их разложение может сопровождаться выделением токсичных метаболитов, угнетающих рост растений. Недостаточная минерализация также ограничивает возврат макроэлементов в круговорот БТСЖО. Оптимизация условий аэрации и структуры субстрата рассматривается как один из путей интенсификации микробиологических процессов и снижения негативного воздействия продуктов разложения на функционирование замкнутой экосистемы [3].

Одной из значимых проблем является поиск оптимальных условий для биологического окисления растительных остатков в ППС с разной структурой и степенью аэрации. Особую сложность представляет переработка несъедобной биомассы сои, потенциально содержащей ингибиторы роста, и оценка её влияния на продуктивность растений, культивируемых в замкнутых условиях.

Целью нашей работы было изучение влияния состава органических остатков сои и огурца, а также условий аэрации субстрата на процессы газообмена и продуктивность растений редиса при выращивании на почвоподобном субстрате.

Объектами исследования выступали несъедобные растительные остатки сои и огурца, внесённые в свежеприготовленный почвоподобный субстрат (ППС) [2]. В качестве тест-культуры использовали редис, выращиваемый в герметичных вегетационных камерах. Экспериментальные варианты различались по виду вносимой растительной биомассы и условиям аэрации: добавлением разрыхлителя (стеклянные шарики), применением воздушного насоса [3].

Оценка проводилась по динамике CO_2 в атмосфере камер и морфометрическим показателям редиса. Газообмен регистрировался с использованием инфракрасных газоанализаторов LI-COR 840A (США).

Без выращивания растений наибольшее выделение CO_2 из субстрата происходило в первые 5–7 суток после внесения растительных остатков, особенно огурца. Это свидетельствует о начальной высокой микробной активности. Варианты с соей демонстрировали более слабое и длительное разложение органики, сопровождавшееся меньшим потреблением CO_2 растениями в дальнейшем (рисунок 1 и 2).

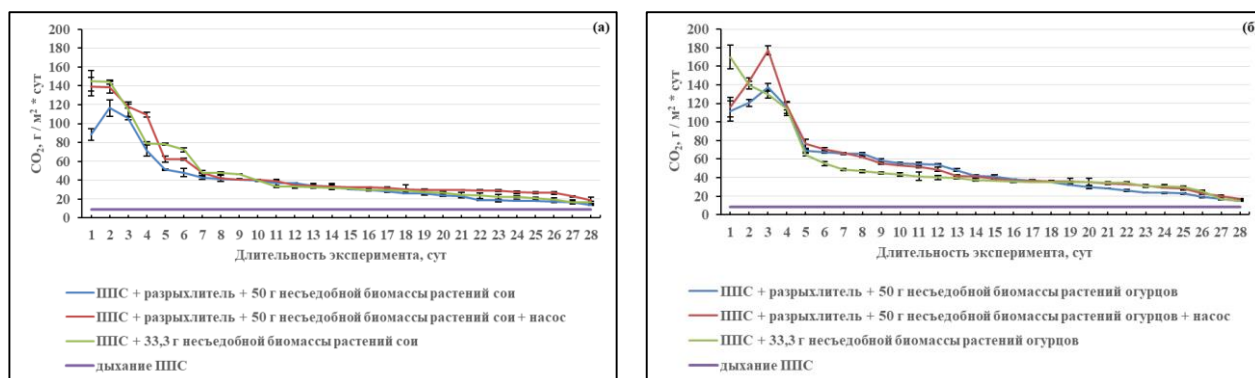


Рисунок 1. Динамика изменения концентрации CO_2 в вегетационных камерах без выращивания растений редиса на субстратах с внесенными несъедобными остатками растений сои (а) и огурца (б) при разных условиях аэрации субстрата

В присутствии выращиваемого редиса динамика газообмена отличалась: в вариантах с остатками огурца уже на 15–17-й день наблюдалось преобладание фотосинтетического поглощения CO_2 над его выделением, тогда как с соей такой эффект фиксировался позднее и только в случае применения разрыхлителя (рисунок 2).

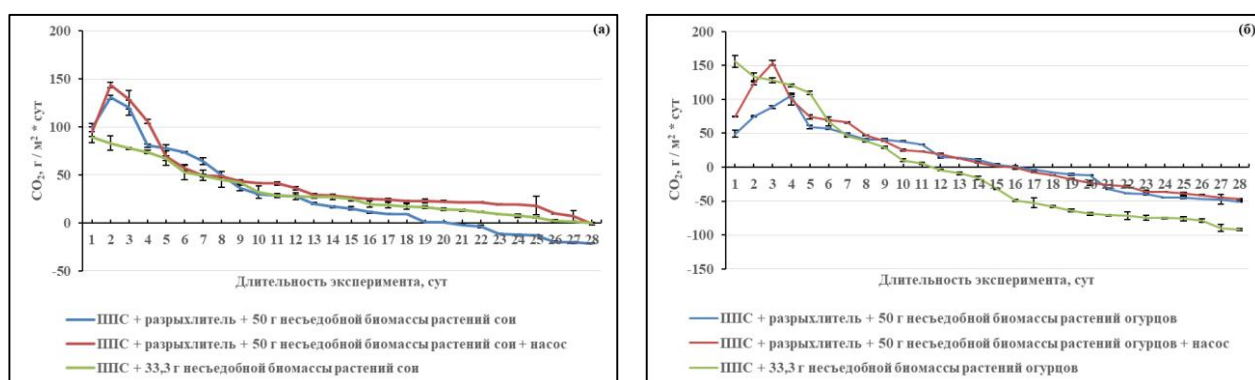


Рисунок 2. Динамика изменения концентрации CO_2 в вегетационных камерах с выращиванием растений редиса на субстратах с внесенными несъедобными остатками растений сои (а) и огурца (б) при разных условиях аэрации субстрата

Максимальная продуктивность редиса достигалась при внесении остатков огурца без дополнительных мер по аэрации. При добавлении сои продуктивность была минимальной, особенно в варианте с принудительной аэрацией насосом, которая, предположительно, нарушала условия для нормальной микробиологической конверсии сложной органики. Вариант с соей и разрыхлителем без принудительной аэрации показал умеренные значения продуктивности (рисунок 3).

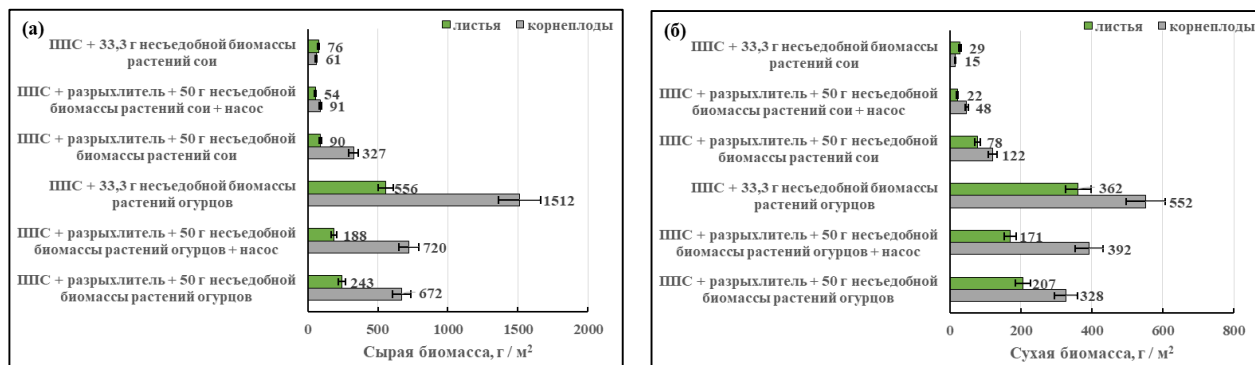


Рисунок 3. Влияние внесенной несъедобной биомассы растений сои и огурца на продуктивность растений редиса (сырая (а) и сухая (б) биомасса), выращенных при разных условиях аэрации субстрата

Полученные результаты показали, что растительные остатки огурца обладают более высокой скоростью биологического разложения по сравнению с остатками сои, что позволяет эффективнее вовлекать их в круговорот веществ в замкнутой системе. Варианты с принудительной аэрацией достоверно не способствовали ускорению биоконверсии и повышению продуктивности: отмечалось снижение продуктивности редиса, вероятно, из-за угнетения микробной активности и замедления разложения токсичных веществ. Улучшение структуры субстрата за счёт добавления разрыхлителя частично

компенсировало негативное влияние продуктов разложения сои, но не устраняло его полностью.

Список литературы

1. Possible risks for the functioning of cyclic processes in the experimental model of a closed ecosystem / A. Tikhomirov, S. Ushakova, V. Velichko [et al.] // Life Sciences in Space Research. 2022. Vol. 33. P. 33–40.

2. Waste bioregeneration in life support CES: development of soil organic substrate / N. Manukovsky, N. Kovalev, V. Rygalov [et al.] // Advances In Space Research. 1997. Vol. 20. P. 1827–1832.

3. Повышение продуктивности растений за счет улучшения воздухообмена почвоподобного субстрата применительно к условиям БСЖО / В.В. Величко, А. А. Тихомиров, С. А. Ушакова [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2023. № 6. С. 68–76.

УДК 577.25

RAGE – ОПОСРЕДОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ ФОРМАЛЬДЕГИДА НА ТЕЧЕНИЕ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

И. Г. Михайлов^{1, 2}

Научный руководитель А. Н. Шуваев^{1, 2}

Ph.D., д.м.н., руководитель НИИ молекулярной медицины и патобиохимии

Соруководитель О. С. Белозор²

к.б.н., научный сотрудник НИИ молекулярной медицины и патобиохимии

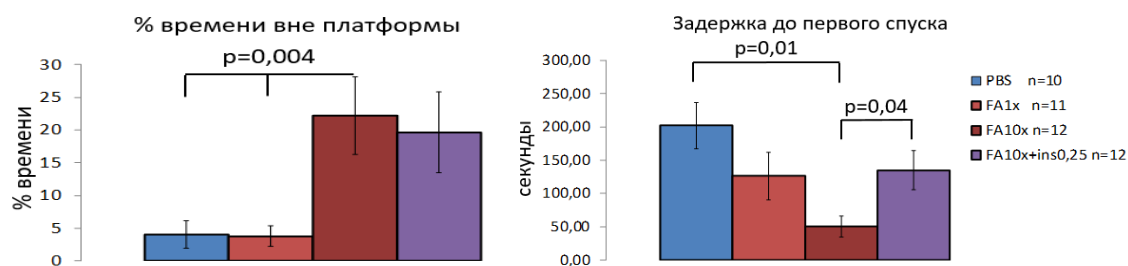
¹*Сибирский федеральный университет*

На сегодняшний день болезнь Альцгеймера (БА) остается неизлечимым заболеванием. Существует множество факторов, способствующих развитию БА, среди которых значительную роль играют экологические условия. В ряде российских городов наблюдается превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) формальдегида (ФА). В 2023 году среднегодовая концентрация ФА превышала 1 ПДК в 146 городах. Особенно высокие показатели фиксируются в Красноярском крае, Иркутской области и других регионах [1]. Хроническое воздействие ФА приводит к накоплению амилоидных бляшек и может вызывать гипергликемию, что подтверждено экспериментально [2]. Однако неясно, как это связано со снижением когнитивных функций и образованием амилоидных бляшек у мышей. За процессинг белка-предшественника амилоида (APP) отвечают α - и β -секретазы. Бета-амилоид образуется в результате процессинга APP β -секретазой. В нормальных

концентрациях $A\beta$ способствует пролиферации клеток, но в высоких концентрациях $A\beta$ образует амилоидные бляшки. Поэтому важен баланс между уровнем α - и β -секретаз, за экспрессию которых отвечают гены *ADAM10* и *BACE1* соответственно [3].

В данной работе проводилось интраназальное введение раствора FA мышам в течение 7 дней. Концентрация FA соответствовала максимальной ПДК в Красноярске в 2023 году (группа FA1x), а для более явного эффекта была увеличена в 10 раз (группа FA10x). Для достижения терапевтического эффекта была создана группа FA10x+ins, в которой помимо 10-кратного раствора формальдегида вводился инсулин (0,25 МЕ/кг). Контрольной группой служила группа, получавшая фосфатный буфер (PBS). В течение 7 дней интраназального введения FA измеряли уровень глюкозы в крови. Установлено статистически значимое увеличение уровня глюкозы через 15 минут после введения FA у групп FA1x (2-7 день) и FA10x (1-5 день) (табл. 1).

Таблица 1



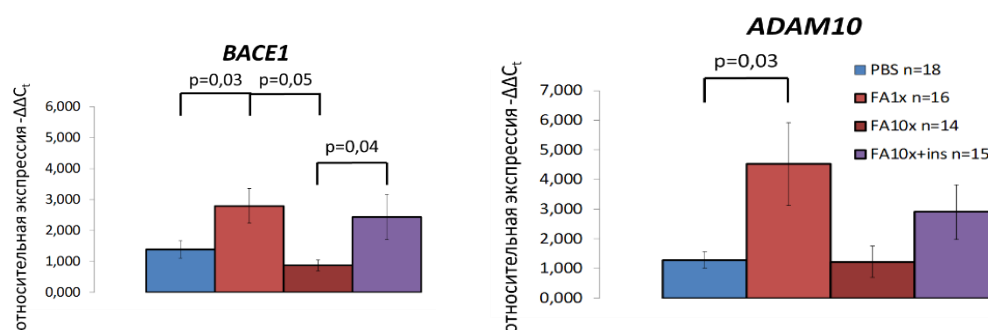
Увеличение уровня глюкозы в ответ на интраназальное введение FA. Далее проводилась оценка пространственной памяти с помощью теста пассивного избегания. В первый день проводилось обучение: при спуске с приподнятой платформы животному подавался удар током, что помогало ассоциировать спуск с негативным стимулом. Результаты показали когнитивные нарушения: с увеличением концентрации FA время до первого спуска сокращалось, а мыши группы FA10x проводили больше времени вне платформы. Введение инсулина способствовало частичному восстановлению эффективности запоминания: такие мыши больше проводили времени на платформе до первого спуска (% времени вне платформы: PBS = $4,05 \pm 2,12$, FA1x = $3,8 \pm 1,5$, FA10x = $22,1 \pm 5,9$, FA10x+ins = $19,65 \pm 6,1$), (задержка до первого спуска: PBS = $202,11 \pm 34,5$, FA1x = $126,11 \pm 35,45$, FA10x = $50,24 \pm 15,6$, FA10x+ins = $134,95 \pm 29,14$) (рис. 1).

После 7-ми дней введения FA проводилось иммуногистохимия срезов гиппокампа на рецептор конечных продуктов гликирования (RAGE). С увеличением концентрации FA – увеличивалась экспрессия данного рецептора во всех зонах гиппокампа. Однако в группе FA10x введение инсулина

Группа	Зона гиппокампа		
	CA1	CA3	DG
PBS	73,3 $\pm$ 4,9	79,8 $\pm$ 24,17	23,6 $\pm$ 3,5
FA1x	80,4 $\pm$ 8,6	108,2 $\pm$ 19,8	32,0 $\pm$ 3,6
FA10x	388 $\pm$ 29,2	438,1 $\pm$ 54,36	250,1 $\pm$ 35,29
FA10x+ins	24,5 $\pm$ 5,3	43,5 $\pm$ 30,03	18,0 $\pm$ 3,5

позволило значительно снизить экспрессию этого рецептора ($PBS=73,3\pm4,9$, $FA1x=80,4\pm8,6$, $FA10x=388\pm29,2$, $FA10x+ins=24,5\pm5,3$) (талб. 2).

Интраназальное введение формальдегида повышает экспрессию RAGE в гиппокампе. Повышенная экспрессия RAGE усиливает взаимодействие с лигандом, что увеличивает экспрессию гена *BACE1*. Высокий уровень глюкозы также способствует этому через образование активных форм кислорода. Исследование экспрессии мРНК *ADAM10* и *BACE1* с помощью real-time PCR показало, что FA увеличивает их экспрессию, но при высокой концентрации (FA10x) она снижается. Введение инсулина в этой группе снова повышает экспрессию этих генов (рис. 2).



Рисунок

2. Относительная экспрессия генов *ADAM10* и *BACE1*.

Интраназальное введение FA приводит к увеличению уровня свободной глюкозы и ухудшению когнитивных функций у мышей групп FA1x и FA10x. Инсулин частично улучшил состояние мышей группы FA10x. ИГХ срезов мозга выявила увеличение экспрессии RAGE в гиппокампе, зависимое от концентрации FA, и снижение этой экспрессии при введении инсулина. Увеличение экспрессии генов *ADAM10* и *BACE1* в группе FA1x связано с высоким уровнем глюкозы, тогда как снижение в группе FA10x обусловлено гипогликемией. Также необходимо провести дополнительные исследования для объяснения увеличения экспрессии генов *ADAM10* и *BACE1* при введении инсулина.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант №24-75-00034).

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2023 году» — Красноярск, 2024.
2. Tan, T., et al. Formaldehyde induces diabetes-associated cognitive impairments // *FASEB Journal*, 2018, 32, 3669-3679, doi: 10.1096/fj.201701239R.
3. Zhang, H., et al. Proteolytic processing of Alzheimer's β -amyloid precursor protein // *J Neurochem*, 2012, 120, 9-21, doi: 10.1111/j.1471-4159.2011.

УДК 502.175 %582.26(282.256.3)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНЕКЛЕТОЧНОГО ВЕЩЕСТВА, АССОЦИИРОВАННОГО С ВОДНЫМ МХОМ, ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ В Р. ЕНИСЕЙ

В. В. Сухоруков¹

Научный руководитель Т. А. Зотина^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Водный мох *Fontinalis antipyretica* Hedw. – вечнозеленый макрофит который, массово развивается на проточных участках реки Енисей, прикрепляясь ризоидами к твердому субстрату на дне. Водный мох способен улавливать частицы взвешенного вещества, переносимого течением реки и депонировать их на поверхности побегов. Следовательно, внеклеточное вещество, ассоциированное с биомассой водного мха, можно использовать для изучения переноса ксенобиотиков течением реки. Целью работы являлось изучение состава внеклеточных частиц, ассоциированных с водным мхом, и оценка их роли в переносе техногенных радионуклидов в р. Енисей.

Пробы водного мха отбирали в р. Енисей вблизи места поступления в реку контролируемых радиоактивных отходов (2019–2023 гг.). В лаборатории со мха смывали внеклеточное вещество, как описано ранее (Zotina et al., 2024; Зотина и др., 2025). Помимо отмытой биомассы мха и внеклеточных частиц, в работе анализировались также пробы исходного (немытого) мха и донных отложений. Минеральный состав проб анализировали методом рентгеноструктурного анализа, размерные характеристики и элементный состав — с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), радионуклидный — гамма-спектрометрическим методом (Zotina et al., 2024; Зотина и др., 2025). Статистический анализ включал проведение корреляционного анализа Спирмена и кластерного анализа методом полной связи, а также применение метода главных компонент (РСА-анализа).

Доля внеклеточных частиц в пробах биомассы водного мха р. Енисей в течение пяти последовательных лет (2019-2023 гг.) варьировалась в диапазоне от 14 до 43%. Внеклеточное вещество, ассоциированное с водным мхом, включало минеральные частицы, створки диатомовых водорослей и органический мусор. Размер внеклеточных минеральных частиц варьировался в диапазоне от 5,7 до

232,2 мкм. Во внеклеточном веществе, ассоциированном с водным мхом, зарегистрированы порообразующие минералы (кварц, плагиоклаз, КППШ, слюда, хлорит Fe), природные (^7Be , ^{40}K и ^{226}Ra) и техногенные (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu и ^{241}Am) радионуклиды. С помощью кластерного анализа показано, что внеклеточные частицы водного мха близки по своему минеральному составу к пробам донных отложений, однако отличались от проб донных отложений по содержанию техногенных радионуклидов. Во внеклеточных частицах, ассоциированных с водным мхом, обнаружена значительная доля техногенных радионуклидов, регистрируемых в пробах водного мха р. Енисей: 12-67 % ^{60}Co , 38-81 % ^{137}Cs , 33-100 % ^{152}Eu , 20-60 % ^{241}Am . С помощью корреляционного анализа выявлена положительная зависимость между содержанием техногенных радионуклидов и порообразующих минералов в пробах водного мха, внеклеточных частиц мха и донных отложений: ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu с КППШ; ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{241}Am с хлоритом; ^{154}Eu с кварцем, плагиоклазом и смектитом. Следовательно, эти минералы могут участвовать в переносе радионуклидов в р. Енисей. Анализ методом главных компонент показал, что значительные различия между составом биомассы водного мха и донными отложениями по содержанию радионуклидов, минералов и органического вещества формируются за счет частиц внеклеточного вещества, ассоциированного с биомассой водного мха.

Анализ состава внеклеточного вещества, ассоциированного с водным мхом, показал, что водный мох служит биологическим барьером для взвешенного вещества, содержащего радионуклиды, которое переносится водным потоком в р. Енисей. Внеклеточные частицы выступают в качестве промежуточного звена в избирательном переносе техногенных радионуклидов в комплексе с порообразующими минералами между мхом и донными отложениями в экосистеме р. Енисей.

Список литературы

1. Zotina T. A. Particulate matter from water moss of a large Siberian river: Morphometric, mineral, elemental and radionuclide composition / T. A. Zotina, V. V. Sukhorukov, A. M. Zhyzhaev, Y. V. Alexandrova, A. D. Karpov, M. S. Melgunov, L. V. Miroshnichenko // Journal of Environmental Radioactivity. – 2024. – V. 272. – P. 107354.
2. Зотина Т. А. Анализ внеклеточного вещества, ассоциированного с водным мхом, как монитора переноса радионуклидов (^{40}K и ^{137}Cs) в р. Енисей / Т. А. Зотина, В. В. Сухоруков, Ю. В. Александрова, А. Д. Карпов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2025. 18(1). С. 82–97. EDN: TMACEY.

УДК: 577.352.56

ПАРАДОКС БРАЕССА В ДИНАМИКЕ NMDA КАНАЛА

В. Э. Будилов¹

Научный руководитель А. Н. Шуваев¹

Кандидат физико-математических наук, заведующий базовой кафедрой медико-биологических систем и комплексов

¹*Сибирский федеральный университет*

Важным механизмом патофизиологии ряда нейродегенеративных заболеваний является эксайтотоксичность — повреждение и гибель нейронов, вызванные избыточной активацией рецепторов глутамата, в частности NMDA-рецепторов. Особый интерес представляют внесинаптические NMDA-рецепторы, ток через которые инициирует длительные метаботропные процессы, способные приводить к разрушению клеточных структур.

Цель работы: смоделировать динамику работы NMDA-канала с учётом различных состояний рецептора и провести анализ ключевых параметров, влияющих на ток через канал.

Для описания токов NMDA-рецептора была построена модель, состоящая из системы дифференциальных уравнений на основе кинетической схемы переходов между функциональными состояниями рецептора [2] и модели высвобождения глутамата [3]. Оптимизация параметров модели производилась на базе данных, полученных методом локальной фиксации потенциала для клеток с заблокированной и незаблокированной NR2B субъединицей, которая была предоставлена КрасГМУ. Поиск параметров осуществлялся методом дифференциальной эволюции с последующим уточнением локальным методом (L-BFGS-B).

Экспериментальные данные демонстрируют, что при добавлении селективного блокатора NR2B субъединицы Ro25-6981 сила тока увеличивается, что противоречит интуитивному ожиданию снижения тока при блокировке.

¹© Будилов В. Э., 2025

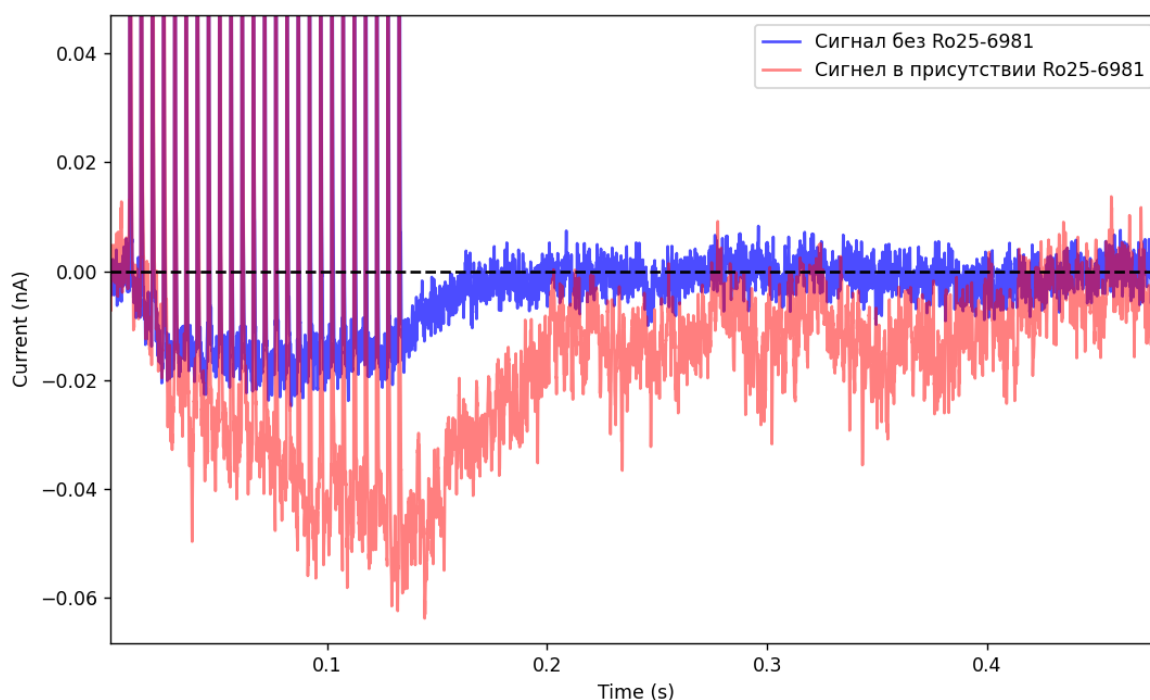


Рисунок 1. Сравнение токов через NMDA-рецептор, полученных из ABF-кривых: синим цветом — ток без блокировки, красным цветом — ток при блокировке NR2B-субъединицы с помощью Ro25-6981.

Минимизация ошибки между модельными кривыми тока и экспериментальными ABF-файлами позволила выявить ключевые параметры модели рецептора при различных уровнях мембранного потенциала. Часть найденных параметров, подставленных в модель, подтверждает контринтуитивную динамику наблюдаемую в эксперименте. Подобное поведение потоков, при которых вероятность оказаться в конечном состоянии выше при удалении одного из потоков, известно как парадокс Браесса [1].

Было подтверждено наличие данного парадокса на упрощенной кинетической схеме, состоящей из 4-х состояний с оптимизированными найденными параметрами, используя расчеты для марковских цепей.

Таким образом, парадокс Браесса может быть использован для объяснения неожиданного увеличения тока через NMDA-рецептор при блокировке NR2B-субъединицы. Математическое моделирование и оптимизация параметров позволили выявить ключевые факторы, влияющие на динамику канала, что имеет значение для понимания механизмов эксайтотоксичности.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 25-15-20029.

Список литературы:

- 1) Braess D. On a paradox of traffic planning. *Transportation Science*, 39(4), 446–450 (2005). (Translation of: Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung, 1968). <https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0127>
- 2) Santucci, D., Raghavachari, S. The effects of NR2 subunit-dependent NMDA receptor kinetics on synaptic transmission and CaMKII activation. *PLoS Comput Biol* 4, e1000208 (2008). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000208>
- 3) Manninen, T., Saudargiene, A., Linne, M.-L. Astrocyte-mediated spike-timing-dependent long-term depression modulates synaptic properties in the developing cortex. *Cerebral Cortex* 33, 1595-1612 (2023). <https://doi.org/10.1093/cercor/bhac155>

Вопросы экологии и географии Северной Евразии

УДК 504.05*502.05*665.6/7

**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ
НЕФТЕПРОДУКТАМИ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОКОВ
С ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕЙ НЕФТЕБАЗЫ
АО «КРАСНОЯРСКНЕФТЕПРОДУКТ».**

Е. И. Вырупаева¹

Научный руководитель Р. А. Шарафутдинов¹

Кандидат географических наук, директор

¹Сибирский федеральный университет

В современной промышленности различные виды нефтепродуктов повсеместно используются во многих областях. В местах хранения, переработки, транспортирования углеводородов ошибки в эксплуатации могут привести к аварийным ситуациям и крупным нефтеразливам, ведущим к значительным негативным последствиям для окружающей среды.

В границах городов последствия подобных аварий дополнительно могут быть осложнены особенностями инженерно-геологических условий.

На территории города Красноярска одним из самых масштабных объектов накопленного вреда является территория, на которой ранее размещалась нефтебаза АО «Красноярскнефтепродукт».

На данной площади производилось хранение и перекачка топлива. В дальнейшем площадка была закрыта, произведен демонтаж резервуаров и других конструкций. За период эксплуатации нефтебазы, грунты на ее территории были загрязнены нефтепродуктами различного фракционного состава на значительную глубину, суммарный объем последних оценивается в 2,6 тысячи тонн. В настоящее время линзы углеводородов располагаются под зданием торгового центра, в связи с чем их прямая ликвидация является невозможной. Накопленная смесь углеводородов постепенно через полости в грунтах стекает под уклон в район береговой линии реки Енисей и в результате выдавливания под действием давления выходит на поверхность, частично попадая в водный объект.

На основании вышеизложенных причин возникает необходимость проработки иных возможных вариантов ликвидации нефтепродуктов с учетом данных осложненных условий, которые были бы рентабельны и способствовали увеличению объемов устранения нефтяных фракций.

Уровень и границы распространения загрязнения аллювиальных почв ниже по течению от территории бывшей нефтебазы ранее не оценивались.

Не выполнялся анализ фракционного состава углеводородов, присутствующих в загрязненных почвах, без чего невозможно в полной мере оценить их токсическое воздействие на почвенную биоту. Кроме того, для города Красноярска отсутствуют опубликованные данные о фоновых содержаниях нефтепродуктов в аллювиальных почвах, что, в отсутствии установленных ПДК, препятствует объективной оценке нанесенного ущерба.

Для проведения исследований был выполнен отбор почвенных проб в 20 точках по ГОСТ 17.4.4.02-2017 [1], через относительно равные отрезки вплоть до удаления 1,2 км от места активного просачивания нефтепродуктов на поверхность низкой поймы с территории бывшей нефтебазы. Отбор выполнен послойно в интервале 0-5 и 5-20 см. Дополнительно произведен отбор фоновых проб аллювиальных почв в 10 точках выше по течению от источника загрязнения, в пределах низкой поймы правого берега р. Енисей. Фракционный состав нефтепродуктов непосредственно в месте их выхода и состав выделенных из почвенных разностей нефтепродуктов на удалении 1,2 км определялся на приборе АРН-ЛАБ-02. Содержание нефтепродуктов в почвенном покрове осуществлялось по ГОСТ 2177-99 [2]. Стандартные свойства почв определялись общепринятыми методами.

Согласно результатам измерений нефтепродуктов на приборе АРН-ЛАБ-02 путем перегонки в составе жидких углеводородов в основном превалирует дизельная или тяжелая (C_{15} - C_{20}) и керосиновая или средняя (C_{10} - C_{16}) и фракции [2, 3]. Между тем, фракционный состав нефтепродуктов, выделенных из аллювиальных отложений, расположенных в 1 км ниже по течению р. Енисей, имеет отличия от состава нефтепродуктов, отобранных в точке естественного излияния у уреза реки Енисей, что указывает на множественные источники нефтепродуктов, поступающих в пойменные почвы правого берега р. Енисей.

Для возможности проведения сравнительного анализа данных о количестве и составе углеводородов, содержащихся в почве, было применено несколько различных методов исследований.

Для проведения лабораторного количественного анализа с целью определения содержания нефтепродуктов в почвах был выбран гравиметрический метод по ПНД Ф 16.1.41-04 «Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом» [4], который используется при проведении государственного экологического контроля.

Выделение нефтепродуктов осуществлялось двумя различными способами экстракции. В первом случае извлечение углеводородов осуществлялось из образцов воздушно-сухой почвы путём их растворения в гексане. Наибольшие значения содержания нефтепродуктов варьируют от 854,406 до 7618,243 мг на кг пробы. Нефтепродукты из естественно-влажных образцов наиболее

загрязненных точек были дополнительно экстрагированы раствором ацетона и гексана в пропорции 2:1, что позволило также выделить легкие фракции углеводородов. По результатам исследований в трех из шести проб наблюдается снижение содержания нефтепродуктов, что свидетельствует о преобладании тяжелых фракций углеводородов в данных образцах.

Значения содержания углеводородов в фоновых пробах были получены путем экстракции гексаном. Средний показатель фонового содержания нефтепродуктов составил 348 мг на кг.

Список литературы

1. ГОСТ 17.4.4.02-2017 – 2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. 2017. 10 с.
2. ГОСТ 2177-99 – 1999. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. Минск, 1999. 25 с.
3. Гусева А. Н., Соболева Е.В. Химия горючих ископаемых. М.: Издательство Московского университета, 2010. 312 с.
4. ПНД Ф 16.1.41-04 – 2004. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом. М., 2004. 13 с.

УДК 550.42

ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

К. А. Высотский¹

Научный руководитель И. В. Борисова¹
Кандидат географических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Фоновые концентрации имеют важное прикладное значение в области оценки безопасности исследуемых почв для здоровья и жизни человека. Ряд нормативных документов, касающихся природоохранного законодательства, содержит информацию о прикладном применении значений фоновых концентраций [1, 2]. Помимо санитарно-гигиенических вопросов безопасности почв и грунтов, значения фоновых концентраций занимают важное место в эколого-геохимических научных исследованиях, так как позволяют оценить геохимический фон изучаемой территории, оценить закономерность геохимической миграции элементов в почвах и т.д. Несмотря на высокую

степень важности использования фоновых концентраций в эколого-геохимических изысканиях, не для всех регионов и территорий установлены фоновые значения, которые могли бы объективно и достоверно использоваться при описании геохимических условий и оценки загрязненности территорий.

Район исследования – газоконденсатные месторождения Богучанского района Красноярского края (Абаканский, Ильбюкчинский, Троицкий, Карабульский, Имбинский лицензионные участки).

Объект исследования – почвенный покров исследуемых участков. Почвы можно отнести к дерново-подзолистым, дерново-карбонатным, таежно-мерзлотным и аллювиальным дерновым и аллювиальным луговым почвам [5]. Геологически район сложен палеозойскими (карбонатные и карбонатно-терригенные породы), мезозойскими (вулканогенно-осадочные породы) и кайнозойскими (четвертичные образования в речных долинах) образованиями [6].

В рамках данной работы была проведена статистическая обработка данных мониторинга почвенного покрова по содержанию тяжелых металлов в почвах. При определении фоновых значений использовался интегрированный метод, включающий в себя одновременно преимущественные аспекты двух основных методов для оценки геохимического фона: прямого (эмпирического) и непрямого (статистического) [3]. Полученные значения, отобранные в процессе мониторинга геохимического фона почвенного покрова (прямой метод), были обработаны по основным статистическим показателям (непрямой метод). Полученные результаты были проанализированы с учетом геохимических, ландшафтных, почвенных и геологических условий Нижнего Приангарья. Проведена сравнительная оценка с кларками исследуемых элементов в почвах. Оценка фоновых концентраций проводилась для следующих тяжелых металлов: Cd, Co, Mn, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr и V. Для большей статистической достоверности полученных результатов итоговые значения фоновых концентраций определялись с учетом правила трех сигм (среднее + 3σ) [4].

Таблица

Фоновые концентрации тяжелых металлов в почвах Богучанского района

Элемент	Верхняя часть континентальной земной коры, мг/кг по А.П. Виноградову (Н.С. Касимову)	Фоновые концентрации в почвах Богучанского района, мг/кг	Фоновые концентрации в почвах Средней Сибири, мг/кг [8]	Фоновые концентрации в почвах Западной Сибири, мг/кг [9]	Фоновые концентрации в почвах Восточной Сибири, мг/кг [10]
Cd	0,13 (0,09)	<0,05	0,11	-	0,13
Co	18 (15)	64	9,4	13	4,73
Cr	83 (92)	51,8	21,8	84	25,9

Cu	47 (27)	120,6	18,2	31	30,7
Mn	1000 (770)	1387,4	602,6	797	310,87
Ni	58 (50)	99,9	25,6	13	15,9
Pb	16 (17)	<0,5	16,0	18	13,4
V	90 (106)	65,6	-	87	6,8
Zn	83 (75)	82,3	54,3	73	30,9

- полужирным выделены те элементы, значения которых превышают значения кларков, рекомендованных при эколого-геохимических исследованиях.

На основе полученных результатов установлено превышение фоновых концентраций у Co, Cu, Mn, Ni, Zn по сравнению с кларками литосферы (табл.). Ниже предела обнаружения содержание Cd и Pb. Фоновые концентрации элементов Co, Cu, Mn, Ni и Zn превышают таковые для почв Средней, Западной и Восточной Сибири. По геохимической классификации они относятся к сидерофильным (Co, Ni, Mn) и халькофильным (Mn, Zn, Cu). Для Zn, Cu, Ni характерна низкая подвижность в щелочных и нейтральных растворах, а для Mn и Co слабая подвижность в восстановительной глеевой среде. Кроме того, для Co, Cu и Mn характерно накопление в иллювиальных горизонтах почв в результате оподзоливания.

Высокие фоновые концентрации также могут быть связаны с минералогическим составом карбонатных, терригенных и вулканогенно-осадочных пород, слагающих исследуемую территорию. Для карбонатных и терригенных пород характерна природная обогащенность Zn, Ni, Cu, Co и Mn. В вулканогенно-осадочных породах данные элементы могут встречаться в виде сопутствующих или побочных соединений.

Полученные результаты выявили различия в фоновых концентрациях тяжелых металлов в почвах Нижнего Приангарья по сравнению с соседними регионами Западной и Восточной Сибири. Это обусловлено, прежде всего, геологическими условиями района, а также ведущими почвообразовательными процессами, которые способствуют формированию глеевых (C) и сорбционных (G) барьеров в радиальной структуре ландшафтов.

Список литературы

1. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства: введен впервые: одобрен Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России (письмо от 10.07.97 N 9-1-1/69), принят и введен в действие с 15 августа 1997 г. 42 с.

2. СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ : введен впервые : Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 июля 2021 г. № 475/пр и введен в действие с 17 января 2022 г. 150 с.

3. Интегрированный подход при определении фоновых содержаний химических элементов в почвах / Г. О. Тепаносян, О. А. Беляева, Л. В. Саакян, А. К. Сагателян // Геохимия 6(6). 2017. С. 563-570.

4. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / Министерство геологии СССР. М.: Недра, 1983. 191 с.

5. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, 2011. 632 с.

6. Гидрогеология СССР. Красноярский край и Тувинская АССР / М. Г. Капустина, Н. И. Диук, О. М. Гирфанова и др.; Ред. И. К. Зайцев, М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеологии и инж. геологии "ВСЕГИНГЕО". Краснояр. геол. упр. "КГУ". Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т "ВСЕГЕИ". 1972. 479 с.

7. Касимов, Н. С. Экогеохимия ландшафтов : [монография] / Н. С. Касимов ; Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Москва : Филимонов М. В., 2013. – 208 с. – ISBN 978-5-905097-16-4.

8. Волошин Е. И. Содержание и распределение микроэлементов в почвах средней Сибири // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2008 № 4 С. 28–37.

9. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 275 с.

10. Эколого-геохимическое состояние окружающей среды в Северном Приангарье (Восточная Сибирь) / О. Г. Савичев, Ю. Г. Копылова, А.А. Хващевская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов 316 (1). 2010. С. 129 – 136.

УДК 338.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) В УПРАВЛЕНИИ ВЫВОЗОМ МУСОРА

Д. А. Зайцев¹

Научный руководитель Н. В. Звонкова¹

Старший преподаватель

¹*Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

Географические информационные системы (ГИС) становятся важным инструментом для управления перевозками, в том числе для организации транспортировки отходов. ГИС позволяют добиться эффективного управления

благодаря точному планированию маршрутов, мониторингу состояния контейнеров и анализу данных об отходах [1].

Возможности ГИС позволяют оптимизировать маршруты мусоровозов, моделируя их с учетом плотности населения, количества контейнеров, их расположения и времени заполнения. Это позволяет развивать логистику, уменьшая время поездок и, как следствие, количество израсходованного топлива, что приводит к ощутимому экономическому эффекту [2].

Значимость данного исследования определяется возрастающей ролью геоинформационных систем (ГИС) в современных условиях. Особенно важно отметить, что экологическая информация, как правило, связана с конкретным географическим расположением, а значит, требует пространственного подхода к её обработке. В этом контексте ГИС-технологии представляют собой мощный инструмент, позволяющий эффективно собирать, систематизировать и анализировать данные при изучении состояния окружающей среды на заданной территории. Эти системы включают в себя обширные аналитические возможности, что делает их незаменимыми при разработке обоснованных решений в сфере экологического управления. Представление информации осуществляется через картографические материалы, трехмерные визуализации и другие формы пространственных данных. Например, результаты аэрофотосъёмки в различных диапазонах электромагнитного спектра (в том числе в видимом и инфракрасном) используются как исходный материал для выявления экологически опасных объектов, оценки состояния мусорных полигонов, фиксации незаконных свалок и анализа структуры твёрдых отходов [3].

Кроме того, интеграция ГИС в управление вывозом отходов, способствует созданию чистых городов, за счёт как своевременного удаления заполненных контейнеров, так и за счет снижения выбросов выхлопных газов от мусоровозов при сокращении их пробега [4].

В исследовательской работе рассмотрена проблема управления вывозом отходов в г. Реутов Московской области, которая заключается в совершении рейсов недогруженным автотранспортом, отсутствии учёта реальной дорожной обстановки, выборе неоптимального маршрута.

В ходе работы был составлен перечень статистических сведений для каждого возможного маршрута, проанализированы доступные картографические сервисы, которые могут быть использованы для создания ГИС-проекта по решению поставленных логистических задач, и выбран наиболее оптимальный сервис, рассчитан экономический эффект от внедрения ГИС-системы в управление перевозками и определено изменение количества выбросов в атмосферный воздух при сокращении пробега грузового транспорта.

Список литературы

1. Кондратьева О. Е., Росляков П. В., Боровкова А. М. Экология: Учебник и практикум. - 1-е изд. - Москва: Издательство Юрайт, 2019. - 283 с. (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-00769-5. - EDN IIMKMN.
2. Керски, Дж. Дж. Роль ГИС в обеспечении экологической устойчивости // Журнал по экологическому менеджменту, 2018
3. Официальный сайт Росприроднадзор. URL: <https://www.snta.ru/press-center/rosprirodnadzor-nalichie-sputnikovoy-navigatsii-ustanovyat-na-vneplanovykh-proverkakh/> [Электронный ресурс]
4. Роуз, У. Б., Фелпс, Д. Аналитика больших данных в управлении отходами: возможности и проблемы // Журнал более чистого производства, 2022

УДК 631.427:579.6

СООБЩЕСТВА НАПОЧВЕННЫХ МАКРОМИЦЕТОВ В ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ СИБИРИ

И. М. Косливцев¹

Научный руководитель О. Е. Крючкова¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Присутствие гриба в той или иной экосистеме определяется его экологическими потребностями, прежде всего способностью к освоению субстратов определенных физико-химических характеристик. В зависимости от нее выделяются различные эколого-трофические группы грибов. Условно микобиоту подразделяют на дереворазрушающие и напочвенные грибы. В группу напочвенных макромицетов объединяются виды, населяющие почву и различные фракции опада и подстилки. Выявить принадлежность напочвенного макромицета к той или иной трофической группе в лесных ценозах естественного происхождения трудно, так как леса часто образованы смешанными древостоями. Оптимально проводить подобные исследования в монодоминантных сообществах одновозрастных лесных культур.

Поэтому целью настоящей работы было изучение комплекса сапротрофных напочвенных макромицетов, сложившегося в культурах основных лесообразующих пород Сибири.

Опыт с основными лесными культурами Сибири был заложен в конце 60-х – начале 70-х годов XX века в окрестностях пос. им. Памяти 13 Борцов Емельяновского района Красноярского края (эксперимент Института леса СО РАН). Уникальность характеристик этих древесных насаждений состоит

в одновременном развитии шести лесообразующих пород: ели (*Picea obovata* Ledeb.), березы (*Betula* sp.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.), кедра (*Pinus sibirica* Du Tour), осины (*Populus tremula* L.), высаженных на стандартизированных по эдафическим и климатическим показателям и на граничащих друг с другом участках. Исследования древостоя и почвенного покрова [1] показали, что лиственные породы (береза, осина) принадлежат к средневозрастной группе, в то время как хвойные (кедр, сосна, ель, лиственница) относятся к группе молодняков. В настоящее время монодоминантными древостоями могут считаться только кедровник и ельник. Осинник, лиственничник и, в наибольшей мере, березняк имеют ту или иную примесь других древесных пород. Особенно высока доля подобной примеси в березняке, в котором активно развивается густой подрост сосны и ели, в то время как деревья березы выпадают из древостоя.

Исследовались материалы, собранные в конце лета и начале осени в период 2022–2024 года. Сбор, гербаризация и идентификация плодовых тел грибов осуществлялись по общепринятой методике.

В отечественной литературе общепринята шкала трофических групп грибов, предложенная А.Е. Коваленко [1980], которую исследователи часто сокращают или дополняют. Согласно применяемой шкале сапротрофные грибы подразделяются на группы сапротрофов на древесине – Le; на коре – Co; на опаде – Fd; на подстилке – St; на почве – Nu; на остатках травянистых растений – He, на мхах – M; на плодовых телах грибов-макромицетов – Mm, на экскрементах – Ex, на обугленном субстрате – C [2].

В результате проведенных исследований на территории многолетнего опыта выявлено 27 видов сапротрофных напочвенных макромицетов, все из которых являются представителями отдела Basidiomycota. Большинство выявленных видов принадлежат к порядку Agaricales, доля представителей других двух порядков незначительна. Были выявлены грибы 12 семейств и 17 родов. Самыми богатыми по числу видов оказался род *Мусена* (4 вида), *Marasmius* (3 вида), прочие роды представлены 1-2 видами [3].

Биоморфологический анализ показал, что 23 вида являлись агарикоидными грибами, три вида относились к рогатиковым грибам и лишь один был гастеромицетом.

Эколого-трофический анализ показал наличие грибов пяти эколого-трофических групп (таблица). Большинство грибов (16 видов) оказалось приурочено к подстилке, 4 вида росли на опаде, и только 5 – на почве. По одному виду приходилось на грибы, предпочитающие в качестве субстрата мхи и отмершие плодобоные тела сыроежковых грибов. Не были обнаружены виды, обычно растущие на экскрементах и на обугленных субстратах, так как данные категории субстратов в исследуемых ценозах отсутствовали.

Так же не выявлялись грибы, приуроченные к остаткам травянистых растений (как правило, характерные для луговых и остепенённых территорий).

Таблица

Сапротрофные напочвенные макромицеты многолетних лесных культур

Трофическая группа	Число видов данной группы, всего	Исследуемые ценозы (сообщества лесных культур)					
		Кедровник	Осинник	Сосняк	Лиственничник	Березняк	Ельник
		Число видов на данном субстрате					
Fd	4	1/1	1/1	0	1/1	1/1	0
St	16	4/2	2/2	3/0	4/1	2/0	6/5
Hu	5	1/0	1/0	3/1	2/0	2/1	2/0
M	1	0	1/1	0	1/1	0	0
Mm	1	0	0	0	0	1/1	0
Всего видов	27	6	7	6	7	6	8

Примечание*: в числителе - число видов данной трофической группы в исследуемом ценозе, в знаменателе - число видов, уникальных для данного ценоза, не встречающихся в других.

Наибольшее число видов исследуемых грибов было встречено в ельнике (8 видов), далее идут осинник, лиственничник (по 7 видов), кедровник, сосняк и березняк (по 6 видов). Примечательно невысокое число видов напочвенных макромицетов, выявленных в березняке. Этот ценоз уже давно перестал быть монодоминантным и из-за обильного подроста других пород обладает компонентами подстилки различного происхождения, что давало основания предполагать большее видовое разнообразие приуроченных к ним видов грибов.

Не было выявлено видов, присущих всем шести исследуемым ценозам. Встречаются на большей части исследуемых ценозов, по убыванию: *Lycoperdon perlatum* Pers. (5 ценозов), *Hemimycena lactea* (Pers.) Singer, *Inocybe geophylla* (Fr.) Kumm., *Mycena leptcephala* (Pers.) Gillet (по 3 ценоза соответственно). К двум ценозам было приурочено только 2 вида, и 19 видов были приурочены только к какому-либо одному ценозу и не встречались в других.

Таким образом, видовой состав сапротрофных напочвенных макромицетов синхронных лесных культур, сформированных в идентичных климатических и эдафических условиях, включал в себя 27 видов грибов, оказался достаточно специфичным для каждого ценоза, и был представлен преимущественно подстилочными сапротрофами.

Список литературы

1. Безкоровая И. Н., Ведрова Э. Ф., Попова Э. П., Спиридонова Л. В., Шугалей Л. С., Яшихин Г. И. Развитие искусственных лесных биогеоценозов // Сиб. экол. журн. 1997. №4. С. 393–403.
2. Ведрова Э. Ф., Решетникова Т. В. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесобразующих пород Сибири //

Лесоведение. 2014. № 1. С.42-50.

З. Коваленко А. Е. Экологический обзор грибов из порядка Polyporales, Boletales, Agaricales, Russulales в горных лесах центральной части Северо-Западного Кавказа // Микология и фитопатология. 1980. № 4. С.

УДК 582.284

СИНАНТРОПНЫЙ КОМПЛЕКС ПРИУРОЧЕННЫХ К *POPULUS* SPP. И *BETULA* SPP. КСИЛОТРОФНЫХ МАКРОМИЦЕТОВ В ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ Г. КРАСНОЯРСК

К. В. Куцель¹

Научный руководитель О. Е. Крючкова¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Ксилотрофные макромицеты характеризуются их способностью развиваться на живых деревьях и древесных остатках, что обуславливает их важную роль в экосистемах, где они участвуют в круговороте веществ, разлагая органические материалы. Синантропный комплекс грибов образуется в результате взаимодействия организмов со средой, измененной человеком. В данном случае — это макромицеты, ассоциированные с деревьями, которые часто произрастают в городских и пригородных ландшафтах. Региональный синантропный комплекс ксилотрофных макромицетов, приуроченных к родам *Betula* и *Populus* охватывает взаимосвязь грибов, ассоциированных с этими древесными растениями, с окружающей средой, в том числе антропогенно-преобразованной, в масштабах крупного промышленного города [1]. Изучение ксилотрофных макромицетов в синантропных комплексах может иметь практическое значение для разработки методики микоиндикации состояния окружающей среды.

В связи с этим целью данной работы является изучение синантропных ксилотрофных макромицетов, ассоциированных с древесными растениями родов *Populus* и *Betula* в городе Красноярск.

Объектом исследований служили ксилотрофные макромицеты, ассоциированные с тополем сибирским (*Populus*× *sibirica* G.V. Krylov et G.V. Grig. ex A. K. Skvortsov) [2], осиной обыкновенной (*Populus tremula* L., далее по тексту - осина), тополем белым (*Populus alba* L.) и совокупностью видов рода *Betula* (далее по тексту – береза) произрастающими в зеленых насаждениях города, его окрестностях и на территории национального парка «Красноярские Столбы».

В ходе исследования были заложено 13 пробных площадей, на которых учитывалась встречаемость плодовых тел ксилотрофов не менее чем на 100 деревьях изучаемых пород. Пробные площади были условно

разделены на три группы: «Столбы» (территория Национального парка «Красноярские Столбы», контрольный участок), «Городские леса» (к ним относятся пробные площади мкрн. Академгородок, экопарк «Гремячая Грива», и зеленые насаждения городской застройки. Изучение микобиоты проводилось по общепринятым методикам [3]. Для количественной оценки сходства видовых составов базидиомицетов сравниваемых древесных пород был использован коэффициент Жаккара.

Изучение видового разнообразия ксилотрофных макромицетов Красноярска и его окрестностей, приуроченных к деревьям вышеуказанных пород, показало, что из 157 видов макромицетов, характерных для изучаемой территории, синантропными являлись 53 вида грибов. Из них 119 видов ассоциированы с березой, 71 вид – с осиной, 37 – с тополем сибирским, 8 – с тополем белым. Наиболее характерными для зеленых насаждений города видами грибов стали представители семейства Polyporaceae (22 вида), среди которых чаще всего встречались *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat., *Trametes gibbosa* (Pers.) Fr., *Trametes trogii* Berk., *Trametes versicolor* (L.) Lloyd). Особо высоким числом синантропных видов грибов отличился род *Trametes*.

Анализ соотношения встречаемости синантропных ксилотрофов в различных по уровню антропогенной нагрузки районах показал (таблица), что на контрольном участке («Столбы») при наиболее высоком числе ксилотрофов в целом наблюдается наименьшая их доля по сравнению с другими районами исследования (31,7%).

Таблица

Соотношение встречаемости ксилотрофных синантропных макромицетов, приуроченных к *Populus* spp. и *Betula* spp. в зеленых насаждениях г. Красноярск

Число видов Ксилотрофных макромицетов на изучаемых лиственных древесных породах	Ксилотрофные макромицеты, всего	Синантропные ксилотрофные макромицеты	Ксилотрофные макромицеты фоновых местообитаний	Доля синантропных макромицетов от общего числа видов, %
Всего в НП «Красноярские Столбы» на лиственных древесных породах	123	39	84	31,7
Всего на березе в НП «Красноярские Столбы»	100	36	64	36
Всего на березе в городских лесах (березняки мкрн.	96	40	56	41,7

Академгородок, Студгородок, СФУ)				
Всего на березе в зеленых насаждениях города	3	3	0	100
Всего на осине «Красноярские Столбы»	59	20	39	33,9
Всего на тополе сибирском в зеленых насаждениях города	36	20	16	55,6
Всего на тополе белом в зеленых насаждениях города	8	5	3	62,5

При рассмотрении комплекса ксилотрофов, приуроченных к отдельным древесным породам, выясняется, что синантропные макромицеты в значительных количествах встречаются и в антропогенно-преобразованных, и в фоновых условиях. На березе, который традиционно присущ богатый спектр дереворазрушающих грибов, в фоновых условиях синантропы так же встречаются, но в меньшем количестве (36 %), чем городских лесах (41,7 %) и в зеленых насаждениях города (100 %). Меньшим числом видов синантропных ксилотрофов в НП отличается осина (33,9 %). При этом в зеленых насаждениях города две древесных породы, относящиеся к тому же роду, и, согласно литературным данным, обладающие схожим спектром дереворазрушителей, заселяются намного большим числом синантропных ксилотрофов. К тополи сибирскому приурочено 55,6 % этой группы грибов. С тополем белым ассоциировано всего 8 видов грибов, и 62,5 % из них – синантропы.

При этом стоит отметить, что комплексы ксилотрофных синантропов, приуроченных к двум изучаемым родам деревьев, достаточно видоспецифичны, несмотря на широкую трофическую специализацию составляющих их грибов. Сходство видов ксилотрофов относительно велико лишь между двумя деревьями рода тополь (сибирский и белый, $K_J = 25\%$), и достаточно низко в сравнении с биотой синантропных макромицетов тополей и березы ($K_J = 13\%$ для тополя сибирского и белого соответственно).

Таким образом, синантропный комплекс приуроченных к *Populus* spp. и *Betula* spp. ксилотрофных макромицетов в зеленых насаждениях г. Красноярск представлен 53 видами грибов, преимущественно семейства Polyporaceae, и в приуроченности их к определенным древесным породам хорошо выражена

видовая специфичность. Доля синантропов возрастает при повышении степени антропогенной нагрузки на зеленые насаждения, причем наибольшим числом заселяющих древесину видов грибов в зеленых насаждениях города характеризуется род *Populus*.

Список литературы

1. Kryuchkova O. E. Ecotrophic Structure of the Macromycete Biota of Introduced Tree Species Growing in Krasnoyarsk Green Spaces // Contemporary Problems of Ecology. 2022. №15 P. 188–200.

2. Климов А. В., Прошкин Б. В. *Populus x sibirica* проблемы и перспективы исследования // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сб. науч. ст. по материалам XVII междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 24-27 мая 2018 г.). 2018. С. 204-207.

3. Бондарцева М. А. Определитель грибов России. Порядок Афиллофоровые. Вып. 2. СПб.: Наука, 1998. 391 с.

УДК 556.04

ОЦЕНКА ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

А.И. Макарова¹

Научный руководитель Р. А. Шарафутдинов¹

Кандидат географических наук, доцент, директор

¹*Сибирский федеральный университет*

Загрязнение атмосферы в городских ландшафтах характеризуется большой пространственно-временной неоднородностью. Она обусловливается рассредоточенным размещением источников выбросов, метеорологической ситуацией, рельефом местности, неоднородностью застройки, являющейся механическим барьером на пути воздушных потоков и способствующей формированию техногенных аномалий. Существование корреляционных зависимостей между содержанием многих загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и их содержанием в снеге, доступном для площадного опробования, позволяет использовать этот компонент ландшафта для экспрессной геохимической индикации загрязнения городской среды [1].

Целью работы являлся комплексный анализа геохимического состояния снежного покрова г. Красноярска с целью выявления основных загрязняющих веществ, оценки величины пылевой нагрузки.

Участки опробования снежного покрова представлены в таблице 1.

Таблица 1

Точки отбора проб снега в г. Красноярск

Наименование точки	Район г. Красноярска	Координаты точки
Сквер ТЭЦ-1	Ленинский	56°02'12" с.ш. 93°24'84" в.д.
Берег Базаихи	Свердловский	55°95'14" с.ш. 92°83'33" в.д.
Парк Сибсталь	Кировский	55°98'05" с.ш. 92°72'31" в.д.
Парк Горького	Центральный	56°08'30" с.ш. 92°45'49" в.д.
Покровка	Советский	56°01'45" с.ш. 92°52'11" в.д.
О. Молокова	Центральный	56°00'17" с.ш. 92°53'38" в.д.
Роща СФУ	Октябрьский	56°00'05" с.ш. 92°68'92" в.д.

По данным снегового опробования (дата отбора проб и начало снегостава, вес твердого осадка снега, параметры площади шурфа), производится расчёт пылевой нагрузки в каждой точке отбора по формуле [2]:

$$Pn = \frac{Po}{S \times t},$$

где:

Po – вес твердого осадка снега, мг;

S – площадь снегового шурфа, м²;

t – количество суток от начала снегостава до дня отбора проб.

Полученные данные о пылевой нагрузке г. Красноярска представлены в таблице 2.

Таблица 2

Пылевая нагрузка

Наименование точки	Район г. Красноярска	Пылевая нагрузка, мг/м ² *сут
Сквер ТЭЦ-1	Ленинский	31,59
Берег Базаихи	Свердловский	2,87
Парк Сибсталь	Кировский	44,96
Парк Горького	Центральный	57,32

Градации по пылевой нагрузке для установления степени загрязнения территории и уровне заболеваемости населения представлена в таблице 3 [2].

Таблица 3

Градации по пылевой нагрузке [2]

Значение, мг/м ² *сут	Степень загрязнения / уровень заболеваемости
< 250	низкая, неопасный
от 251 до 450	средняя, умеренно опасный
от 451 до 850	высокая, опасный

> 851	очень высока степень загрязнения, чрезвычайно опасный

Таким образом по градации пылевой нагрузки для выбранных точек характерна низкая степень загрязнения. А наибольшая пылевая нагрузка характерна для Центрального района, точки парк Горького. Общая фоновая пылевая нагрузка определена как 35,6 кг/км² в сутки и по Ю. Е. Саету (1990) отвечает условиям взятия проб снега на удалении 90–100 км от урбанизированных зон [2].

Важной частью работы является изучение содержания свинца в пробах. Если рассматривать Pb и его содержание в зоне ТЭЦ-1, то в период 2022-2023 года его значение в талой снеговой воде было 0,00197 мг/дм³, в 2023-2024 году это значение было уже менее предела обнаружения прибора, таким образом за два года значение сократилось. Кроме того, можно сравнить значения с данными 2010 года. В работе 2010 года рассматривается содержание Pb в пробах снежного покрова в зависимости от расстояния от ТЭЦ-1 и направления отбора проб. Среднее значение получается 69,79 мкг/л. В 2022–2024 годах значение свинца составило 0,00197 мг/дм³ или же 1,97 мкг/л. Более чем за 10 лет произошло значительное сокращение Pb, основным источником которого являлся автомобильный транспорт. Такое сокращение связано с Федеральным закон «О запрете производства и оборота этилированного автомобильного бензина в Российской Федерации» от 22.03.2003 № 34-ФЗ. Этилированный бензин применялся в основном как антидетонирующая присадка к моторному топливу, повышающая его октановое число. Таким образом в 2010 году Pb находятся преимущественно в виде металлоорганических соединений и поступал в окружающую среду в результате интенсивного функционирования автотранспорта. А введение закона и контроль за оборотом бензина, содержащего свинец, позволило добиться таких результатов [3].

Таким образом, расчёт пылевой нагрузки позволил определить, что наибольшее значение пылевой нагрузки характерно для Центрального района, но даже в его пределах значения по градации пылевой нагрузки соответствует низкой степени загрязнения. Одной из причин того, что характерна наибольшая пылевая нагрузка среди всех районов города является высокая загруженность автотранспортом. А сравнительный анализ по Pb, значение которого за 13 лет сократилось примерно в 35 раз, позволяет сделать вывод, что прекращение использования и производства этилированного бензина благоприятно повлияло на уменьшение данного элемента.

Список литературы

1. Алексеев В. Р. Снежный покров как индикатор кумулятивного загрязнения земель // Лёд и Снег. 2013. № 1(121). С. 127-140.
2. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др.

– М.: Недра, 1990. – 335 с.

З. Роговенко Е. С., Блинникова Н. В., Шубин А. А., Бондарева Л. Г. Экологический контроль антропогенного загрязнения снегового покрова одного из промышленных районов г. Красноярска // Журнал СФУ. Химия. 2010. №4.

УДК 614.841.2

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА МОЩНОСТЬ ТЕПЛОИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПОЖАРОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРИ

А. В. Мальканова^{1,2}, П. Д. Третьяков^{1,2}

Научный руководитель Е.И. Пономарев²

Кандидат технических наук, доцент

¹Сибирский федеральный университет

Тема горимости лесов и значимости послепожарных эффектов в Сибири не теряет актуальности на фоне прогнозируемых изменений климата. Практика последних лет показывает, что периодические повторения экстремальных пожарных сезонов и массовых лесных пожаров в Сибири вызывают широкий интерес не только в научном плане или в области практических решений, но и приобретает общественный резонанс. Одна из активно обсуждаемых в последние годы тем – смещение пожаров в северные широты, горимость северной части бореальных лесов и тундры Сибири, что особенно ярко проявилось в пожароопасные сезоны 2020–2023 гг. [1–2].

Цель исследования – анализ корреляционной зависимости мощности теплоизлучения от пожаров (FRP) арктической зоны Сибири от гидротермического коэффициента (ГТК) и показателя влажности ПВ–1 за 2001–2023 гг. В работе рассматриваются следующие аспекты: вариативность среднесноголетних значений суммарной мощности теплоизлучения от пожара ($FRP_{\text{сум}}$) по материалам спутниковой съёмки; зависимость $FRP_{\text{сум}}$ от показателя ПВ–1 и коэффициента ГТК; пространственная экстраполяция динамики мощности теплоизлучения от пожаров (FRP) в регионе за 23-летний период спутниковых наблюдений.

В работе выполнен геопространственный анализ метеорологических характеристик и горимости для территории арктической зоны Сибири (64–74° с.ш. 60–165° в.д.). На территории исследования рассмотрены четыре сектора, границы которых по долготе фактически совпадают с границами бассейнов крупных рек Сибири: Оби (сектор I), Енисея (с Хатангой) (сектор II), Лены (сектор III), Яны/Индикирки/Колымы (сектор IV).

Многолетние ряды метеорологических показателей были обобщены по данным открытого каталога «Специализированные массивы для климатических исследований» [3]. Всего обработаны материалы по 21 метеостанции, включая 3 метеостанции в секторе I, 6 метеостанций в секторе II, 5 метеостанций в секторе III и 7 метеостанций в секторе IV.

Используя многолетние ряды данных, мы анализировали вариации гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), в сравнении с оптимальным уровнем тепло- и влагообеспеченности территорий [4]. Обработывались данные для пожароопасного периода май–сентябрь на основе соотношения:

$$\text{ГТК} = a \cdot \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{t_i}$$

где:

R_i – количество осадков (мм) при $t > +10^\circ\text{C}$ для i -го дня сезона;

t_i – значения температуры, $^\circ\text{C}$;

$a = 10$ – нормировочный коэффициент.

Для каждого сектора на временном интервале 2001–2023 гг. анализировали фактическую горимость по шкале Мокеева Г.А. [5].

Также проводился анализ оценки мощности теплоизлучения пожара (FRP). Данные о FRP представляются в виде шейп-файла с точками, содержащими информацию о данном параметре. В работе анализировались данные о сезонных суммах $\text{FRP}_{\text{сум}}$.

Таблица

Среднемноголетние значения исследуемых параметров за период 2001–2023 гг.

Субрегион	ГТК _{ср} , ед.	ПВ-1 _{ср} , ед.	FRP _{сум} , $\cdot 10^5$ МВт	γ (горимость), %
I	1,07 $\pm$ 0,14	471 $\pm$ 81	1,8 $\pm$ 0,7	0,29 $\pm$ 0,17
II	1,2 $\pm$ 0,19	755 $\pm$ 160	2,7 $\pm$ 1,7	0,22 $\pm$ 0,13
III	0,81 $\pm$ 0,14	777 $\pm$ 125	10,7 $\pm$ 7,5	0,67 $\pm$ 0,44
IV	0,63 $\pm$ 0,09	1070 $\pm$ 139	6,8 $\pm$ 4,9	0,62 $\pm$ 0,64

Среднемноголетние характеристики обобщены в границах рассматриваемых субрегионов (табл. 1). Диапазон значений FRP, горимость ПВ–1 в арктической зоне Сибири возрастают с запада на восток, при этом параметр ГТК убывает в этом же направлении. Можно констатировать, что субрегион III с преобладанием лиственных лесов и наибольшей лесистости

отличается наивысшим уровнем горимости и высокими значениями мощности теплоизлучения от пожаров. В то же время для пожаров субрегиона IV характерны наибольшие значения пожарной опасности по условиям погоды (по методике ПВ-1). Вариативность значений ГТК указывает на разнообразие климатических условий в регионе и повышение уровня засушливости с запада на восток.

Зафиксирован коэффициент корреляции между $ГТК_{ср}$ и показателем $FRP_{сум}$ на уровне $r = -0,5$ ($p < 0,05$). Таким образом, снижение гидротермического коэффициента с запада на восток определяет повышение радиационной мощности пожаров. Положительная корреляция между ПВ-1 и показателем $FRP_{сум}$ ($r = 0,7$ при $p < 0,05$) отражает значимое влияние условий погоды на энергетические характеристики пожаров.

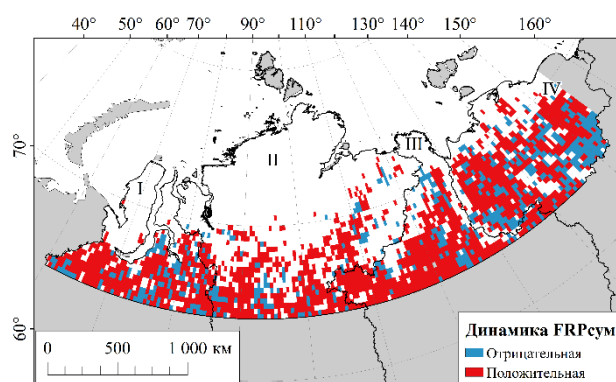


Рисунок. Пространственная динамика $FRP_{сум}$ в 2012–2023 гг. относительно 2001–2011 гг.

В период 2012–2023 гг. по сравнению с 2001–2011 гг. рост значений $FRP_{сум}$ зафиксирован на 21–42% исследуемых территорий. Наибольший прирост отмечен в III субрегионе, где положительная динамика характерна для ~56% площади. Уменьшение $FRP_{сум}$ характерно лишь для 23% территории субрегионов. На ~50% территорий выше 70° с.ш. значимых изменений $FRP_{сум}$ не выявлено. Это связано с особенностями распределения растительности, особым режимом увлажнения и, как следствие, – отсутствием пожаров в современных климатических условиях (рисунок, белый цвет). Территории с регулярными природными пожарами демонстрируют преимущественно положительную динамику $FRP_{сум}$ (рисунок, красный цвет).

Совокупность рассмотренных факторов позволяет предположить, что климатические условия последних лет в данном регионе имеют значительное влияние на горимость. Таким образом, анализ метеоданных является важнейшей составляющей эффективного прогнозирования горимости арктической зоны Сибири. Поэтому, параллельно с анализом спутниковых данных, может являться одним из направлений оптимизации систем противопожарного мониторинга в различных климатических зонах.

Список литературы

1. Descals A., Gaveau D. L., Verger A., Sheil D., Naito D., Peñuelas J. Unprecedented fire activity above the Arctic Circle linked to rising temperatures // Science. 2022. V. 378. Iss. 6619. P. 532–537.
2. Kharuk V. I., Dvinskaya M. L., Im S. T., Golyukov A. S., Smith K. T. Wildfires in the Siberian Arctic // Fire. 2022. V. 5. N. 4. Article 106. 15 p.
3. Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Коршунова Н. Н., Швец Н. В. «Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394.
4. Пономарев Е. И., Скоробогатова А. С., Пономарева Т. В. Горимость лесов Сибири и межсезонные вариации уровня тепло- и влагообеспеченности // Метеорология и гидрология. 2018. № 7. С. 45–55
5. Мокеев Г. А. Влияние экономических условий на горимость лесов и охрану их от пожаров // Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними. М.: Лесн. пром-сть. 1965. С. 26–37.

УДК 630*232.213:631.42

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДПИСАННЫХ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ВЫЖИГАНИЙ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ С УЧЁТОМ РЕГИОНАЛЬНОЙ СПЕЦИФИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИЙ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

Д. Э. Марков¹

Научный руководитель А. В. Брюханов^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Противопожарные профилактические выжигания являются одним из ключевых инструментов управления пожарной опасностью в лесном хозяйстве. Однако их эффективность и экологическая безопасность во многом зависят от региональных особенностей распределения категорий лесных земель, включая их функциональное назначение, тип растительности и природно-климатические условия. В связи с этим актуальной задачей становится оценка возможности применения предписанных выжиганий с учётом региональной специфики для минимизации рисков возникновения катастрофических пожаров и сохранения биоразнообразия.

Ядром стратегического планирования использования и комплексного освоения лесов, где включены осуществление мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов и называют целевым назначением лесов [1].

Исходя из Статьи 10 ЛК РФ «Подразделение лесов по целевому назначению» гласит, что леса, которые расположены на землях лесного фонда, по целевому назначению подразделяются на защитные, эксплуатационные и резервные леса [2].

Также стоит упомянуть статью 6.1 ЛК РФ «Земли лесного фонда», в которой говорится, что к землям лесного фонда относятся лесные и нелесные земли. В данной статье говорится, что к лесным относят земли лесного фонда, на которых расположены леса и земли, которые предназначены для лесовосстановления. К нелесным относят те, которые необходимы для освоения лесов, а также неудобные для использования [2].

Целью данной работы является проведение оценки профилактических предписанных выжиганий с учетом региональной специфики категорий лесных земель.

Объектом исследования послужили данные лесных районов субъектов Российской Федерации. Исходя из данной информации были составлены графики, как в целом для России, так и отдельного для каждого из федеральных округов (ФО). Для этой цели изучалось не только федеральное, но и региональное законодательство. Итоговая информация по целевому назначению лесов Российской Федерации в разрезе данных округов приведено на рисунке.

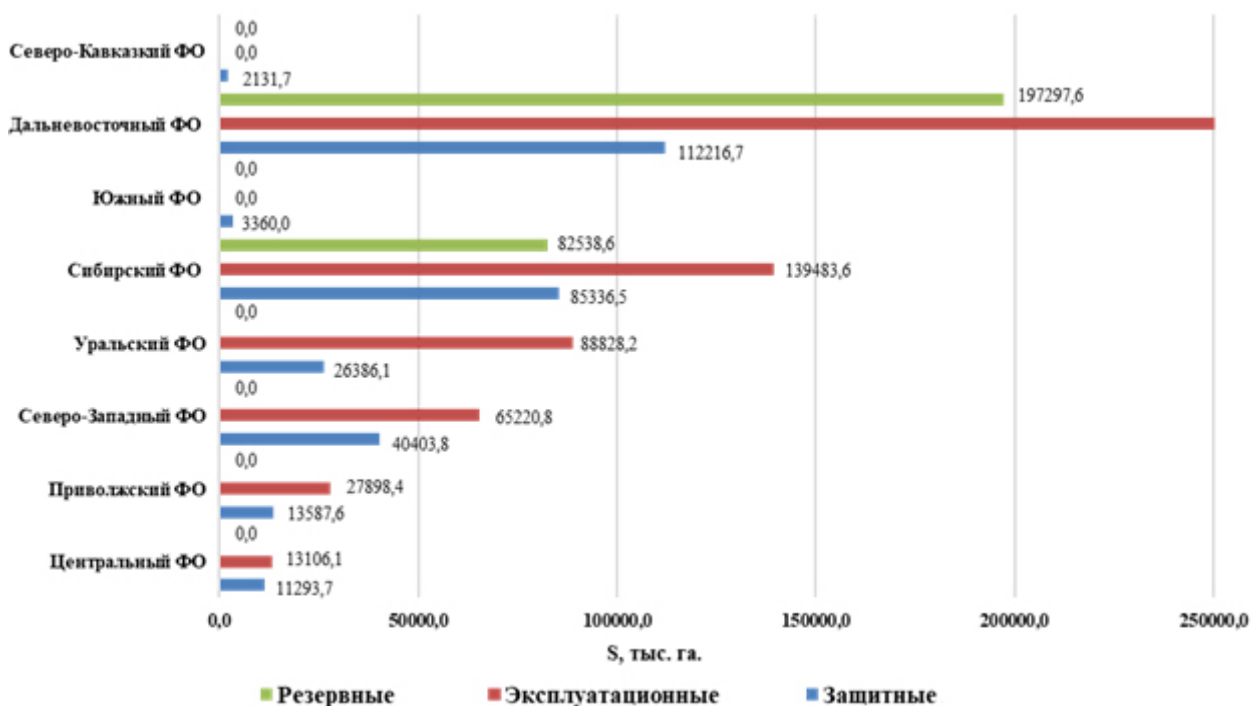


Рисунок. Сумма площадей лесов по целевому назначению для федеральных округов

Если рассматривать график (Рис.), можно увидеть, что больше всего площадей всех трех типов лесов по целевому назначению приходится на Дальневосточный ФО. Так площадь эксплуатационных лесов составила 254423,6 тыс. га., защитных 112216,7 тыс. га., резервных 197297,6 тыс. га. Если обратить внимание на данный график, то можно заметить, что южные федеральные округа, такие как Северо-Кавказский (СКФО) и Южный (ЮФО) не имеют ни эксплуатационных, ни резервных лесов, в данных федеральных округах представлены исключительно леса защитной категорией. Так для ЮФО площадь защитных земель составляет 3360,0 тыс. га., а для СКФО 2131,7 тыс. га, что является самой малой площадью по России среди всех федеральных округов.

Таблица

Соотношение площадей лесов по целевому назначению для федеральных округов, в тыс. га и в процентах

Федеральный округ	$S_{\text{общ.}}$	$S_{\text{эсп.}} / \%$	$S_{\text{резерв.}} / \%$	$S_{\text{защ.}} / \%$
Центральный	2	53,7	0	46,3
Приволжский	42 831,3/100	67,2	0	32,8
Северо-Западный	103 839,5/100	61,7	0	38,3
Уральский	114 110,7/100	77,1	0 / 0	22,9
Сибирский	307 358,7/100	45,4	26,9	27,7
Южный	3 154,8/100	0	0	100
Дальневосточный	563 937,9/100	45,1	35	19,9
Северо-Кавказский	2 134,7/100	0	0	100

Если проводить сравнение двух федеральных округов, таких как Сибирский (СФО) и Дальневосточный (ДФО), в которых наибольшая доля всех типов лесов, лидером всё также остается Дальневосточный федеральный округ. Это связано с тем, что он больше Сибирского ФО по площади, но если смотреть в процентном соотношении площадей внутри федеральных округов, то можно увидеть, что разница у них не то чтобы была большой. Так площади эксплуатационных лесов в СФО занимают 45,4 % от всей площади лесных земель округа, в то время как у ДФО – 45,1 %, что хоть и ненамного, но меньше, чем у Сибирского федерального округа. Так же СФО имеет большую долю в защитных лесах, что составило 27,7 %, когда у ДФО – 19,9 %. В Дальневосточном округе резервные леса занимают 25 %, когда в Сибирском – 26,9 %.

В рассмотрении вопроса проведения предписанных выжиганий стоит сделать упор на их проведение в эксплуатационных лесах, так как в резервных их проводить не целесообразно (в связи с отсутствием в них крупномасштабной хозяйственной деятельности не только в текущее время, но и в перспективе 15-

20 лет). В защитных лесах проведение выжиганий возможно, но в очень ограниченных масштабах. Связанно это с тем, что реализация их проведения в защитных лесах довольно затруднительна, из-за более высокой плотности населения (негативное влияние от возможности значительных пожарных эмиссий), а также более строгими экологическими требованиями. Однако, при грамотной организации и планировании мероприятий, проведение выжиганий в защитных лесах возможно даже на территории ООПТ (что, в частности подтверждает опыт национальных и природных парков на территории Красноярского края).

Подводя итог можно констатировать, что на территории России наиболее актуальным является проведение контролируемых выжиганий в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, так как доля эксплуатационных лесов в них максимальная, и на их площади ведется активная лесозаготовительная деятельность. Особенно актуально проведение выжиганий в местах лесосечных работ. Это позволяет уменьшить запасы напочвенных горючих материалов, что снижает вероятную интенсивность и скорость распространения возможных пожаров, и, как следствие, потенциальный ущерб от них. Кроме того, удаление захламленности после рубок ведет к снижению риска возникновения пожара, но распространению грибковых заболеваний и энтомовредителей. Третьей значимой причиной является уменьшение захламленности огнем способом, что позволяет без дополнительной обработки почвы проводить посев семян и саженцев, а также улучшение условий естественного возобновления от ближайшей стены леса.

Список литературы

1. Ковязин В. Ф., Полковникова В. Ю. Целевое назначение лесов в Российской Федерации // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2014. №39.
2. Лесной кодекс РФ № 200-ФЗ от 04.12.06 URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.04.2025).

УДК 574.64

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНОВ МЕДИ НА РЯСКУ МАЛУЮ (*LEMNA MINOR* L.) МЕТОДОМ ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

Я. А. Мельник¹

Научный руководитель Ю. С. Григорьев¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

При биотестировании вод на токсичность применяют тестовые организмы, представляющие разные уровни природных экосистем. Среди продуцентов преимущественно используют одноклеточные водоросли, такие как зелёные водоросли *Scenedesmus quadricauda* [1] и *Chlorella vulgaris* [2]. Ряска малая также выступает в роли продуцента, но, в отличие от водорослей, обладает более высокой структурной организацией. Благодаря этому в биотестировании она способна отражать влияние поллютантов на высшие водные растения, которые активно аккумулируют токсические вещества в своей биомассе [3].

Использование ряски в качестве тестового организма обусловлено изменчивостью её морфологических признаков, оценку которых можно проводить визуально по степени пожелтения, увядания листьев, наличию хлорозов, некрозов и других характерных реакций. Такой подход позволяет получать данные о токсичности воды без применения дорогостоящего оборудования [4]. Однако учёт морфологических изменений носит преимущественно качественный характер и требует значительного времени для получения результатов. Согласно международному стандарту ISO/DIS 20079, определение ингибирующего эффекта токсикантов на рост популяции ряски осуществляется в течение 7 суток [5]. При этом поддержание стерильности тестовой культуры на протяжении всего эксперимента значительно усложняет процесс биотестирования.

Также разработаны несколько экспресс-методов оценки токсического воздействия на ряску, среди которых регистрация эффекта ингибирования фототаксиса хлоропластов под воздействием токсикантов и измерение флуоресценции хлорофилла.

Методологический подход, основанный на флуоресцентных методах, позволяет не только наблюдать за состоянием растения, но и количественно оценивать его функционирование. Оперативную информацию о работе фотосинтетического аппарата можно получить посредством регистрации

замедленной флуоресценции (ЗФ) хлорофилла. На этой основе разработана методика экспресс-биотестирования воды с использованием микроводоросли хлореллы [6].

Целью нашей работы было исследование скорости действия ионов меди на ряску малую методом замедленной флуоресценции при наличии источника света и без него на проявление токсического эффекта.

В качестве тест-объекта в экспериментах использовалась культура ряски малой, которая выращивалась в лабораторных условиях в климатостате В4 при температуре 24 С и освещением светодиодными лампами. В экспериментах с токсикантами в среду добавляли различную концентрацию тяжелого металла. Растения подвергались воздействию металлов в растворах сульфатов меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Концентрация меди бралась из расчета на ион металла. В каждую тестируемую пробу вносилось одно растение ряски.

В качестве показателя состояния фотосинтетического аппарата ряски использовали относительный показатель замедленной флуоресценции (ОПЗФ) – отношение уровней замедленной флуоресценции хлорофилла в их индукционных максимумах при возбуждении светом высокой (ЗФв) и низкой (ЗФн) интенсивности ($\text{ОПЗФ} = \text{ЗФв} / \text{ЗФн}$).

Благодаря своей относительности ОПЗФ не зависит от размера растительного объекта и изменяется только при воздействии на его фотосинтетический аппарат.

Проведенные эксперименты показали, что токсическое воздействие ионов меди на ряску возрастает с увеличением времени экспозиции с токсикантом (рисунок). При этом токсический эффект в условиях освещения заметно выше, чем в темноте. Это может быть связано с тем, что при отсутствии освещения, процесс фотосинтеза и метаболическая активность растения замедляется, в результате чего в ряску медленнее поступают и ионы меди. Эффект воздействия отмечался уже после двух часов эксперимента, который был наиболее значительным после 24 часов экспозиции.

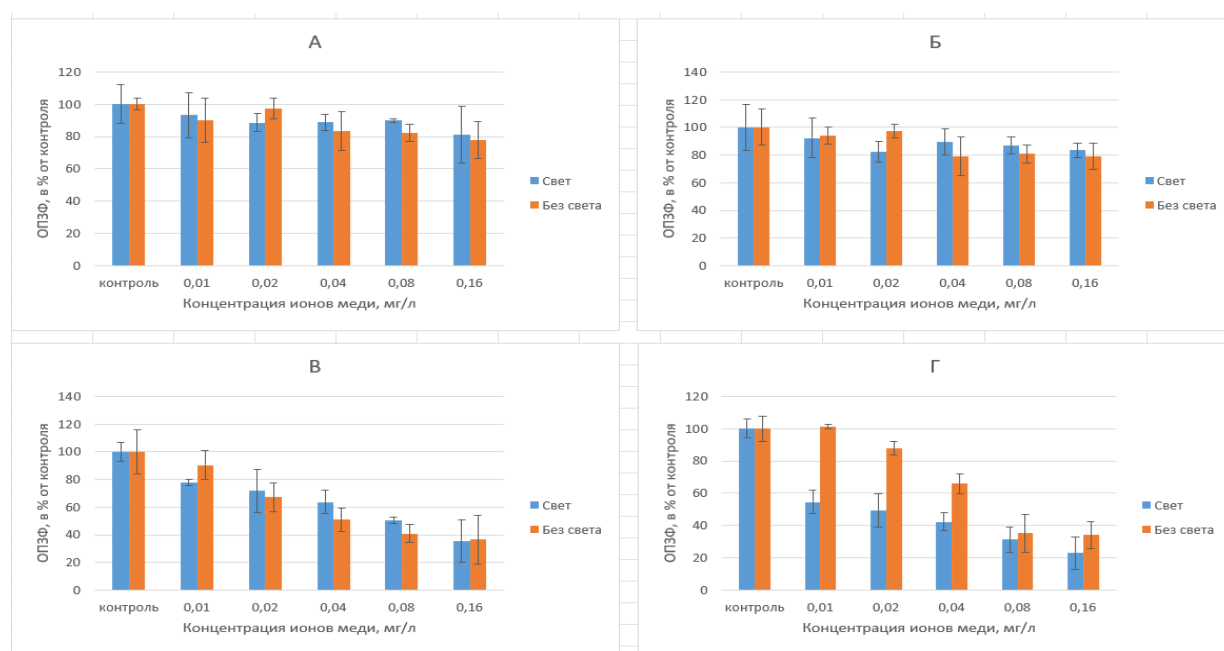


Рисунок. Действие ионов меди на ОПЗФ ряски малой при различном световом облучении тест-объекта при 1-часовой (А), 2-часовой (Б), 4-часовой (В) и 24-часовой (Г) экспозиции

Таким образом, проведенные исследования показали, что замедленная флуоресценция, в виде её относительного показателя, позволяет выявлять токсический эффект ионов меди по отношению к ряске малой уже через несколько часов после внесения их в среду, но при больших концентрациях чем в экспериментах с хлореллой. Это может быть связано с тем, что ряска в отличие от хлореллы многоклеточный организм со сложным строением из-за чего ионам труднее попадать в клеточные структуры ряски малой.

Список литературы

1. Жмур Н. С., Орлова Т. Л. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по измерению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М.: АКВАРОС, 2007. 48 с.
2. Григорьев Ю. С. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, донных отложений, осадков сточных вод, отходов производства и потребления ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 / Т 16.1:2:2.2:2.3:3.7-04,
3. Григорьев Ю. С. Оценка токсического действия ионов меди на ряску малую (*Lemna minor* L.) методом регистрации замедленной флуоресценции / Ю. С. Григорьев, М. А. Субботин // Теоретическая и прикладная экология. № 2. – Киров: Издательский Дом "КАМЕРТОН", 2013. – С. 35-38.
4. Цаценко Л. В., Малюга Н. Г. Чувствительность различных тестов

на загрязнение воды тяжёлыми металлами и пестицидами с использованием ряски малой *Lemna minor* L.. // Экология. 1998. № 5. С. 407-409.

5. ISO/DIS 20079, Water quality – determination of the toxic effect of water constituents and waste water to duckweed (*Lemna minor*) – Duckweed growth inhibition est. ISO TC 147/SC 5/WG 5, 2004.

6. Григорьев Ю. С., Андреев А. А., Кравчук И. С., Гекк П. И. Способ биотестирования токсичности вод и водных растворов. Патент на изобретение № 2482474, опубл. Бюл. изобр. № 14 от 20.05.2013.

УДК 56.074.6

ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ЛАНДШАФТОВ НА СЕВЕРНОМ МАКРОСКЛОНЕ ЗАПАДНОГО САЯНА В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

К. А. Пенина¹

Научный руководитель А. В. Гренадерова¹

Кандидат географических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Климат играет решающую роль в формировании и динамике природных экосистем. Особенно ярко это проявляется в горных регионах, таких как Западный Саян, где изменения температурного и гидрологического режимов напрямую влияют на растительный покров. Изучение палеоэкологических условий позволяет не только восстановить историю развития ландшафтов, но и прогнозировать их изменения в будущем.

Торфяные отложения — ценный источник данных о прошлом. Благодаря высокой скорости накопления органики и медленному разложению, торф сохраняет остатки растений (листья, древесину, пыльцу, споры), что позволяет реконструировать историю растительного покрова. Ботанический анализ торфа помогает восстановить локальную растительность, а споро-пыльцевой анализ — региональную [1].

После дегляциации (около 12 тыс. лет назад) на северном макросклоне Западного Саяна началось формирование современных ландшафтов. В раннем голоцене (атлантический период, 8–5 тыс. л.н.) преобладали мезофильные кедрово-пихтовые леса, что указывает на влажный и теплый климат. В суббореальный период (5–2,7 тыс. л.н.) аридизация привела к расширению сосновых и березовых лесов в предгорьях. Субатлантический период (последние

2,7 тыс. лет) характеризовался увеличением увлажнения и восстановлением темнохвойных формаций.

Цель настоящего исследования – изучение отклика растительного покрова на изменение природных условий в голоцене в бассейне реки Малая Буйба (Западный Саян).

Объектом исследования являются торфяные отложения в пойме правого безымянного притока реки Малая Буйба, в 100 метрах от морены, на высоте около 1340 м над уровнем моря. Возраст отложений, определенный радиоуглеродным датированием, составляет около 4000 лет. Растительный покров болота представлен евтрофно-мезотрофным разнотравно-осоково-сфагновым сообществом, в составе которого отмечены: зеленый и сфагновый мох. Травянистый ярус также представлен осокой алтайской (*Carex altaica*) и осокой дернистой (*Carex cespitosa*), пухоносом (*Trichophorum cespitosum*), черемица Лобеля (*Veratrum lobelianum*), древесный ярус – единичными кустами ив (*Salix*) и карликовой березы (*Betula nana*). Болото дренируется рекой, вдоль которой произрастает осоково-разнотравно-кустарниковые сообщества.

На склонах, примыкающих к болоту развит пихтово-кедровый чернично-зеленомошный лес.

Горные болота, такие как «Малая Буйба», служат индикаторами климатических изменений. Их формирование началось в конце атлантического – начале суббореального периода через заболачивание озерных котловин и суходолов.

Торфяная залежь низинного типа формировалась в несколько этапов:

- Начальная фаза (4000 лет назад): преобладание осоковых сообществ (*Carex limosa*, *C. rostrata*) с участием сфагновых мхов (*Sphagnum warnstorffii*).
- Среднесуббореальный период (3400 лет назад): переход к осоково-сфагновым ассоциациям, увеличение доли карликовой березы.
- Современная фаза: доминирование сфагновых мхов (до 90%) и снижение увлажненности (сыро-луговые условия по шкале Раменского).

Увеличение доли микроугольков (2400–2700 л.н.) указывает на частые природные пожары в периоды аридизации.

Анализ торфяных отложений выявил смену эвтрофных осоковых сообществ на мезотрофные сфагновые, что связано с колебаниями уровня грунтовых вод и температурного режима.

Для реконструкции регионального растительного покрова мы использовали спорово-пыльцевой анализ. Растения продуцируют колоссальное количество пыльцы и спор, их оболочка обладает исключительной стойкостью к различным разрушающим воздействиям и сохраняется при фоссилизации тысячелетиями [2].

На основе спорово-пыльцевого анализа выделено 5 пыльцевых зон, отражающих изменения климата и растительности:

Поздний суббореальный период (4000–3400 л.н.): доминирование сосны сибирской (*Pinus sibirica*) и карликовой березы (*Betula nana*), что указывает на холодные и влажные условия.

Конец суббореального и начало субатлантического периода (3400–2400 л.н.): увеличение доли сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сокращение темнохвойных пород, что связано с аридизацией климата.

Ранний субатлантический период (2400–1800 л.н.): максимум ксерофитных растений (*Artemisia*, *Chenopodiaceae*) и микроугольков, свидетельствующий о частых пожарах и засушливых условиях.

Средний и поздний субатлантический периоды (1800 л.н. – современность): Возрастание роли пихты (*Abies sibirica*) и сосны сибирской, что отражает возврат к более влажному климату.

Корреляция данных с палинологическими диаграммами соседних болот («Ойское», «Луговое») выявила синхронные климатические тренды [3,4]:

Похолодания сопровождалось подъемом верхней границы леса, что подтверждается сокращением темнохвойных пород в среднесуббореале.

Потепления (например, в раннем субатлантике) приводили к опусканию лесных поясов и распространению ксерофитов.

Анализ торфяных отложений показал, что смена эвтрофных осоковых сообществ на мезотрофные сфагновые связана с колебаниями уровня грунтовых вод и температурного режима. Эти изменения согласуются с региональными климатическими моделями, где суббореальный период ассоциируется с аридизацией, а субатлантический – с циклическим увлажнением.

Список литературы

1. Березина, Н. А. Об эволюции болот и их развитии в центральной части Западно-Сибирской равнины // Природные условия Западной Сибири. – 1983. – С. 137-147.
2. Шелехова Т. С, Слуковский З. И, Лаврова Н. Б. Методы исследования донных отложений озер Карелии / – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2020. – 111 с.
3. Бляхарчук, Т. А. Изменение растительности и климата Западного Саяна и их взаимосвязь с развитием археологических культур региона во второй половине голоцена по данным спорово-пыльцевого анализа болотных отложений // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 351. – С. 145-151.
4. Гренадерова А. В., Ямских Г. Ю. Палеоэкологические исследования на территории ООПТ (на примере природного парка «Ергаки») [Электронный ресурс]. URL: <https://doopt.ru/?id=721> (дата обращения: 10.04.2025).

УДК 574

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕДКИХ ВИДОВ ПТИЦ ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДИЙ СТЕПЕЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ХАКАСИИ

Е. И. Просик¹ С. Ф. Фархутдинова¹

Научный руководитель В. И. Емельянов¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Водно-болотные угодья степей северной части Хакасии входят в число ключевых орнитологических территорий Центральной Сибири, часть из них соответствует (по критериям Рамсарской конвенции) уровню регионального значения. Предыдущими исследованиями установлено, эти переувлажнённые местообитания являются местами гнездования, остановок и кормежки редких и уязвимых видов птиц, включая таксоны, занесённые в Красные книги России и Республики Хакасия.

В последние десятилетия наблюдается общее сокращение численности многих редких видов водоплавающих и околоводных птиц ввиду изменения гидрологического режима, осушения болот, пожаров, влияний разнообразных факторов беспокойства, включающих чрезмерную рекреационную нагрузку и браконьерство. Одним из важных отрицательных факторов антропогенного происхождения является разработка месторождений угля открытым способом. Карьеры и разрезы как правило образуются на территориях ценных водно-болотных угодий. Без актуальных данных о состоянии редких гнездящихся и пролётных видов и отдельных популяционных группировок сложно принять эффективные меры по их охране. Регулярный мониторинг необходим для оценки текущего состояния популяций и выработки мер сохранения [2].

Целью работы являлось получить сведения о состоянии видов и локальных популяций редких и находящихся под угрозой исчезновения птиц на территории водно-болотных угодий степной части севера Хакасии, а также видах, нуждающихся в особом контроле за состоянием их численности, за исключением особо охраняемых природных территорий федерального значения (далее – исследуемые виды).

Исследования проводились во время весенней и осенней миграций, а также в гнездовой период на ключевых водоемах и водно-болотных угодий Ширинского, Богградского и Орджоникидзевогского районов Республики Хакасия на водоёмах, расположенных в пределах Ширинской и Джиримской степей и

Июсской лесостепи с дополнительным обследованием некоторых угодий, учитывающих специфику 2024 года (рисунок). Работы осуществлялись с использованием всего комплекса методик (учеты птиц на линейных трансектах, учёт птиц в местах концентраций, точечных учетов, визуальные учеты перемещений птиц с постоянного наблюдательного пункта) [1, 3]. Общая протяженность наземных маршрутов составила более 3,6 тыс. км.



Рисунок. Основные (ключевые) угодья в степях северной части Республики Хакасия в 2024 г.

По результатам проведенных работ в степной части Хакасии в 2024 г. исследовано состояние 19 видов редких и находящихся под угрозой исчезновения птиц, а также 8 видов, нуждающихся в особом контроле (таблица).

Таблица

Перечень видов редких и находящихся под угрозой исчезновения птиц, а также видов, нуждающихся в особом контроле, исследованных в степной части Северной Хакасии в 2024 г.

№ п/п	Вид, подвид, субпопуляция	Районы северной части Республики Хакасия		
		Боградский	Ширинский	Орджоникидзевский
Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения птицы занесённые в Красные книги РФ и Республики Хакасия				
1	Черношейная поганка - <i>Podiceps nigricollis</i>	+	+	+
2	Красношейная поганка - <i>Podiceps auritus</i>	+	+	+
3	Большая выпь - <i>Botaurus stellaris</i>	+	+	+
4	Гуменник - <i>Anser fabalis</i>	-	+	-

	западный лесной гуменник - <i>Anser fabalis fabalis</i> (енисейско-обско-восточно-туркестанская популяция)			
	западный тундровый гуменник - <i>Anser fabalis rossicus</i> (тувино-минусинская субпопуляция)	+	+	+
	Сибирский таёжный гуменник - <i>Anser fabalis middendorffii</i> (саянская субпопуляция)	-	-	+
5	Лебедь-кликун - <i>Cygnus cygnus</i> (саяно-минусинская субпопуляция)	-	+	+
6	Малый лебедь - <i>Cygnus bewickii</i> (гыданская субпопуляция)	+	+	+
7	Пеганка - <i>Tadorna tadorna</i>	+	+	+
8	Касатка - <i>Anas falcata</i>	-	+	-
9	Горбоносый турпан - <i>Melanitta deglandi</i> (степная популяция)	-	+	-
10	Орлан-белохвост - <i>Haliaeetus albicilla</i>	+	+	+
11	Серый журавль - <i>Grus grus</i>	+	+	+
12	Чёрный журавль - <i>Grus monacha</i>	-	+	-
13	Журавль-красавка - <i>Anthropoides virgo</i>	+	+	+
14	Шилоклювка - <i>Recurvirostra avosetta</i>	+	+	+
15	Краснозобик - <i>Calidris ferruginea</i> (популяции Республики Саха (Якутия) и Чукотского автономного округа)	-	+	-
16	Большой кроншнеп - <i>Numenius arquata</i>	+	+	+
17	Большой веретенник - <i>Limosa limosa</i>	-	+	+
18	Черноголовый хохотун - <i>Larus ichthyaetus</i>	+	+	-
19	Малая чайка - <i>Larus minutus</i>	+	+	+

Так, из редких видов птиц преобладают представители отрядов ржанкообразные Charadriiformes и гусеобразные Anseriformes. Из общего числа отмеченных редких птиц, 10 таксонов занесены в Красную книгу РФ. Встречены виды, характер пребывания которых (утка-касатка и черный журавль) точно не установлен. Состояние популяций шилоклювки и черноголового хохотуна в 2024 г. характеризуется устойчивым сокращением. Пролетные пути малого лебедя, сохраняются, в местах их традиционных стоянок наблюдается устойчивый рост их численности (в районе оз. Джирим в период весеннего пролёта учтено более 600 этих лебедей). В связи с улучшением охранных мероприятий в Хакасии вновь стали наблюдаться остановки пролетных гусей гуменников тувино-минусинской субпопуляции. Регулярными стали встречи в летний период отдельных пар и небольших групп лебедя-кликуна. Распространение журавль-красавки связано со степной частью Хакасии и не претерпело заметных изменений.

По результатам учетов видов, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде (огарь, серая утка, красноносый нырок, галстучник, чибис, травник, щеголь), их состояние оценивается как естественная флуктуация.

Список литературы

1. Гаврилов Э. И. Методика сбора и обработки материалов по количественной характеристике видимых миграций птиц // Методы изучения миграций птиц. М., 1977. С. 96-117.
2. Кривенко В. Г., Виноградов В. Г. Птицы водной среды и ритмы климата Северной Евразии. М: Наука, 2008. 588 с.
3. Савченко А. П. Методический комплекс по изучению миграции птиц. Красноярск, 1991. 48 с.

УДК 630*182+581.55

КАРТИРОВАНИЕ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА И ОЦЕНКА ЭМИССИОННЫХ ПОТОКОВ CO₂ БОЛОТНЫХ СИНУЗИЙ

Р. Т. Садыков¹, П. Д. Третьяков^{1,2},
Научный руководитель А. В. Панов¹

Кандидат биологических наук, заведующий лабораторией

¹Сибирский федеральный университет

Современные методы дистанционного зондирования, в частности аэрофотосъёмка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), значительно расширяют возможности исследования природных систем. Высокодетализированные снимки позволяют не только фиксировать текущее состояние растительного покрова, но и проводить точную классификацию ландшафтов, отслеживать динамику экосистем. Особую ценность представляет крупномасштабное картографирование, которое даёт возможность выявлять пространственное распределение объектов, анализировать их взаимосвязи с компонентами окружающей среды и оценивать структурные особенности растительных сообществ [1].

Олиготрофные болота Западной Сибири, играют значительную роль в углеродном цикле, выступая в качестве долговременных депо органического углерода [2]. Однако их гетерогенная структура обуславливает значительную вариабельность эмиссии парниковых газов. Традиционные методы наземного мониторинга не обеспечивают достаточной пространственной детализации,

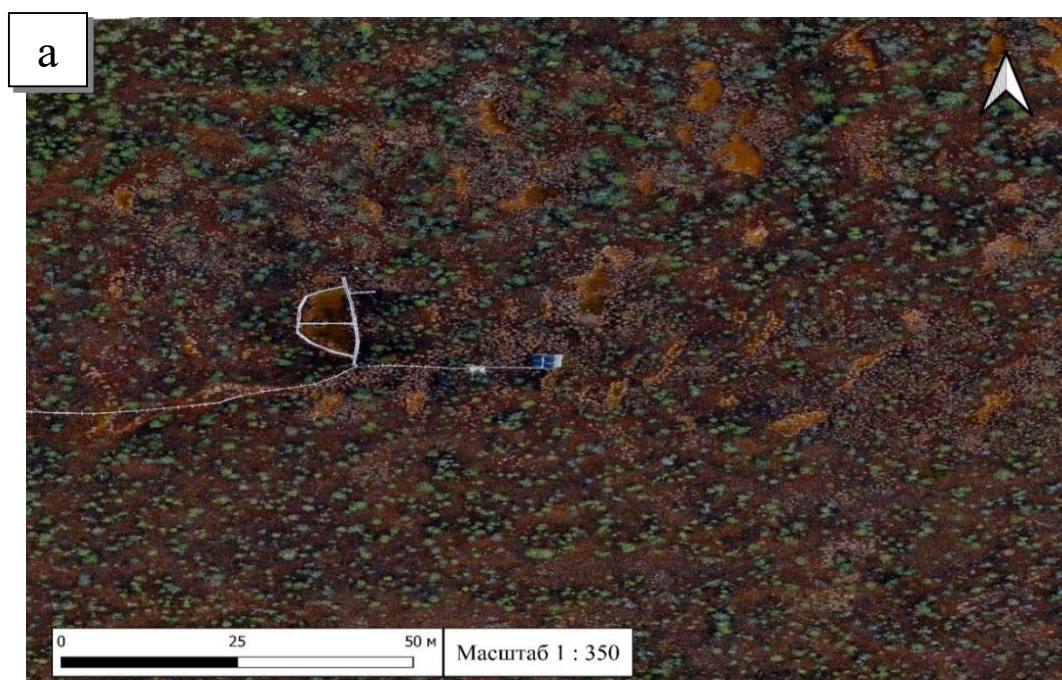
в то время как комбинация данных БПЛА и полевых измерений могут позволить выявить связь между растительными синузиями и потоками CO_2 .

Цель исследования – создание высокоточной типологической карты олиготрофного болота на основе данных аэрофотосъёмки и анализ эмиссионных потоков CO_2 в зависимости от структуры болотных синузий в зоне охвата эколого-климатической станции в районе с. Зотино.

Полевые исследования проходили в период с июня по сентябрь 2024 года на болотном массиве общей площадью 3 км², расположенном в северной части междуречья Сым-Дубчеса, в среднетаёжной подзоны Западно-Сибирской равнины. Болото покрыто сосново-кустарничково-сфагновым фитоценозом, который характеризуется как средний рям. Мощность торфяной залежи варьирует от 1,6 до 5,1 м. Тип почвы – торфяная олиготрофная типичная [3].

Мультиспектральная съёмка осуществлялась с применением БПЛА DJI Phantom 4 Multispectral. Снимки были сделаны на высоте 20 метров, в одинаковое по освещенности и погодным условиям время. Выбранный участок представляет собой полигон размерами 210×210 м.

Измерение эмиссионных потоков CO_2 с поверхности почвы проводилось с использованием ИКГА-модели LI 8100A (LI-COR Inc., США) с применением камеры 8100-103 Survey Chamber (LI-COR Inc., США) в дневное время, в период с 11:00 до 16:00 [4].



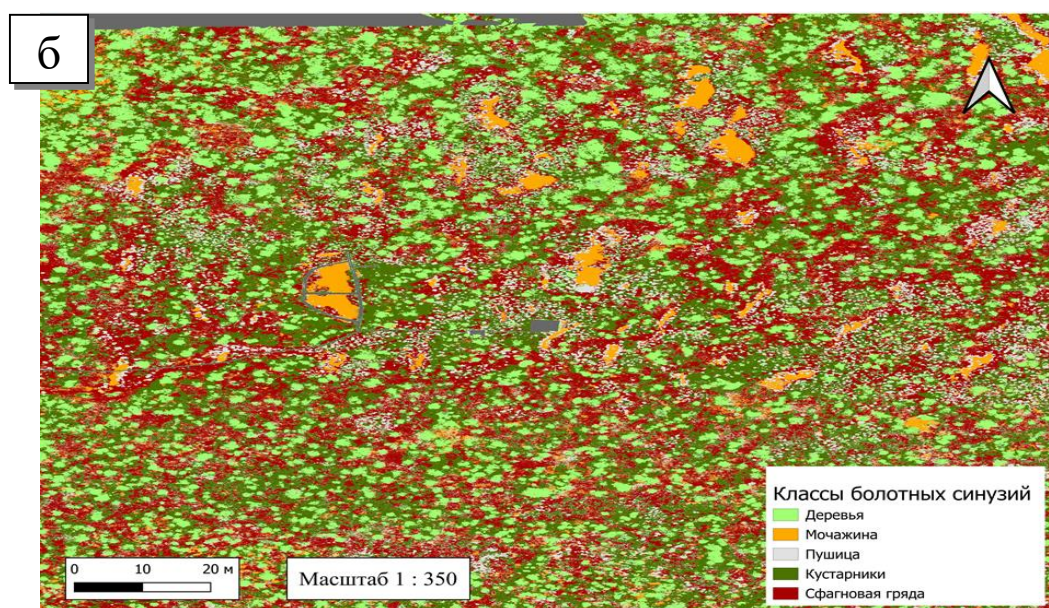


Рисунок. а – ортофотоплан с разрешением 1 см/пиксель; б – классификация болотных синузий

На основе полученного ортофотоплана выделено пять классов болотных синузий (рисунок), характерных для среднетаежной подзоны Западной Сибири: пушицевые кочки, древостой, мочажинный комплекс, сфагновые гряды и кустарничково-сфагновые гряды. На основе классифицированной карты определена площадь каждого класса. Наибольшую площадь занимают кустарничково-сфагновые гряды (34%, 14364 м²), далее следуют сфагновые гряды (27%, 11398 м²), древостой (17%, 7456 м²), пушицевые кочки (14%, 5835 м²), а наименьшую площадь среди классов занимают мочажины (8%, 3513 м²).

В ходе полевых исследований на территории изучаемого участка была определена почвенная эмиссия CO₂ для разных типов болотных синузий. Установлено, что средние потоки CO₂ за сезон на грядовых синузиях составляет $2,43 \pm 1,5$ мкмоль/(м² • с), достигая наибольших значений в июле $4,09 \pm 2,6$ мкмоль/(м² • с). Для мочажинных комплексов средние значения эмиссии были существенно ниже $0,74 \pm 0,35$ мкмоль CO₂ /(м² • с), с пиковыми показателями в июле $1,33 \pm 0,42$ мкмоль/(м² • с).

Впервые выполнено крупномасштабное картографирование болотного массива с пространственным разрешением 1 см/пиксель. Полученные аэрофотоснимки с применением БПЛА (в отличие от авиа- и спутниковых снимков) позволили создать детальную классификацию растительных синузий и точно определить их площадное распределение на исследуемом участке.

Результаты подтверждают перспективность комплексного использования БПЛА-съемки и наземных измерений для мониторинга углеродного баланса болотных экосистем. Разработанный подход позволяет не только детально картографировать структуру растительного покрова, но и более точно оценивать

вклад различных микроландшафтов в общую эмиссию парниковых газов, что имеет важное значение для прогнозирования климатических изменений в северных широтах.

Исследование выполнено в рамках проекта государственного задания № FWES-2024-0040.

Список литературы

1. Johnston C. M. T., Withey P. Managing forests for carbon and timber: a Markov decision model of uneven-aged forest management with risk // *Ecological Economics*. 2017. Vol. 138. P. 31–39.
2. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum / Yu Z. et al. // *Geophysical research letters*. 2010. Т. 37. №. 13.
3. Карпенко Л. В., Прокушкин А. С. Генезис и история послеледникового развития лесного болота в долине р. Дубчес // *Сиб. лесн. журн.* 2018. № 5. С. 33–44.
4. Динамика потоков CO₂ с поверхности почвы в сосновых древостоях Средней Сибири / А. В. Махныкина, А.С. Прокушкин, Е.А. Ваганов [и др.] // *Журн. СФУ. Сер. «Биол.»* 2016. Т. 9. № 3. С. 338–357.

УДК 574:630*114:595.2

ПОЧВЕННЫЕ МИКРОАРТРОПОДЫ ПИХТАРНИКОВ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОЛИГРАФОМ УССУРИЙСКИМ, НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КРАСНОЯРСКИЕ СТОЛБЫ»

А. В. Толстихина¹

Научный руководитель И. Н. Безкороваяная¹

Доктор биологических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Леса являются наиболее распространёнными и значимыми для биосферы экосистемами, а их почвенный покров – связующим звеном геосферных и биосферных компонентов Земли. Для сохранения и улучшения окружающей среды необходима экологическая оценка состояния всех ее компонентов [1].

Появление в локальных фаунах новых инвазивных видов, не имеющих естественных врагов и за счет этого склонных к образованию вспышек массового размножения, может причинять серьезный ущерб. Уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus* B.) – чрезвычайно агрессивный стволовой вредитель пихты сибирской (*Abies sibirica* L.) [2]. В 2018-2019 г. на территории национального парка «Красноярские Столбы» была зафиксирована массовая

гибель пихтарников в связи со вспышками массового размножения полиграфа уссурийского. Актуальным является мониторинг состояния и наблюдение за территориями, которые были поражены вспышками.

Цель работы – оценка структуры сообществ почвенных микроартропод пихтарников после вспышек массового размножения национального парка «Красноярские Столбы». Исследования проводились на двух пробных площадях (далее – ПП), которые представляют собой пихтарники со 100% гибелью древостоя, вызванной вспышками массового размножения полиграфа уссурийского, развитым подлеском и признаками возобновления пихты. На ПП «Перья» проводилась вырубка пораженных вредителем и погибших деревьев, ПП «Калтат» вырубке не подвергалась (рисунок 1).



Рисунок 1. Пробные площади «Перья» и «Калтат» на территории национального парка «Красноярские столбы»

Отбор почвенных проб проводился 9 и 10 июля 2024 года, вдоль трансекта в 10-ти повторностях на расстоянии 1-2 м друг от друга. Пробы были взяты с трех глубин (подстилка, 0-5 и 5-10 см) с помощью металлического кольца высотой 5 см и диаметром 3,5 см. Отобранные пробы подверглись обработке путем экстракции микроартропод в лабораторных условиях. Затем был проведен подсчет извлеченных организмов, определение таксономического состава и выделение экологических групп извлеченных беспозвоночных.

В связи с расположением ПП «Калтат» вблизи поймы реки Калтат, территория отличается повышенной влажностью. Также на этой ПП мощность подстилки составляет 2-3 см, в то время как на ПП «Перья» – 5-6 см и до 10 см. Отмечена разница в температурных условиях на сравниваемых ПП – температура подстилки и минеральных слоев на глубине до 10-20 см на ПП «Перья» в среднем на 2,5 градуса выше, чем на ПП «Калтат». С возрастанием глубины эта разница снижается.

Проводился учет микроартропод, к которым относятся клещи (Acari) и коллемболы (Collembola). Среди клещей выделено два отряда – мезостигматовые (Mesostigmata) и панцирные клещи (Oribatida).

На ПП «Перья» общая плотность микроартропод – 21,25 тыс экз/м². На ПП «Калтат» плотность выше – 25 тыс экз/м². На обоих ПП наибольшее количество беспозвоночных относится к подстилке (рисунок 2).

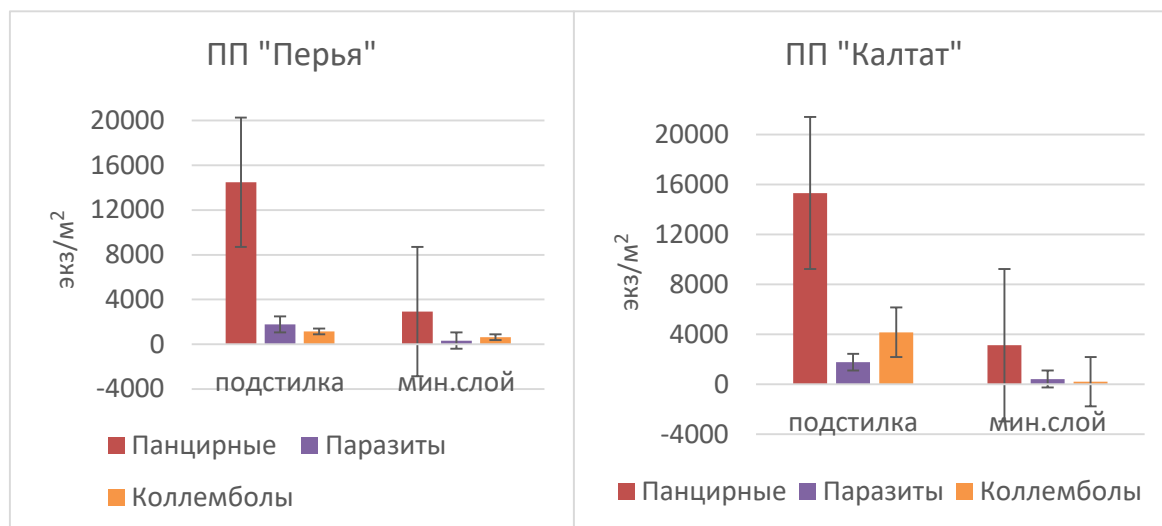


Рисунок 2. Плотность микроартропод ПП «Перья» и «Калтат», экз/м²

Плотность клещей обоих таксонов на ПП «Перья» и «Калтат» в подстилке и минеральных слоях сильных различий не имеет. Плотность коллембол в подстилке исследуемых ПП имеет существенную разницу, 1,14 тыс экз/м² на ПП, где вырубка проводилась («Перья») и в 3,5-4 раза больше, чем на ПП, где вырубки не было («Калтат»). В минеральных слоях почвы ПП «Перья» плотность коллембол в три раза выше, чем на ПП «Калтат» (рисунок 2). Предполагается, что это связано с миграцией коллембол в глубинные слои почвы в связи с изменениями условий подстилки.

Для ПП «Перья» коэффициент вариации (CV) общей плотности составил 47%, для ПП «Калтат» – 76%. Величины CV, превышающие значение 20%, обозначают высокую степень изменчивости плотности распределения микроартропод в подстилке и минеральном слое.

На обоих ПП панцирные клещи распределены агрегированно и в подстилке, и в минеральном слое, паразитические клещи – агрегированно в подстилке и равномерно в минеральном слое. Таким образом, вырубка не оказала влияния на плотность и распределение клещей. Коллемболы в подстилке исследуемых ПП распределены агрегированно, в минеральном слое на ПП «Перья» распределение случайное, на ПП «Калтат» – равномерное.

Известно, что вырубка увеличивает доступ солнечной радиации и атмосферных осадков к поверхности почвы, что приводит к изменению гидротермического режима почвы. Увеличение влажности сопровождается появлением гидрорезистентных видов в составе напочвенного покрова, в результате чего возрастает потребление влаги и постепенно понижается

влажность почв [3]. Кроме изменений гидротермического режима, одним из последствий вырубki является уплотнение лесной подстилки при проведении лесохозяйственных мероприятий, что приводит к изменению степени аэрации почв [4].

Таким образом, исследования пихтарников, подвергнувшихся вспышкам массового размножения, показали, что после проведения вырубki плотность почвенных клещей не изменилась, однако отмечено снижение плотности коллембол. Проведение вырубki отразилось на распределении микроартропод по слоям: отмечено увеличение численности коллембол в минеральном слое более чем в 3 раза.

Список литературы

1. Лесная энтомология: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е. Г. Мозолевская, А. В. Селиховкин, С. С. Ижевский [и др.] // М.: Издательский центр «Академия». 2010. С. 416.
2. Шабалина О. М. Изменение нижних ярусов фитоценозов пихтовых лесов в очагах массового размножения уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandf.) на территории Красноярского края // Шабалина О. М., Безкоровая И. Н., Баранчиков Ю. Н. // Лесн. журн. 2017. № 2. С. 67–84.
3. Богородская А. В. Микробиологическая оценка состояния почв вырубok темнохвойных лесов на юге Енисейского края / А.В. Богородская, А.С. Шишкин // Лесоведение. 2014. № 4. С. 67-75.
4. Ильинцев А. С. Динамика физических свойств подзолистой почвы на вырубках при естественном зарастании // А.С. Ильинцев, А.П. Богданов, Ю.С. Быков // Лесной журнал. 2019. № 5 (371). С. 70-82.

УДК 614.841.2

ОЦЕНКА ПОСЛЕПОЖАРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ НА ПРИМЕРЕ ЛИСТВЕННИЧНИКА ПО НАТУРНЫМ И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

П. Д. Третьяков^{1,2}, Н. Д. Якимов^{1,2}

Научный руководитель Е.И. Пономарев^{1,2}

Кандидат технических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Лесные пожары в Сибири представляют собой одну из наиболее актуальных экологических проблем XXI вв. [1, 2]. Ежегодно значительная площадь леса подвергается воздействию лесных пожаров, что деструктивно

сказывается на лесных экосистемах [2]. В условиях глобального изменения климата частота и интенсивность пожаров увеличиваются, что делает исследование пожаров и мониторинг послепожарных процессов особенно актуальными, в частности с применением средств ДЗЗ [3].

Воздействие лесных пожаров на экосистемы выражается не только в разной степени повреждения растительного покрова [3], но и отражается на функционировании почвы [4]. Восстановление экосистем после пожаров — это длительный процесс, требующий наблюдения и анализа. Современные технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предоставляют уникальные возможности для мониторинга состояния лесовосстановления, а спутниковые индексы, такие как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), GNDVI (GREEN Difference Moisture Index), NDMI (Normalized Difference Moisture Index) и продукты (LST (Land Surface Temperature)) позволяют получать косвенные оценки динамики восстановления растительного покрова, через изменения спектральных признаков растительного покрова, уровня влажности и температуры на послепожарных участках. Такие данные в совокупности с натурными сведениями позволяют контролировать сукцессионные процессы в лесных экосистемах.

Цель работы – оценка динамики восстановления участка лиственничного леса в Средней Сибири после пожара 2015 года с использованием спектральных индексов на основе хронорядов спутниковых снимков и наземных данных о температуре почв.

В работе выполнен анализ изменений спектральных индексов: NDVI, GNDVI (количественные показатели растительности), LST (температура поверхности), NDMI (показатель содержания влаги в почве и листьях растений) на участке гари в сравнении с фоновым участком за период 2014–2024 гг.; дана количественная оценка восстановления спектральных характеристик; проанализировано послепожарное влияние на температурный режим почв и поверхности на основе данных LST и наземных измерений температуры почв. Для анализа использовались спутниковые снимки среднего пространственного разрешения (15–100 м) Landsat-8 OLI/TIRS Collection 2 Level 2 из открытого каталога спутниковой информации (точка доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>), имеющие атмосферную коррекцию. Снимки подобраны за вегетационный сезон (июнь–сентябрь), количество сцен составило 60 шт., в среднем 6 сцен за сезон. Суточная динамика температуры почвы на разных глубинах получена в ходе натурального эксперимента с помощью автоматических регистраторов в июле 2024 года.

Исследования проводились в зоне сплошного распространения мерзлоты в лиственничном кустарничково-зеленомошном лесу в окрестностях п. Тура после устойчивого низового пожара 2015 г.

Результаты исследования показали, что в течение первого месяца после пожара значения спектральных индексов снизились на 153% относительно фонового участка: NDVI снизился на 72%, NDMI — на 153%, а GNDVI и NDWI — на 67% (рисунок, а, б, г). С другой стороны, избыточная инсоляция, вследствие деструкции растительного покрова и изменении альбеда поверхности послепожарного участка, вызвали рост температуры (LST) на 26% (рисунок, в).

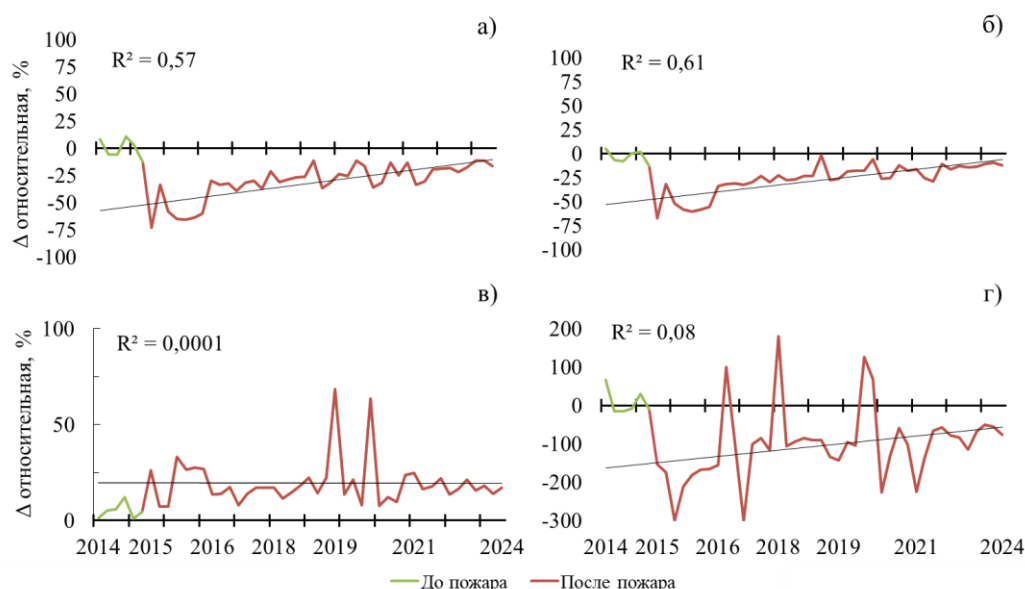


Рисунок. Динамика относительных отклонений индексов участка гари в сравнении с фоном (а – NDVI, б – GNDVI, в – LST, г – NDMI).

К 2024 году участок гари в терминах вегетационных индексов NDVI, GNDVI восстановился на $\sim 82 \pm 1\%$ I относительно допожарного состояния, по показателю влажности (NDMI), наблюдается менее интенсивное восстановление ($\sim 59\%$), а наименьшая динамика отмечена для LST ($\sim 38\%$).

Одним из последствий пожара является увеличение температуры поверхности и почв, что проявилось до глубины 25 см, за счет повреждения теплоизолирующего слоя подстилки [1–4]. Анализ данных о температуре почв и LST указывают на зависимость степени температурных отклонений на гари от глубины почвенного слоя и по сравнению с фоновыми участками (таблица).

Таблица
Среднемноголетние термические характеристики гари и фоновых участков

	Тср, °C		Т _m		ΔТ, %	
	Гарь	Фон	Гарь	Фон	Тср	Тmax

L S T						
см						
15 см						
20 см						
25 см						

Зафиксированный градиент увеличения ΔT с глубиной (от 15% до 98%) свидетельствует о том, что пожарное воздействие отражается, как на температурном режиме поверхности, так и почвенного профиля, формируя долгосрочные (до 10+ лет) термические аномалии. Резкий рост температурных отклонений в глубоких слоях (20–25 см) связан с деградацией мохово-лишайникового яруса, который в естественных условиях выполняет функцию теплоизолирующего слоя криогенных почв.

В течение 10 лет наблюдается восстановление спектральных характеристик на послепожарном участке, описанное линейными трендами. Наибольшая скорость восстановления зафиксирована в ряду GNDVI (83%, $R^2=0,61$), NDVI (81%, $R^2=0,57$), NDMI (59%, $R^2=0,08$), LST (38%, $R^2=0,0001$).

Спутниковые данные фиксируют лишь поверхностные изменения температуры, тогда как пожарное воздействие проявляется в почве на глубине до 25 см, что обуславливается деградацией мохово-лишайникового покрова. Показана эффективность комбинированного подхода, объединяющего наземные и спутниковые данные для мониторинга послепожарного восстановления и оценки постпирогенных эффектов.

Список литературы

1. Impact of forest fire on soil properties (review) / A. A. Dymov, E. V.

Abakumov, I. N. Bezkorovaynaya [et al.] // Theoretical and Applied Ecology. 2018. No. 4. P. 13-23. DOI 10.25750/1995-4301-2018-4-013-023.

2. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем / А. П. Гераськина, Д. Н. Тебенькова, Д. В. Ершов [и др.] // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4, № 2. DOI 10.31509/2658-607x-202142-11.

3. Особенности послепожарной динамики спектральных признаков участков лиственничных древостоев мерзлотной зоны Сибири / Н. Д. Якимов, Е. И. Пономарев, А. Н. Забродин [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 1. С. 106-115.

4. Безкоровая И. Н., Борисова И. В., Ильин А. А. Минерализация почвенного азота в послепожарных лиственничниках Центральной Эвенкии // Российский журнал прикладной экологии. 2019. №. 1 (17). С. 3-6.

УДК631.46

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНИЦИАЛЬНЫХ ПОЧВ НА ОТВАЛАХ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД В РАЙОНЕ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА

М. В. Тюпин¹

Научный руководитель Т. В. Пономарёва¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В результате карьерной разработки месторождений с использованием технологий взрывных работ и мощной техники формируются обширные площади с техногенным рельефом, происходит радикальное необратимое изменение растительного и почвенного покрова, ландшафта, водного режима рек и многие другие проявления [1]. При открытом способе разработки месторождений наиболее значимым воздействием является изменение рельефа местности, образование новых техногенных геосистем, которые определяют экологические особенности территории, а также загрязнение атмосферы, которое вызывается в первую очередь взрывными работами, технологическим газообразованием и пылепереносом с отвалов [2, 3]. На отвалах в результате развития техногенных экосистем формируются инициальные почвы, которые отличаются по своим свойствам от фоновых.

Исследования проводились в среднетаёжной зоне Красноярского края. Территория исследования расположена в горной местности. Объектом исследования служили инициальные почвы на отвале вскрышных пород карьера,

на котором производили добычу золота. Отвал представляет собой многоярусную техногенную положительную форму рельефа. Эксплуатационный период отвала закончен в 2013 г., на отвале произведено выравнивание поверхности с помощью тяжелой техники, биологической рекультивации не проводилось. В настоящий момент наблюдается самозарастание отвала. Фитоценоз представлен разреженным 6-8 летним березняком. В напочвенном покрове маломощный мохово-лишайниковый ярус. Отвалы сложены крупнообломочным материалом вскрышных пород, представленных сланцами кварц-серицит-биотит-хлоритового состава.

Классификация почв произведена согласно работам В. А. Андроханова [4]. Анализ свойств почв был выполнен по стандартным методикам. Образцы эмбриозёмов инициальных отобраны с различных фаций отвала.

Особенности распределения гранулометрических фракций почв обусловлены расположением по элементам рельефа, так на склонах, где тонкие фракции не задерживаются, гранулометрический состав минеральной части как фоновых почв, так и эмбриозёмов инициальных склонов отвала близкий: песчаный в верхней части и супесчаный в нижней части профиля. Уникальные условия почвообразования создаются в пределах отвала на террасах, выровненных участках, которые не характерны для естественных ландшафтов данной местности. Гранулометрический состав на выровненных участках более

Таблица 1

Показатели физических и химических свойств почв отвалов

Глубина, см	Гранулометрический состав	Физическая глина (< 0,01 мм), %	Влажность, %	Гумус, %	рН водный	Удельный вес, г/см	Карбонаты, %
Эмбриозём инициальный (транс-элювиально-аккумулятивная фация). Разрез №1							
0-5	супесчаный	16	21,32	5,57	6,8	2,73	4,77
5-10	суглинок легкий	22	21,83	5,38	5,9	2,66	2,39
10-20	супесчаный	19	23,56	4,56	6,5	2,91	1,60
Эмбриозём инициальный (Транс-элювиальная фация). Разрез №2							
0-5	песок связный	9	26,26	0,00	4,7	2,67	0,80
5-15	супесчаный	11	27,43	0,41	4	2,56	2,39

15-20	супесчаный	11	23,24	0,31	4	2,82	1,59
Эмбриозём инициальный (элювиальная фация). Разрез №3							
0-5	супесчаный	16	20,98	4,28	4,2	2,82	3,58
5-10	супесчаный	14	17,15	6,61	3,8	2,81	1,99
Эмбриозём инициальный (Транс-элювиальная фация). Разрез №4							
0-5	песок связный	9	34,95	0,38	4,7	2,69	0,00
5-10	супесчаный	12	27,74	0,62	4,5	2,70	0,20
10-15	супесчаный	12	27,56	0,62	4,7	2,65	0,60

Среднее значение удельного веса эмбриозёмов инициальных составляет 2,7 г/см, фоновых почв несколько меньше - 2,6 г/см. Наибольшие значения удельного веса отмечены внизу профиля эмбриозёмов нижней террасы, на границе с почвообразующей породой, и во всем профиле верхней террасы (элювиальная фация).

Провальная влажность характерна для отвалов вскрышных пород из крупнообломочного материала. На террасах отвала средняя влажность составляет 21%, на склонах — 27,9%, что выше из-за экспозиции склона. В фоновых почвах влажность уменьшается с глубиной, в среднем достигая 46% благодаря высокому содержанию органики, напочвенному покрову и сомкнутому древостою.

Ввиду отсутствия плоскостного смыва на выровненных поверхностях на отвале происходит интенсивное накопление гумуса, о чем свидетельствует высокое содержание органического вещества на террасах. На данный момент почвообразования средние значения содержания гумуса на террасах (5,3%) выше, чем в минеральных горизонтах фоновых почв (4%). Почвы отвалов сильноокислые, бескарбонатные, но на террасах и в ржавозёме, расположенном в непосредственной близости к отвалу, карбонаты щелочноземельных металлов накапливаются в верхних горизонтах. Вскрышные породы бескарбонатны, а напочвенный покров слабо развит и не обеспечивает почву карбонатами. Их нетипичное распределение связано с аэротехногенным поступлением пыли от карьеров. Максимальное содержание (4,77%) отмечено в поверхностном горизонте нижней террасы, где реакция слабокислая или нейтральная.

Таблица 2

Показатели физических и химических свойств фоновых почв

Глубина, см	Гранулометрический состав	Физическая глина (< 0,01 мм), %	Влажность, %	Гумус, %	рН водный	Удельный вес, г/см	Карбонаты, %
Ржавозём грубогумусовый. Разрез №5							
5-10	песок связный	6	60,82	7,44	3,7	2,65	2,75
10-15	песок связный	7	50,64	3,92	4,4	2,68	1,97
15-20	супесчаный	11	44,80	2,04	4,6	2,63	0,79
20-30	супесчаный	11	42,65	1,80	4,5	2,39	0,79
Подзолистая. Разрез №6							
15-20	песок связный	8	48,35	8,11	4,3	2,54	0,39
20-30	супесчаный	15	43,28	3,71	4,1	2,82	1,58
40-50	песок связный	8	31,26	1,24	4,3	2,63	0,79

Таким образом, на отвале создаются уникальные условия почвообразования. На террасах происходит интенсивное накопление гумуса, а также образование и аккумуляция мелкозема в верхнем слое грунта отвала, что приводит к утяжелению гранулометрического состава, повышению его водоудерживающей способности. Учитывая нетипичное распределение карбонатов по профилю и другие факторы поступления их в почву можно предположить, что карбонаты поступают в почву аэротехногенным путём вместе с пылью от мест разработки карьеров.

Работа выполнена в рамках проекта «Мониторинг биоразнообразия в районе производственных площадок АО «Полус Красноярск»» (при финансовой поддержке золотодобывающей компании «Полус Красноярск» в рамках Договора № ПК 812-23 от 18.07.2023 г.).

Список литературы

1. Sokolov, D. A. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) / D. A. Sokolov, V. A. Androkhonov, E. V. Abakumov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology. 2021. № 56. С. 6–32.
2. Косолапов, О. В. Типизация воздействий, оказываемых на окружающую среду при разработке месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 10. С. 104–109.
3. Тесленок, С. А. Загрязнение окружающей среды при открытой добыче полезных ископаемых / С. А. Тесленок, Д. А. Шперль // Молодой ученый. 2018.

№ 22 (208). С. 113–116.

4. Андроханов, В. А. Специфика и генезис почвенного покрова техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2005. № 5. С. 795–800.

УДК 630.430

ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

А. С. Усов¹

Научный руководитель Е. И. Пономарев¹

Кандидат технических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Красноярский край является одним из самых больших субъектов Российской Федерации, его лесистость составляет 45,12% общей площади [1], это означает, что лес выполняет важные функции для поддержания биоразнообразия и сохранения экосистем края и занимает очень важную роль в экономике страны в целом. Лесные пожары на данный момент являются главной причиной сокращения лесного покрова рассматриваемого региона [1].

Ввиду своей протяженности регион имеет различные лесорастительные условия, характеризующиеся различиями пожарных режимов. Всего в регионе выделяется 7 лесных районов (рядом с названием пишется номер, под которым район обозначается в таблице 1): Среднесибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги – I, Среднесибирский плоскогорный таежный – II, Западно-Сибирский южно-таежный равнинный – III, Нижнеангарский таежный – IV, Среднесибирский подтаежно-лесостепной – V, Алтае-Саянский горно-таежный – VI, Алтае-Саянский горно-лесостепной – VII [1].

По данным за предыдущие года (2006–2015) наибольшую горимость имели Нижнеангарский таежный, Алтае-Саянский горно-лесостепной, Западно-Сибирский южно-таежный равнинный лесные районы, а наименьшая была характерна для Среднесибирского района притундровых лесов и редкостойной тайги и Среднесибирского плоскогорного таежного района [2].

Цель данной работы – оценить горимость лесов Красноярского края с привязкой к лесным районам в период за 2013–2023 года.

Оценка степени относительной горимости производилась по шкале, разработанной институтом «Росгипролес».

Таблица

Горимость лесов лесных районов Красноярского края

Показатель	Лесной район						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Площадь района, тыс. га	22702	103625	8525	12923	3853	8842	295
Число пожаров на 1 млн га, шт.	0,31	5,25	8,55	31,01	114,56	33,49	177,29
Относительная горимость по площади пожаров на 1 тыс. га, га	0,06	4,6	0,8	8,25	5,6	1,74	4,27
Оценка горимости по числу пожаров	Низкая	Ниже средней	Ниже средней	Средняя	Высокая	Средняя	Высокая
Оценка горимости по площади	Низкая	Чрезвычайная	Средняя	Чрезвычайная	Чрезвычайная	Высокая	Чрезвычайная

Самые высокие оценки горимости наблюдаются у более южных лесных районов края: Нижнеангарского таежного, Среднесибирского подтаежно-лесостепного, Алтае-Саянского горно-таежного и Алтае-Саянского горно-лесостепного, что прежде всего связано с антропогенным фактором и с климатическими особенностями данной территории, в данных районах преобладающие типы леса – разнотравные [1], поэтому большая часть лесных пожаров возникают весной, после просыхания прошлогоднего травяного покрова [10].

Высокая оценка горимости также присутствует у Среднесибирского плоскогорного таежного района, во многом это связано с климатическими аномалиями – высокими летними температурами и малым количеством осадков в 2018 и 2019 годах [6]. В эти года было зафиксировано превышение средних значений по площади лесных пожаров в 2,5 и в 4 раза соответственно. К тому же, на территории данного района распространены елово-сосновые и сосново-лиственничные леса, по увалам и гривам распространены лишайниково-

кустарниковые сосновые боры, вследствие этого на территории района часто возникают беглые низовые пожары весной [9, 10].

Самое высокое значение числа пожаров на 1 млн га наблюдается у Алтае-Саянского горно-лесостепного лесного района, что прежде всего также связано с воздействием антропогенного фактора и климатическими особенностями, ведь данный район имеет низкое среднегодовое количество осадков [3].

Также для него характерна сильно изрезанная горными хребтами территория, что не дает лесным пожарам распространяться на большие площади, но и затрудняет их тушение. Схожие характеристики имеет и Алтае-Саянский горно-таежный район.

Высокие показатели имеет Нижнеангарский таежный лесной район, который исторически имеет высокую горимость, связано это с сильной антропогенной нагрузкой, а также с преобладанием сосновой формации [1]. Для сосновых лесов данного района характерны частые низовые пожары в весенний период [4, 10].

Самые низкие оценки горимости как по числу, так и площади, пройденной лесными пожарами, наблюдается у Среднесибирского района притундровых лесов и редкостойной тайги. Это прежде всего связано не сплошным распространением лесов, которые не образуют больших по площади территорий, в сравнении с другими лесными районами [1]. Также низкие показатели можно объяснить низким антропогенным воздействием на данную территорию и относительно непродолжительным пожароопасным сезоном, который, к примеру, в 2023 году длился с 26 мая по 15 сентября [7, 8].

Западно-Сибирский южно-таежный равнинный район имеет среднюю оценку горимости, прежде всего связанного с менее интенсивной антропогенной нагрузкой, чем у южных районов. У данного лесного района основная причина возникновения лесных пожаров – это грозы [5].

Среднесибирский подтаежно-лесостепной район высокие оценки горимости, что связано прежде всего с сильной антропогенной нагрузкой территории района [2].

По сравнению с показателями 2006–2015 годов, относительная горимость по площади лесных пожаров и их число значительно увеличились, особенно это заметно в Среднесибирском плоскогорном таежном районе, где оценка горимости по площади пожаров с «низкой» изменилась на «чрезвычайную». Исключениями являются Западно-Сибирский южно-таежный равнинный и Алтае-Саянский горно-лесостепной районы, где показатели претерпели относительно небольшие изменения, по сравнению с другими лесными районами.

Список литературы

1. Лесной план Красноярского края // Министерство экологии

Красноярского края: официальный сайт. – 2025. – URL:<http://mlx.krskstate.ru/lesplan?eyes=no>

2. Горимость лесов и лесоводственно-экономические предпосылки для улучшения охраны в лесных районах Красноярского края / В. В. Фуряев, П. А. Цветков, И. В. Фуряев, Л. П. Злобина // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 5. – С. 55-62.

3. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае // Министерство экологии Красноярского края: официальный сайт. – 2025. – URL: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849>

4. Иванова Г. А. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири / Г.А. Иванова, А.В. Иванов. - Новосибирск: Наука, 2015. – 239 с.

5. Лесные пожары и причины их возникновения на территории средней Сибири / Г. А. Иванова, В. А. Иванов, А. В. Мусохранова, А. А. Онучин // Сибирский лесной журнал. – 2023. – № 6. – С. 6-16.

6. Стихийные пожары: достаточно всего одной искры // Всемирная метеорологическая организация: официальный сайт. – 2025. – URL: <https://wmo.int/ru/media/stikhiynye-pozhary-dostatochno-vsego-odnoy-iskry>

7. Нормативно правовые акты // Министерство природный ресурсов и лесного комплекса: официальный сайт. – 2025. – URL: <http://mlx.krskstate.ru/npa/0/doc/95900>

8. Нормативно правовые акты // Министерство природный ресурсов и лесного комплекса: официальный сайт. – 2025. – URL: <http://mlx.krskstate.ru/npa/0/doc/98087>

9. Условия возникновения и распространения пожаров в лесных районах Красноярского края / В. В. Фуряев, П. А. Цветков, И. В. Фуряев, Л. П. Злобина // Хвойные бореальной зоны. – 2017. – Т. 35, № 1-2. – С. 66-74.

10. Kharuk, V. I. Wildfires and Burns of Siberian Taiga / V. I. Kharuk, E. I. Ponomarev // Science First Hand. – 2020. – No. 2(55). – P. 44-59.

УДК 574*581.543

НОРМАЛИЗОВАННЫЙ ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ИНДЕКС РАСТИТЕЛЬНОСТИ (NDVI) И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЭКОЛОГИИ

Н. А. Федореев¹

Научный руководитель А. С. Прокушкин^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время существует более ста различных вегетационных индексов, которые определяются эмпирическим путём на основе особенностей спектральной отражательной способности растений. Большинство популярных индексов используют соотношение между значениями красного и ближнего инфракрасного каналов. Это связано с тем, что хлорофилл в листьях поглощает красный свет (длина волны 0,62–0,75 мкм), а клеточная структура отражает ближний инфракрасный свет (0,75–1,3 мкм). Отношение этих значений позволяет отличить растительность от других объектов. Густая растительность отражает меньше красного света и больше инфракрасного. Среди наиболее распространённых индексов можно выделить RVI, NDVI, IPVI, WdVI и SAVI.

Наиболее известным и надёжным индексом является нормализованный относительный индекс растительности – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI - это широко используемый показатель, позволяющий оценить плотность и состояние растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования, он обладает рядом преимуществ, таких как: лёгкость получения, для вычисления индекса не требуется никаких дополнительных данных и методик, кроме космической съёмки и знания её параметров; возможность отслеживать динамику различных параметров; большой пространственный охват; возможность исследовать большие территории за максимально короткое время.

При расчете индекс опирается на два наиболее стабильных участка спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) располагается максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) обнаруживается область максимального отражения клеточных структур листа. А это значит, что высокая фотосинтетическая активность приводит к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. И с отношением этих показателей друг к другу можно четко выделять растительные от других объектов [1].

Расчёт индекса производится по следующей формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где:

NIR — отражение в ближней инфракрасной области,

RED — отражение в красной области.

Для визуализации NDVI используется стандартизированная шкала (от -1 до 1, 0 до 255 или 0 до 200). Отрицательные значения характерны для искусственных объектов, воды, снега и льда. Облака близки к нулю, почвенный покров имеет небольшие положительные значения. Редкая растительность даёт значения около 0,5, густая — около 0,7.



Рисунок. Визуализация индекса NDVI при различных состояниях растительности.

Области и возможности применения данного индекса в экологии достаточно обширны. Например, исследование, проведенное в Испании, показало, что бурые медведи (*Ursus arctos*) выбирают места обитания с определенными сезонными характеристиками NDVI, отражающими доступность кормовых ресурсов [2]. Так же нормализованный относительный индекс растительности позволяет проводить анализ природных явлений за продолжительный промежуток времени, таких как начало сезона роста, пик сезона и конец сезона. С помощью этих данных возможно составить многолетнюю динамику изменения надземной фитомассы в различных труднодоступных регионах крайнего севера, что является важной составляющей в исследованиях климатических изменений в этих регионах.

Безусловно такие измерения имеют ряд недостатков и не дают такую же точную и полноценную картину, как выезд с экспедицией на место, но за счет своей доступности, большого охвата, а также возможности «заглянуть» туда, куда физически добраться затруднительно или же вовсе невозможно, индекс NDVI является важным и одновременно простым и удобным инструментом

в экологии, предоставляя объемные, объективные и легкие для понимания данные о состоянии и динамике растительного покрова, а его применение охватывает широкий спектр задач, от мониторинга продуктивности экосистем и оценки качества местообитаний животных до анализа климатических изменений.

Список литературы

1. Баширова, Ч. Ф. Индекс NDVI для дистанционного мониторинга растительности / Ч. Ф. Баширова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 31 (269). — С. 30-31. — URL: <https://moluch.ru/archive/269/61895/> (дата обращения: 06.04.2025).

2. Wiegand T., Naves J., Garbulsky M. F., Fernández N. Animal Habitat Quality and Ecosystem Functioning: Exploring Seasonal Patterns Using NDVI // Ecological Monographs. 2008. Vol. 78(1). P. 87-103.

УДК 614.841.42+630*431

ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ В АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Н. Р. Франштут¹

Научный руководитель А. В. Брюханов^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

На нашей планете ежегодно возникает до 400 тысяч лесных пожаров, которые повреждают около 0,5% общей площади лесов и выбрасывают в атмосферу миллионы тонн продуктов горения [1]. В отдельные пожароопасные сезоны площадь, пройденная пожарами, только на территории Сибири и Дальнего Востока может достигать нескольких миллионов гектаров [2; 3]. Пожары были и остаются страшным бедствием, наносящим огромный ущерб экономике и создающим реальную опасность для здоровья и жизни людей [4].

Прогнозирование и мониторинг пожаров, возникающих в природной среде, остаются актуальными задачами для любого из российских регионов. В связи с этим в рамках Федерального закона от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» и Постановления Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» установлены критерии и в каждом из субъектов России ежегодно обновляются сведения о населенных пунктах и территориях, подверженных

угрозе лесных и других ландшафтных (природных) пожаров (далее «природные пожары»).

Объектами исследования выступили населенные пункты, располагающиеся в пределах Красноярского края и подверженные угрозе природных пожаров. Красноярский край является самым протяженным регионом нашей страны с севера на юг (около 3000 км), что обуславливает большое количество и различие слагающих его природных зон и ландшафтов, которые определяют различную пожарную опасность территории.

В соответствии с пунктом 76 Правил противопожарного режима [5], местные власти поселений и городских округов должны ежегодно до начала пожароопасного сезона разрабатывать и утверждать паспорта населённых пунктов, которые оценивают угрозу от природных пожаров. Ежегодно перечень таких населённых пунктов утверждается нормативным правовым актом субъекта Российской Федерации. Чтобы оценить степень риска возникновения пожаров в населённых пунктах, были проанализированы нормативно-правовые акты [6], выпущенные в 2024 г. и содержащие списки таких населённых пунктов.

В данной работе этот перечень был обработан с помощью программного пакета MS Office, при этом все административные районы Красноярского края были упорядочены по их географическому местоположению с севера на юг.

Анализ полученных данных (рисунок) показал, что в большинстве административных районов Красноярского края количество населенных пунктов, которым угрожают природные пожары сильно преобладают в их общем количестве, а в некоторых районах их доля достигает 100% от общего числа.

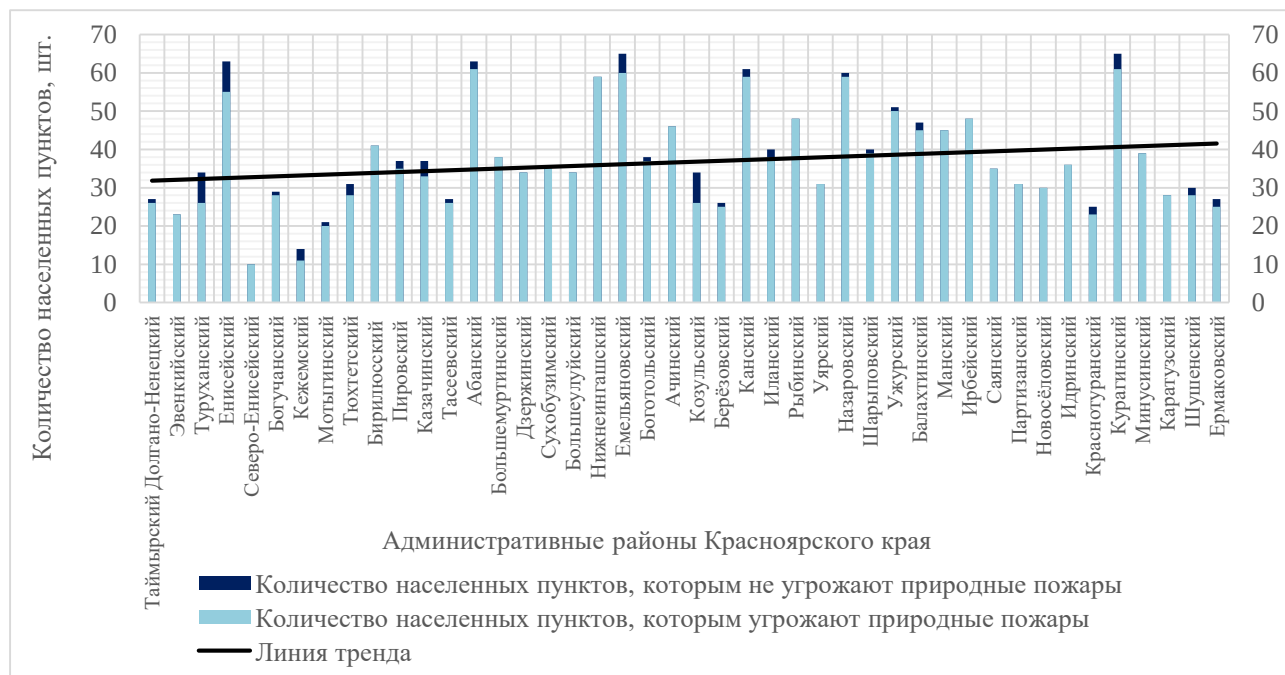


Рисунок. Соотношение количества населенных пунктов в административных районах Красноярского края, которым угрожают и не угрожают природные пожары

По направлению с севера на юг в Красноярском крае отмечается тенденция увеличения числа населенных пунктов, подверженным риску со стороны природных пожаров, что в немалой степени может быть обусловлено природной пожароопасностью территорий, связанной с климатическими и погодными условиями, особенностями структуры и запасов горючих материалов, а также уровнем антропогенного воздействия. Так, в районах, относящихся к зонам тундры и редкостойной и северной тайги, препятствие для возникновения крупных и частых пожаров, угрожающим населенным пунктам, обусловлено слабой инсоляцией, сильной заболоченностью территории, отсутствием большого количества проводников горения, малой плотностью населения и объектов транспортной инфраструктуры. На территории средней и южной тайги пожароопасность территорий возрастает вследствие увеличения общего количества населенных пунктов, приходящихся на единицу площади, а также частых грозových разрядов [7]. Административные районы, относящиеся к подтаежной, лесостепной и степной зонам, подвержены большей угрозе со стороны пожаров вследствие имеющегося температурного режима, особенностей растительного покрова, а также антропогенного влияния, которое является в этой зоне доминирующим фактором.

Подводя итог можно сделать вывод о том, что несмотря на то, что с севера на юг края наблюдается небольшой тренд в части увеличения доли населённых пунктов, которым угрожают природные пожары (подобная тенденция наблюдалась и в XX веке). Однако, существует целый спектр факторов, который в последние годы значительно нивелирует различия в угрозе от огня между северными и южными районами. С одной стороны, с начала XXI века выросла нагрузка на северные районы края, связанная как с ростом антропогенных источников возгораний, так и с трансформациями естественных природных территорий, увеличивающих количество проводников горения (прежде всего от лесозаготовок, добычи углеводородов, а также экспедиционной и изыскательной деятельности). С другой стороны, в связи с истощением лесосырьевых баз на юге региона, объёмы лесозаготовок значительно сократились и это в целом привело к понижению уровня антропогенной пожарной опасности в лесах Восточного и Западного Саяна. Для центральных районов края, с большим количеством открытых пространств (Канско-Ачинская лесостепь и районы, примыкающие к Республике Хакасия), имеющих низкую лесистость, всё большую угрозу представляют степные пожары, особенно в тех районах, где располагаются значительные площади заброшенных сельскохозяйственных земель или до сих пор используют весенние сельхозпалы.

Список литературы

1. Залесов С. В. Пожары и их последствия в Западной Сибири / С. В. Залесов, Е. П. Платонов, Е. Ю. Платонов ; Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. 191 с.
2. Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000–2008: estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 data / A. Vivchar // Remote Sensing Letters. 2011. No 2(1). P. 81–90.
3. Influence of logging on the effects of wildfire in Siberia / E. A. Kukavskaya, L. V. Buryak, G. A. Ivanova [et al.] // Environmental Research Letters. 2013. Vol. 8, No 4. 045034.
4. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
5. Постановление Правительства Красноярского края от 20 февраля 2024 г. № 109-п [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/407131927> [дата обращения 04.12.2024].
6. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/ [дата обращения 04.12.2024].
7. Условия возникновения и распространения пожаров в лесных районах Красноярского края / В. В. Фуряев, П. А. Цветков, И. В. Фуряев, Л. П. Злобина // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. XXXV, №2. С. 66–74.

УДК 582.47*581.8*57.088.52(292.512.3)

ПОРИСТОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ: УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПАРАМЕТР ДЛЯ ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Т. А. Худых¹

Научный руководитель Е. А. Ваганов^{1,2}
Доктор биологических наук, академик РАН

¹*Сибирский федеральный университет*

Анатомия годовичных колец хвойных деревьев, чётко разделённых на раннюю и позднюю древесину, давно используется как индикатор климатических изменений [1]. У лиственных пород с кольце- и особенно с рассеянно-сосудистой древесиной такой подход затруднён. В работе

использован метод PiC-денситометрии, схожий по алгоритму с рентгеновской денситометрией [2, 3]. Он анализирует изображения клеточной структуры, различая стенки и просветы клеток, и позволяет получать детальные профили пористости по кольцу.

Исследование проведено на сосне и осине (*Pinus sylvestris* L. и *Populus tremula* L.), произрастающих на сухих и умеренно-сухих склонах Минусинского района (53°45' N, 91°56' E). Отобрано 15 кернов сосны и 14 осины от взрослых деревьев, по два керна на уровне груди (~1.3 м) [4]. Ширину колец (TRW) измеряли на системе LINTAB 5 с ПО TSAP Win. Для анатомии использовано по 9 кернов каждого вида. Образцы размягчали кипячением, делали поперечные срезы (20 мкм) на микротоме MICROM HM430, окрашивали сафранином, фиксировали в глицерине. Съёмка проводилась при 400× увеличении на микроскопе BX43 с камерой ProgRes Gryphax Subra. Профили пористости строились с помощью OpenPiCDens [<https://github.com/Timofey00/OpenPiCDens>; доступ на 16.04.2025].

Для изучения динамики изменений анатомических характеристик в разные этапы вегетационного периода профили пористости каждого годичного кольца были разделены на 10 тангенциальных секторов одного размера [5]. Для каждой из частей была рассчитана средняя пористость ($SECP_x$, где x – номер сектора). Затем по секторам разных деревьев были усреднены значения пористости и тем самым составлены локальные длительные хронологии длиной 50 лет для каждой из исследуемых пород деревьев («секторные хронологии»). Для полученных профилей пористости определялась также средняя пористость кольца ($MEANP$) (рис. 1).

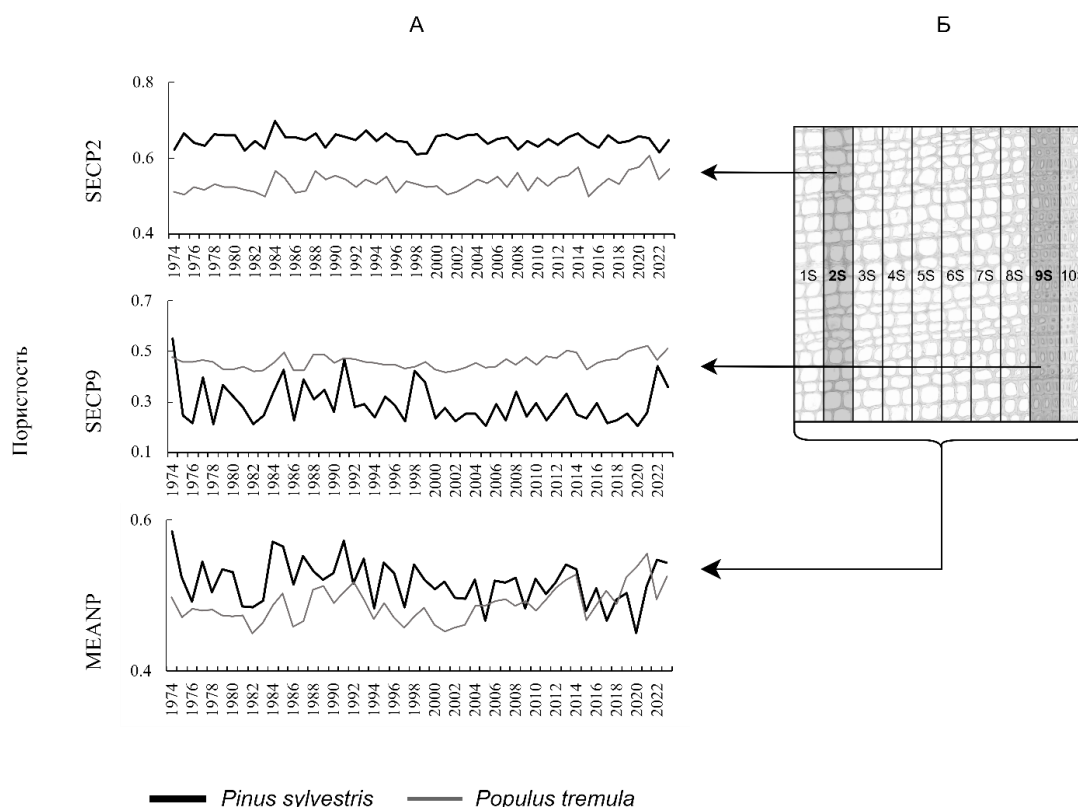


Рисунок 1. Хронологии пористости SECP2, SECP9 и MEANP для *Pinus sylvestris* (черная линия) и *Populus tremula* (серая линия) (А) и демонстрация деления на тангенциальные секторы на примере *Pinus sylvestris* (Б)

Ширина колец у сосны в среднем выше, чем у осины. Однако внутренняя динамика пористости различается: у сосны она снижается от 0.65 в ранней древесине до 0.20 в поздней, т.е. примерно на 70%. У осины пористость выше в начале кольца (0.53–0.57) и снижается лишь до 0.43–0.46 — не более чем на 20%. Это указывает на различия в водопотреблении: осина сохраняет высокую проводимость до конца сезона, тогда как сосна её снижает, подготавливаясь к завершению вегетации. «Секторные хронологии» отдельных деревьев хорошо согласуются с усреднённой по выборке (средняя корреляция $r = 0.56$, $p < 0.01$), что позволяет использовать их в анализе связи с климатом. Для этого применялся метод «скользящего окна» (21 день, шаг 1 сутки) [5]. Климатические отклики сосны и осины различаются. У сосны радиальный прирост (TRW) зависит от влаги в мае–начале июня, у осины — от температуры в тот же период. Также по-разному реагирует пористость: у сосны она снижается при высоких температурах весной, у осины — при жаре в мае–июне.

Особенно интересны реакции внутри годичных колец (рис. 2). У сосны рост крупных клеток ранней древесины стимулируется осадками мая–начала июня, но в переходной зоне они уже уменьшаются при избытке влаги. Поздняя

древесина реагирует на температуры июля–августа. У осины высокая температура июня негативно влияет на пористость всей древесины кольца.

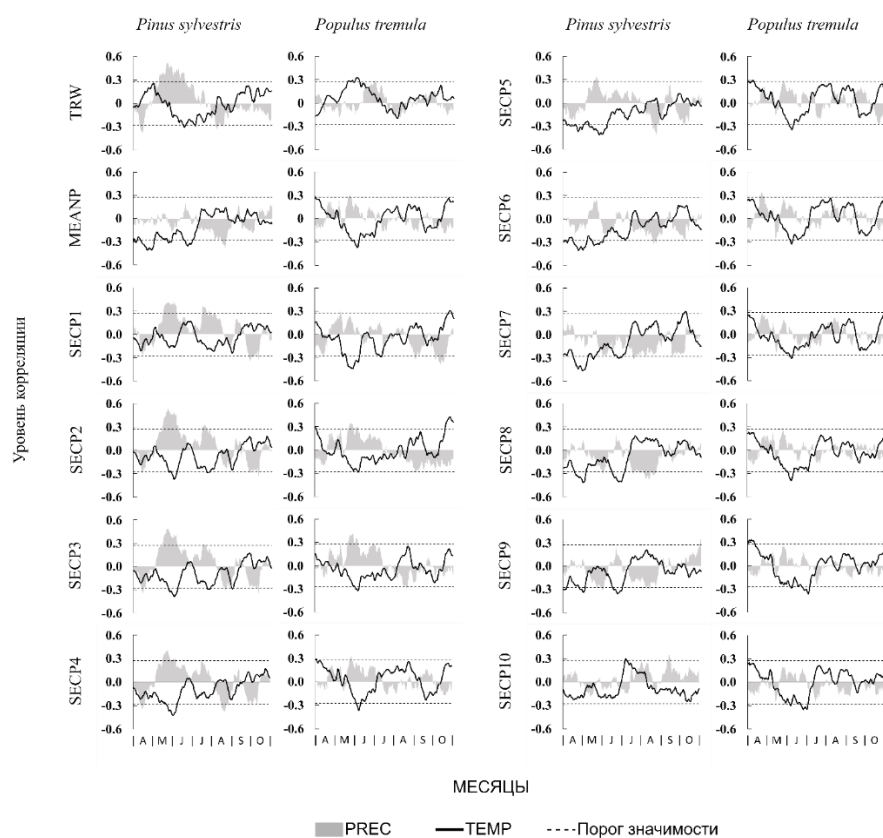


Рисунок 2. Климатический отклик TRW, MEANP, SECP *Pinus sylvestris* и *Populus tremula*: корреляция с 21-дневными скользящими рядами средней температуры (TEMP; сплошная черная линия), суммы осадков (PREC; заштрихованные участки). Штриховые горизонтальные линии представляют значимость $p < 0.05$

Таким образом, применение PiC-денситометрии существенно расширяет спектр древесных растений и многолетних кустарников, имеющих кольце- и рассеянно-сосудистую древесину, как источников информации для решения 2-х задач: 1) количественный анализ влияния изменений климата на рост и структуру деревьев; 2) выявление климатических изменений из особенностей структуры годичных колец древесных растений.

Список литературы

1. Fritts H. C. Tree rings and climate. New York: Academic Press, 2012.
2. A new approach to measuring tree-ring density parameters / P. P. Silkin, A. V. Kirdyanov, P. J. Krusic [et al.] // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2022. Vol. 15. № 4. P. 441-455.
3. New methods in digital wood anatomy: the use of pixel-contrast densitometry with example of angiosperm shrubs in Southern Siberia / T. A. Khudykh, L. V.

Belokopytova, B. Yang [et al.] // Biology. 2024. Vol. 13. № 4. P. 223.

4. Cook E. R., Kairiukstis L. A. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Boston: Kluwer Academic, 2013

5. Retrospective analysis of wood anatomical traits reveals a recent extension in tree cambial activity in two high-elevation conifers / M. Carrer, D. Castagneri, A. L. Prendin [et al.] // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 737.

УДК 574.34

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ДИКОГО СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ ТАЙМЫРО-ЭВЕНКИЙСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ

А. И. Черниговская В. Д.¹, Каргаполова¹

Научный руководитель П.А. Савченко¹

Кандидат биологических наук, старший преподаватель

¹*Сибирский федеральный университет*

Дикий северный олень (ДСО) – это не просто уникальное животное, приспособленное к суровым условиям Арктики, но и вид, который является неотъемлемым компонентом традиционного уклада жизни коренных малочисленных народов Севера (КМНС). Резкое сокращение его численности в дальнейшем может привести к трансформации структуры экосистемы Крайнего Севера.

В последнее время на полуострове Таймыр отмечается активное хозяйственное и промышленное освоение территории. Это происходит на фоне стремительно меняющихся условий окружающей среды. В результате значительно усилились антропогенное и климатическое воздействия на экосистемы арктических и субарктических тундр, включая популяции некоторых видов животных [1].

Изменение климата. Глобальные климатические изменения оказывают непосредственное воздействие на среду обитания дикого северного оленя, динамику миграционных путей и устойчивость популяции, что, в свою очередь, затрагивает не только биологическое разнообразие, но и традиционный быт местных общин. Потепление в арктической части приводит к сокращению площади тундры, и, как следствие, к изменению видового разнообразия растительности. Данный негативный фактор может привести к снижению кормового ресурса, изменению маршрутов миграции с последующим смещением популяции в более благоприятную среду. По данным

гидрометеорологической станции Хатанга (рисунок), в период с 1984 по 2000 гг. было отмечено, что погодно-климатические изменения приведут к росту приземной температуры воздуха на $2,4^{\circ}\text{C}$, что, в свою очередь, повлияет на сроки весенней и осенней миграций оленей. Многолетние наблюдения показывают, что за последние 10 лет количество осадков в летний период сократилось [2].

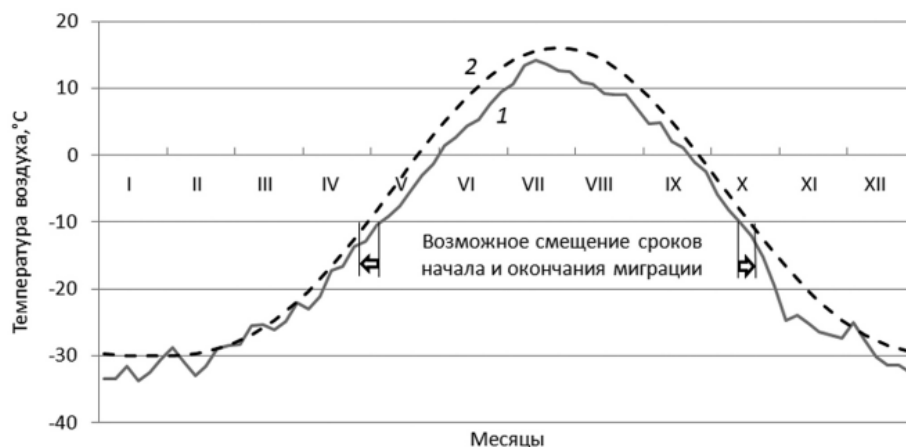


Рисунок. Среднемноголетняя сезонная динамика температуры воздуха на Таймыре

1 – средняя за 1984-2000 гг. температура воздуха по данным метеонаблюдений;

2 – температура воздуха по прогнозу к 2050 г.; I – XII - месяцы

Хищники. Волк, бурый медведь, росомаха, рысь и другие представители данного семейства оказывают непосредственное влияние на численность популяции. На севере Красноярского края волк оценивается примерно в 60-70 тыс. особей. Во время миграции оленей из горной местности плато Путорана хищники, нуждающиеся в пище, добывают ослабленных особей.

В 60-е годы популяция волка претерпела существенное сокращение численности, тем самым, возросла численность северного оленя с 110 тыс. особей (1959 г.) до 386 тыс. (1972 г.) [3]. Позднее, в период 80-х годов численность популяции хищника заметно выросла, тем самым усилила пресс на оленей.

Антропогенное воздействие. Охотничий промысел является важным фактором, влияющим на состояние численности дикого северного оленя. Несанкционированное изъятие и браконьерство представляет серьезную угрозу для данной популяции. С 1930 года, когда происходило освоение новых территорий, в том числе и Крайнего Севера, добыча данного вида выросла с 10 тыс. до 18 тыс. голов в год. Всего за весь период учетов и до 1984 года было изъято около 825 тыс. особей. Данное воздействие на популяцию имеет несколько сторон, с одной стороны, отстрел и добыча снизила естественную смертность популяции, стабилизировало долю взрослых самцов и самок, и уменьшило количество старых и ослабленных особей, что в последствие интенсифицировало размножение. С другой стороны, неконтролируемое

воздействие способствовало избирательной охоте, что в последствие привело к смещению в соотношении полов между самцами и самками, изменению половозрастной структуры популяции [4].

По данным авиаучета за 2021 год, промысловая квота составила 2,5% от численности северного оленя и приблизилась к 5,5 тыс. особей [5]. Этот промысел был ограничен, что не повлияло на добычу ДСО коренными малочисленными народами Севера.

Антропогенное воздействие, которое включает строительство инфраструктуры, дорог и промышленных объектов, имеет непосредственное влияние на миграционные маршруты северного оленя, а также на качество и доступность кормовой базы. Активное вмешательство в виде загрязнения вод, воздуха и почв тундровых экосистем ведет к необратимым последствиям в отношении не только данной популяции, но и других видов животных и среды их обитания [6].

Таким образом, на состояние численности таймыро-эвенкийской популяции дикого северного оленя оказывают влияние глобальные климатические изменения, рост численности хищных животных, охотничий промысел и браконьерство, а также техногенные факторы, включающие деятельность Норильского промышленного комплекса и строительство линейных сооружений.

Список литературы

1. Малыгина Н. В. Дикий северный олень (*Rangifer tarandus* L.) Восточного Таймыра: особенности пространственного размещения // Известия ИрГУ. 2010. Т.3. №3. С. 26-32.
2. Клименко В. В., Микушин О. В. Температурные тренды Таймырского региона в условиях глобального изменения климата / В. В. Клименко, О. В. Микушин // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2001. № 3. С. 195-203.
3. Савченко А. П. Исследование современного состояния и территориального размещения эвенкийской популяции дикого северного оленя / А. П. Савченко, А.В. Янгулова, И. А. Савченко, В. И. Емельянов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 7. – С. 25-28.
4. Бондарь М. Г. Таймырская популяция дикого северного оленя в изменяющихся условиях среды обитания / М. Г. Бондарь, Л. А. Колпащиков // Научный Вестник Арктики. – Норильск, 2019. – № 6. – С. 8-15.
5. Кочкарёв П. В. Сезонные перемещения и необходимость контроля уровня использования таймырских диких северных оленей / П. В. Кочкарев, Казьмин В.Д. [и др.] // Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов: Мат.нац. конф. с межд. участием в рамках XI межд.

науч.-практ. конф. Молодежный: ИрГАУ им. А. А. Ежевского, 2022 С. 201-208.

6. Колпашиков Л. А. Влияние антропогенных факторов на среду обитания дикого северного оленя таймырской популяции / Л. А. Колпашиков // Биологические проблемы Севера. – Магадан, 1983. – С. 77-78.

УДК 502.171:346.1:622.323

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРАВОНАРУШЕНИЙ СО СТОРОНЫ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА

М. С. Шабловская¹

Научный руководитель Р. А. Шарафутдинов¹

Кандидат географических наук

¹Сибирский федеральный университет

Экологическое преступление — это предусмотренное уголовным законом общественно опасное виновное деяние, посягающее на общественные отношения, обеспечивающие сохранение для нормальной жизнедеятельности человека благоприятной природной среды, рациональное использование её ресурсов и экологическую безопасность населения.

Некоторые виды экологических преступлений в нефтегазовой отрасли:

- нарушение правил охраны окружающей среды при производстве работ (статья 246 Уголовного кодекса РФ);
- нарушение правил обращения экологически опасных веществ и отходов (статья 247 УК РФ);
- нарушение ветеринарных правил и правил, установленных для борьбы с болезнями и вредителями растений (статья 249 УК РФ);
- загрязнение вод (статья 250 УК РФ);
- порча земли (статья 254 УК РФ) [1].

Рассматривая данный вопрос нельзя забывать, что добыча нефти и газа изначально имеет негативные последствия для экологии. Так, большая часть выбросов парниковых газов от нефти и газа возникает при их сжигании для выработки электроэнергии, производства тепла или транспортировки электроэнергии. Парниковые газы также выделяются при добыче и переработке нефти и газа. Небольшое количество (<200 млн тонн CO₂-экв.) выбрасывается при сжигании пластиковых отходов.

С точки зрения глобального углеродного бюджета, совокупные выбросы углерода в период с 2011 по 2050 год должны составлять менее 1100 ГтCO₂ для достижения цели по снижению температуры на 2 С. Выбросы парниковых газов, включенные в текущие оценки мировых запасов ископаемого топлива,

примерно в три раза превышают эту цифру. Треть запасов нефти, половина запасов газа и более 80% текущих запасов угля должны остаться неиспользованными с 2010 по 2050 год, чтобы достичь цели по снижению температуры на 2 С [5].

Традиционная и нетрадиционная добыча нефти и газа приводит к образованию большого объема сточных вод. Обычно они загрязнены токсичными химикатами и тяжелыми металлами. Их часто выбрасывают в ямы для хранения, которые в некоторых странах по законодательству необходимо облицовывать. Эти ямы могут загрязнять воздух, включая бензол (канцероген), сероводород и летучие органические соединения, вредные для сердечно-сосудистой системы и местных экосистем. Сточные воды также удаляются в нагнетательные скважины, пробуренные в пористой породе (например, песчанике или известняке), которые должны быть изолированы от источников питьевой воды. В некоторых местах сточные воды подаются на поля, разбрасываются по дорогам или обрабатываются для повторного использования буровыми компаниями [3].

Особняком в нефтеперерабатывающей отрасли стоят аварии на производстве, которые по своим последствиям для экологии превосходят остальные виды загрязнений.

В нефтегазовой отрасли человеческий фактор признан наиболее распространенной причиной катастрофических аварий. Например, катастрофа Piper Alpha в 1988 году привела к гибели 167 человек и полному разрушению морской платформы. Авария на платформе BP Deepwater Horizon в 2010 году – одна из крупнейших когда-либо зарегистрированных разливов нефти – привела к гибели 11 человек и разливу более 4,5 миллионов баррелей сырой нефти в Мексиканском заливе США. В результате пожара на нефтеперерабатывающем заводе BP в Техасе в 2005 году 15 человек погибли и 180 получили ранения. По результатам расследования преобладающие причинные факторы, выявленные в каждом из этих инцидентов, были отнесены к человеческим и оперативным ошибкам.

Обратимся к анализу аварийности за период 2018–2023 год, в котором рассмотрены основные технические и организационные причины таких аварий. В ходе анализа было выявлено, что за отведенный период произошло порядка 260 аварий. Общая статистика аварий на объектах нефтегазовой отрасли за 2018 – 2023 год представлена на рисунке.

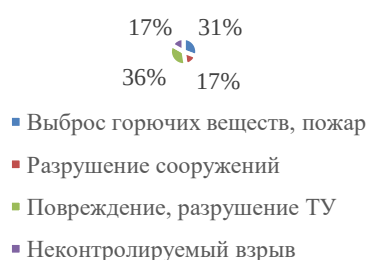


Рисунок. Статистика аварий на объектах нефтегазовой отрасли за 2018–2023 год [4]

Больше всего аварий с 2018 по 2023 г. приходится на дочерние компании Роснефти (16 аварий) и ЛУКОЙЛа (12 аварий).

Так, из последних аварий можно отметить, что 15 декабря 2024 года в Керченском проливе произошла экологическая катастрофа, вызванная разливом мазута с двух танкеров — «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239».

Последние 20 лет в Российской Федерации активно формируется экологическое право, экологическая культура и даже экологическое образование. Законодательство в данной области постоянно претерпевает изменения, и имеет тенденцию зависимости от текущих экономических, политических, международных, общественных реалий.

Основа правового регулирования в сфере экологии была заложена Президентом Российской Федерации с принятием Федерального закона от 10.01.2002 г. N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [2].

В заключение можно отметить, что основные экологические правонарушения, совершаемые нефтегазовыми компаниями, заключаются в нанесении вреда окружающей среде посредством разливов нефти, пожаров, взрывов и т.д. При этом причинами подобных аварий являются множество факторов от человеческих ошибок до слабой технической обеспеченности.

Список литературы

1. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 28.02.2025) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_10699/ [дата обращения 01.04.2025].
2. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ [дата обращения 01.04.2025].
3. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды, 2 изд., М.: 2020. 560 с.
4. Уроки, извлеченные из аварий // Ростехнадзор: [сайт]. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> [дата обращения 01.04.2025].

5. Эффективность биоиндикационных методов для оценки трансформации природной среды при добыче углеводородов / Опекунова М.Г., Арестова И.Ю., Кукушкин С.Ю., Никитина М. А., Опекунов А.Ю., Спасский В В. // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов. 2018. С. 226-228.

УДК 582.475-145:581.132.1 (470.1- 924.82)

МОРФОМЕТРИЯ И ФИТОМАССА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ КУСТАРНИКОВОГО И КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСОВ ПЛОСКОБУГРИСТОГО ТОРФЯНИКА В РАЙОНЕ Г. ИГАРКА

Д. В. Шаповалова^{1,2}, Д. А. Полосухина^{1,2}

Научный руководитель А. С. Прокушкин^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Бореальные экосистемы выполняют ключевую роль в регулировании климата, поглощении углерода, обеспечении пресной водой и сохранении биоразнообразия. Доля бореальных лесов составляет 30% площади лесов мира (Baltzer et al., 2021), на них приходится 11% поверхности суши Земли (Nilsson & Wardle, 2005). Кустарниковый и кустарничковый ярусы являются ключевыми компонентами растительного покрова лесов и болот криолитозоны, составляя до 45% фитомассы растительного покрова (Лянгузова, Примаков, 2019), а их продуктивность, по некоторым оценкам (Wardle and Zackrisson, 2005), достигает 62% от ее суммарной величины в фитоценозах. Таким образом, кустарники и кустарнички представляют собой важный компонент углеродного цикла биогеоценозов высоких широт, выполняя, в том числе, лесовосстановительную функцию после внешних воздействий, таких как рубки, лесные пожары, подтопления, рекреационная нагрузка.¹

Оценка взаимосвязи морфометрических характеристик (высота и диаметр) кустарничков с фракционным составом их фитомассы необходима как для экологических исследований, так и для учета депонирования углерода в лесных и болотных фитоценозах (Усольцев и др., 2023). Количественное определение запасов надземной фитомассы древесных жизненных форм фитоценозов, как правило, получают путем применения аллометрических моделей, основанных на полевых измерениях морфологических признаков на индивидуальном уровне (Conti et al., 2019). Цель исследования состояла в выявлении закономерностей между морфометрическими характеристиками представителей кустарникового и кустарничкового ярусов и фракционным составом их фитомассы.

Сбор материала проводился в летний и осенний периоды 2024 г. на севере Верхнетазовской провинции Западной Сибири в переходной полосе от лиственничных северотаёжных редкостойных лесов к предтундровым

редколесьям. Объектом исследований служил плоскобугристый торфяник, расположенный в 10 км к северу от г. Игарка Туруханского района Красноярского края. В пределах этого болотного массива были заложены три круговые пробные площади ($r = 15$ м), расположенные на буграх пучения. На каждой пробной площади закладывалось 5 – 6 учетных площадок, на которых осуществлялся полный перебор и отбор растений кустарникового (1 м × 1 м) и кустарничкового (0,5 м × 0,5 м) ярусов. В качестве объектов исследования были выбраны *Betula nana* L., *Ledum palustre* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moenc. Измерение их морфометрических параметров (высота побега, диаметр стволика у корневой шейки) и определение фитомассы фракций каждого из модельных растений (листья, ветви и стебли) производили по методике, описанной нами ранее (Полосухина и др., 2024). Далее для каждого вида кустарникового и кустарничкового яруса проводился расчет аллометрических уравнений:

$$M = a X^b,$$

где:

M – масса фракции (листья, ветки и ствол),

X – высота или диаметр стеблей у корневой шейки в см,

a и b – коэффициенты аллометрического уравнения для фракций наземной фитомассы.

В качестве критерия достоверности полученных аллометрических уравнений был использован статистический анализ, а именно коэффициент детерминации (R^2). Статистическая обработка данных осуществлялась в MS Excel. На основе данных полного перебора и полученных аллометрических функций был рассчитан видовой запас кустарникового и кустарничкового ярусов ($г/м^2$).

Единственный представитель кустарникового яруса (*B. nana*) на территории плоскобугристого торфяника характеризовался варьированием значений высоты от 58 до 128 см (79 ± 23 см). Диаметр у корневой шейки варьировал от 5,3 до 15,0 мм ($9,2 \pm 2,7$ мм). Среди доминантов кустарничкового яруса наибольшие значения высоты и диаметра получены для багульника, которые варьируются от 12 до 82 см (32 ± 17 см) и от 1 до 9 мм ($3,8 \pm 2,0$ мм), соответственно. Наименьшие величины морфометрических параметров выявлены у *V. vitis-idaea* со значениями высоты 8 – 17 см ($13,1 \pm 2,5$ см) и диаметра у корневой шейки 0,4 – 1,4 мм ($0,9 \pm 0,3$ мм).

В результате анализа зависимости фитомассы (по фракциям) в абсолютно сухом состоянии от высоты и диаметра отобранных растений были получены коэффициенты аллометрических уравнений для всех видов. Выявлено, что для изученных видов за исключением *C. calyculata* наибольшим значением

коэффициента детерминации (R^2), т.е. лучшим предиктором, характеризуется зависимость, полученная при использовании диаметра растений у корневой шейки. Для мирта болотного наиболее высокое значение коэффициента детерминации отмечается для зависимости, полученной от высоты растения. Полученные видовые особенности отражают роль степени ветвления (Полосухина и др., 2024).

Среднее значение запасов стволовой фитомассы представителя кустарникового яруса (*B. pana*) составило 761 ± 583 г/м². Наибольшие запасы надземной фитомассы в кустарничковом ярусе характерны *L. palustre*, а наименьшие – *V. vitis-idaea*.

На основе расчета соотношения запаса листовой фракции к стволовой установлено преобладание первой в общей фитомассе у брусники (~1.4) и шикши (~1.3), тогда как для остальных исследованных видов характерны значения ниже единицы и убывания в порядке: багульник — голубика — береза карликовая — мирт (от 0,63 до 0,21).

Таким образом, аллометрические уравнения, полученные с помощью деструктивного отбора образцов, в дальнейшем могут быть использованы для оценок запасов надземной фитомассы кустарникового и кустарничкового яруса экосистем этого района без нарушения напочвенного/растительного покрова.

Список литературы

1. Baltzer J. L. et al. Increasing fire and the decline of fire adapted black spruce in the boreal forest //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2021. – Т. 118. – №. 45.
2. Nilsson M. C., Wardle D. A. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest //Frontiers in Ecology and the Environment. – 2005. – Т. 3. – №. 8. – С. 421-428.
3. Лянгузова И. В., Примаков П. А. Пространственное распределение запасов напочвенного покрова и лесной подстилки в средневозрастных сосновых лесах Кольского полуострова //Растительные ресурсы. – 2019. – Т. 55. – №. 4. – С. 473-489.
4. Wardle D. A., Zackrisson O. Effects of species and functional group loss on island ecosystem properties //Nature. – 2005. – Т. 435. – №. 7043. – С. 806-810.
5. Усольцев В. А. и др. Биомасса подлесочных видов Урала и ее аллометрические модели //Леса России и хозяйство в них. – 2023. – №. 1 (84). – С. 30-40.
6. Conti G. et al. Developing allometric models to predict the individual aboveground biomass of shrubs worldwide //Global Ecology and Biogeography. – 2019. – Т. 28. – №. 7. – С. 961-975.
7. Полосухина Д. А., Трусков Д. В., Титов С. В., Прокушкин А. С.

Фракционный состав фитомассы и фотосинтетические пигменты кустарничкового яруса смешанного леса в подзоне средней тайги // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 4. – С. 23-37.

УДК 56.074.6

ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОЛОЦЕНА НА ТЕРРИТОРИИ КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 1600 ЛЕТ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ БОЛОТА РЫБНОЕ

М. О. Шапорова¹

Научный руководитель А. Б. Михайлова
старший преподаватель

Сибирский федеральный университет

Канская лесостепь, как переходная зона, особенно чувствительна к климатическим изменениям. Исследования палеоархивов болот позволяют оценить, насколько быстро и сильно изменялась растительность в прошлом в ответ на изменения климата. Это даёт возможность оценить уязвимость региона к современным изменениям климата и прогнозировать возможные последствия для растительности и биоразнообразия.

Спорово-пыльцевой анализ применяется для реконструкции растительного покрова и климата прошлых эпох. Объектами спорово-пыльцевого анализа являются микрофоссилии, в первую очередь это пыльца и споры растений, а также споры грибов, растительные устьица, микроскопические остатки клеток водорослей, животных и т. д. [1].

Цель работы – изучение динамики растительности по данным анализа микрофоссилий отложений болота Рыбное за последние 1600 лет.

Объект исследования – болото Рыбное в долине р. Рыбная в окрестностях д. Ольгино (Уярский район). По данным отчета геологов общая площадь болотного массива Рыбное – 2,22 км² [2]. Мощность заложенной колонки составляет 3,5 м, из них: торф – 3,35 м, суглинок – 0,15 м [3].

Подсчет пыльцы и спор проводился с помощью светового микроскопа «Микромед-2» при увеличении в 400 раз. Идентификация микрофоссилий была выполнена в соответствии с определителями [4,5,6], непыльцевые палиноморфы определялись в соответствии с определителями [7].

Верхняя часть торфяной колонки мощностью 90 см охватывает временной отрезок в 1600 календарных лет назад (далее – кал.л.н.). На основании изменений спорово-пыльцевого спектра выделены 6 локальных спорово-пыльцевых зон (далее – ЛПЗ).

В составе растительности между 1600–1350 кал.л.н. (ЛПЗ 1) отмечалось возрастание количества пыльцы травянистых, в особенности семейств Cichoriaceae и Liliaceae. Также наблюдается небольшое возрастание количества темнохвойных пород – в частности, Сосны сибирской (*Pinus sibirica* L.). Все эти признаки в совокупности могут указывать на период повышения увлажнения. [10]

Во временной промежуток 1350–1100 кал.л.н. (ЛПЗ 2) наблюдается значительное увеличение численности Ели (*Picea obovata* Ledeb.), небольшое снижение численности Сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Среди травянистых заметны резкие увеличения численности Liliaceae и Cyperaceae. Отмечается высокое содержание спор *Sphagnum*, *Bryales* и Polypodiaceae. Данный этап приходится на Малый Климатический оптимум [9].

В интервале 1100–850 кал.л.н. (ЛПЗ 3) отмечается преобладание темнохвойных пород над светлохвойными, в частности *Picea* и *Pinus Sibirica*. Среди травянистых рост численности наблюдается у Cyperaceae и Poaceae. Значительным является также появление пыльцы Березы карликовой (*Betula sect. Nanae*). Вероятно, это в совокупности указывает на некоторое снижение увлажнения [11].

В целом на глубине 80–50 см (1350–850 кал.л.н.) отмечается максимальное количество темнохвойных пород (на исследуемом отрезке до 90 см).

В ЛПЗ 4 (850–590 кал.л.н.) наблюдается резкое падение численности темнохвойных пород. Среди травянистых преобладают Chenopodiaceae, Ericaceae. Эти факторы могут быть связаны с пожарными эпизодами в этом отрезке времени. Также в этой зоне не наблюдались споры. На территории после пожаров могли получить распространение семейства Chenopodiaceae, Ericaceae. [12]

На глубине 35–10 см (590–170 кал.л.н.) отмечается спад, а затем возрастание численности Сосны обыкновенной и минимум темнохвойных пород (на изучаемом отрезке до 90 см). Наблюдается резкое возрастание численности Лиственницы (*Larix*). Это означает, что лиственница произрастала непосредственно на болоте. Из травянистых наиболее выделяются: Chenopodiaceae, Cyperaceae, Fabaceae и Rosaceae. Также происходит резкое возрастание количества спор Polypodiaceae и *Sphagnum*. Это может указывать на то, что климат становится более континентальным. [13]

На самом верхнем отрезке в пределах интервала 170 кал.л.н. – настоящее время (ЛПЗ 6) отмечается значительное возрастание количества *Pinus sibirica* и Березы (*Betula sect. Albae*). Среди травянистых наиболее заметное возрастание наблюдается у Осоковых. Присутствует большое количество спор Зеленых мхов и Хвощей (*Equisetum*). Эти данные свидетельствуют о комплексном изменении окружающей среды, которое может быть связано с повышением влажности и

потеплением климата. Характерно для болот, находящихся на переходной стадии развития. [10]

По данным проведенного исследования удалось реконструировать растительность в районе Канской лесостепи, болота Рыбное. При сравнении полученных данных с работами по болоту Большое (расположено юго-восточнее, на расстоянии 80 км от изучаемой территории) были выявлены сходства в том, что сначала появились признаки повышенного увлажнения, после чего наступил длительный период возрастания численности светлохвойных пород (С 350 кал.л.н.), что указывает на процесс усиления континентальности климата. [14]

Список литературы

1. Рудая Н.А. - Палинологический анализ: Учеб.-метод. пособие / Новосибирский Государственный Университет, Институт археологии и этнографии СО РАН. Новосибирск, 2010. 48 с.
2. Справочник торфяных котловин. – месторождений Красноярского края / Л.Г. Матухин, В.Г. Матухина, В.М. Новосибирск, 1997. – 236с.
3. Peat deposits for studying the Holocene fire regime in the example of Kansk forest steppe mires / Mikhailova A.B.*, Grenaderova A.V., Chentaeva Z.V., Skrebatun A.A. / Limnology and Freshwater Biology, 2024. p. 452-457
4. Moore P.D., Webb J.A., Collinsom M.E. Pollen analysis. Oxford: Blackwell scientific publications, 1991. 216 p.
5. Информационная система идентификации растительности на основе карпологических, палинологических и анатомических данных / Московский Государственный Университет. 2015-2025
6. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. - Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР – Том 1 / Ботанический институт имени В. Л. Комарова, 1972.
7. Шумиловских Л. С. – Руководство по работе с непыльцевыми палиноморфами / Томский Государственный университет, 2016.
8. Борисова О. К. - Ландшафтно-климатические изменения в голоцене / Теория и социальные функции географии / Известия РАН. Серия географическая, 2014, № 2, с. 5–20
9. С. А. Сычева - Малый климатический оптимум голоцена и Малый ледниковый период в памяти почв и отложений пойм рек Русской равнины / Эволюция природных систем / Известия РАН. Серия географическая, 2011, № 1, с. 79–93
10. Комплексные археолого-палеоэкологические исследования голоценового хроноряда в южной тайге Среднего Енисея / А. В. Гренадерова, П. В. Мандрыка, Ван Сяокунь, П. О. Сенотрусова, А. Б. Михайлова, Цюань Цянькунь // Statum plus. Археология и культурная антропология, 2021. с. 305-307

11. Vegetation and climate reconstruction based on pollen and microbial records derived from burial mounds soil in Tuva Republic, Central Asia, Quaternary International / Tatiana Blyakharchuk, Valentina Prihodko, Marina Kilunovskaya, Hong-Chun Li / 2019. p. 108-123
12. Peat deposits for studying the Holocene fire regime in the example of Kansk forest steppe mires / Mikhailova A.B.*, Grenaderova A.V., Chentaeva Z.V., Skrebatun A.A. / Limnology and Freshwater Biology, 2024. p. 453
13. Кутафьева Т. К. – История растительности междуречья Нижней и Подкаменной Тунгусок в голоцене / каталог диссертаций, 1974. с. 150
14. Отклик растительного покрова в предгорье Восточного Саяна на голоценовые экстремумы климата (по данным изучения болота Большое) / Палеогеография голоцена / А. В. Гренадерова, А. Б. Михайлова, И. В. Курьина, О. В. Подобуева / Геоморфология и география, 2024 г. с. 157-176

УДК 58.009*58.02

СОСТАВ И СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНОСТИ МОНИТОРИНГОВЫХ ПЛОЩАДОК КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА СФУ

Ю. П. Шаповалова¹

Научный руководитель О. М. Шабалина,
Кандидат биологических наук, доцент

Сибирский федеральный университет

В результате мониторинга окружающей среды Межправительственная группа экспертов ООН по изменению климата (МГЭИК, или IPCC), сделала вывод, что в 2025 году глобальное изменение климата Земли протекает весьма интенсивно. Это связано, прежде всего, с хозяйственной деятельностью человека [4]. Известно, что за последнее время в значительных количествах в атмосферу поступили углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), а также хлорфторуглероды (ХФУ). Согласно данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) с 1990 по 2022 год их роль непосредственно в потеплении климата возросла на 49%, при этом примерно 78% данного увеличения приходится именно на углекислый газ (CO_2) [5].

Для изучения способности окружающей среды поглощать углерод из атмосферы были созданы карбоновые полигоны. Карбоновый полигон – это «испытательно-исследовательская площадка, на которой измеряют природную

эмиссию парниковых газов из экосистем, а также объёмы, в которых эти же экосистемы способны поглощать выбросы из атмосферы» [3]. Но прежде, чем приступить к наблюдению за углеродными потоками территории, необходимо провести оценку состава и структуры слагающих её растительных сообществ.

Цель исследования – определение видовой и эколого-ценотической структуры сообществ березняков и сосняков на территории карбонового полигона СФУ.

Для достижения указанной цели в ходе работы последовательно решались следующие задачи:

1. Определить видовую насыщенность и эколого-ценотическую структуру исследуемых сообществ на территории карбонового полигона СФУ
2. Провести сравнительный анализ исследуемых фитоценозов и фоновых сообществ подтайги, описанных в литературе.

Исследование проводилось на территории карбонового полигона СФУ. Полигон расположен на поверхности восьмой аккумулятивной террасы р. Енисей рядом с административным корпусом СФУ. Поскольку полигон находится в непосредственной близости к экопарку Гремячая грива, он сходен с ним по составу и структуре растительного покрова. В растительном покрове Гремячей гривы доминируют гемибореальные светлехвойные подтаёжные травяные леса. Они представлены сосновыми (*Pinus sylvestris*), берёзово-сосновыми (*P. sylvestris*, *Betula pendula*), берёзовыми (*B. pendula*) лесами орляково-разнотравными, разнотравно-орляковыми, вейниково-разнотравными, вейниково-орляковыми (с *Calamagrostis arundinaceae*), осочково-разнотравными типами леса.

Лесотаксационные пробные площади заложены в березняке разнотравном и сосняке разнотравно-осочково-мертвопокровном. Геоботанические пробные площади (ГПП) размером 20x20 м расположены по две в пределах лесотаксационных площадей и названы по лесообразующей породе (Березняк 1, Березняк 2, Сосняк 1, Сосняк 2). Геоботанические описания проводились общепризнанными методами. Для определения эколого-ценотических групп (ЭЦГ) растений использовалась классификация ЭЦГ растений южной тайги и подтайги, представленная в справочной базе “Ценофонда лесов Европейской России” [1]. В исследуемых сообществах были выделены следующие ЭЦГ: Br_k – бореальная (кустарнички и вечнозеленые травы), Br_m – бореальная (мелкотравье), Hh – высокотравная, Md – луговая и лугово-опушечная, Nm – неморальная, Pn – боровая (бореальная), Rd – рудеральная (сорная).

Оценка видового богатства сосняков и березняков показывает, что в березняках видовое разнообразие меньше, чем в сосняках (рис. 1). Согласно литературным данным в растительных сообществах осочково-разнотравной

серии типов леса подтаежных лесов приенисейской части Восточного Саяна средняя видовая насыщенность составляет 35 видов [2]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что исследуемые разнотравные березняки имеют схожую видовую насыщенность с фоновыми сообществами (Березняк 1 – 36 видов, Березняк 2 – 34 вида).

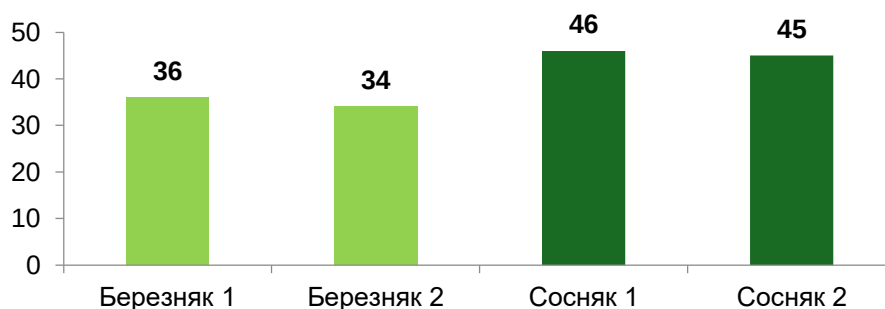


Рисунок 1 – Видовое разнообразие исследуемых растительных сообществ.

Согласно данным по эколого-ценотической структуре (рис. 2), было установлено, что во всех исследуемых сообществах основную ценотическую роль играет ЭЦГ лугового и лугово-опушечного разнотравья, что соотносится с фоновыми растительными сообществами осочково-разнотравной серии (48,7%), при заметном участии лесостепных и борово-степных видов [2].

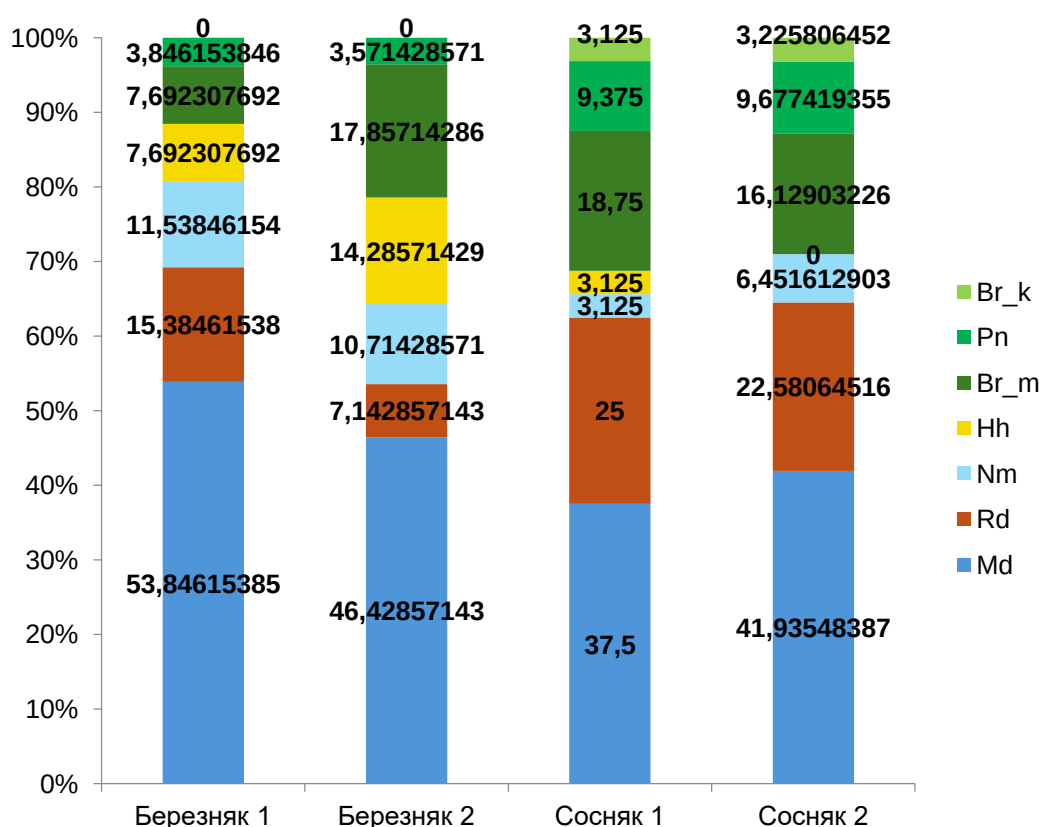


Рисунок 2 – Соотношение ЭЦГ в травянистом покрове исследуемых растительных сообществ.

Однако при сравнительном анализе живого напочвенного покрова (ЖНП) фоновых сообществ с исследуемыми, можно сделать вывод, что эколого-ценотическая структура меняется. Так, заметно уменьшение высокотравной ЭЦГ от березняков к соснякам и полное её выпадение в ГПП Сосняк 2, тогда как в фоновых сообществах она вторая по значимости. В березняках, что характерно, значительна доля неморальной и высокотравной ЭЦГ, а в сосняках – бореальной (мелкотравье) и боровой (бореальной) и, что не характерно для фоновых сообществ, рудеральной (сорной) ЭЦГ [2]. Сорная ЭЦГ в фоновых сообществах является одной из малочисленных, в то время как в исследуемых сообществах её значимость, особенно в структуре сосняков, начинает возрастать (рис. 2). Большая доля сорных видов может обуславливаться большой нарушенностью сосняка разнотравно-осочково-мертвопокровного вследствие рекреационной нагрузки. Кроме того, данное растительное сообщество имеет искусственное происхождение, близкое расположение деревьев приводит к сильному затенению кронами, из-за чего ЖНП развит слабо. Сорным растениям проще внедриться в антропогенно-трансформированный фитоценоз, что объясняет

большую видовую насыщенность изучаемых сосняков в сравнении с березняками (рис. 1).

Таким образом, исследование видовой и эколого-ценотической структуры растительных сообществ на территории карбонового полигона СФУ показало, что разнотравный березняк имеет видовое разнообразие, сопоставимое с фоновыми сообществами подтайги, в то время как сосняк разнотравно-осочково-мертвопокровный демонстрирует большее видовое разнообразие, обусловленное спецификой его происхождения и существенным преобразованием растительного покрова под влиянием деятельности человека.

Список литературы:

1. База данных “Ценофонд лесов Европейской России” [Электронный ресурс]. URL: <https://cepl.rssi.ru/bio/flora/main.htm>
2. Исаев А. С. Разнообразие и динамика лесных экосистем России. В 2-х кн. Кн. 1 // Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2012. 461 с.
3. Климатическая платформа, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москва [Электронный ресурс]. URL: <https://climate-change.moscow/materials/poligon-budushchego-klimata>
4. МГЭИК, 2023: Отчёт Межправительственной группы экспертов по изменению климата, 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
5. Щербань А. В. Парниковый эффект и его воздействия на окружающую среду // Экономика и экология территориальных образований. 2021. №2. С. 59–65

УДК 56.074.6

ПОЖАРНЫЙ РЕЖИМ ПОЗДНЕГО ГОЛОЦЕНА ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ БОЛОТА "СМОТРОВАЯ ПЛОЩАДКА" (ЗАПАДНЫЙ САЯН)

Л.Т. Юсупова¹

Научный руководитель А. В. Гренадерова¹
Кандидат географических наук, доцент

¹Сибирский федеральный университет

Палеоэкологические реконструкции актуальны для понимания глобальных процессов в настоящем времени. Реконструкции климата и пожарного режима прошлого подтверждают, что существенную роль в формировании и развитии природных комплексов играли климатические условия, которые отличались в разные периоды голоцена [4,7]. Торфяные отложения являются важным источником для получения палеоэкологической информации.

Пожары являются важным преобразующим фактором и опасным явлением, как для людей, так и для экосистем. Изучение пожарного режима прошлого и реконструкция палеоклиматических условий, при которых происходили пожары, помогут в понимании закономерностей развития экосистем.

Цель исследования: изучение динамики локальных пожаров на болоте «Смотровая площадка» (Природный парк «Ергаки», Западный Саян).

Для изучения пожарного режима голоцена и реконструкции природных условий, был проведён анализ макроскопических частиц угля в торфяных отложениях болота «Смотровая площадка». Болото расположено вблизи 600-го километра трассы Р-257 Енисей ($52^{\circ}53'45.9''$ с.ш., $93^{\circ}15'33.6''$ в.д.). Площадка находится на высоте 1257 м. Склоны северной экспозиции упираются в верховья реки Большой Кебеж, склоны западной экспозиции переходят в хребет Кулумысский, а восточной в хребет Ергаки, южный склон более пологий, чем остальные.

Мощность, исследуемого разреза составила 94 см, пробы торфа отбирались каждые 2 см. С помощью палеоантракологического анализа изучено 17 образцов.

Для выделения макроугольков пробы объемом 1 см^3 подготавливали по стандартной методике [2], с предварительной обработкой 5% раствором пирофосфата натрия ($\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$) и 6% перекисью водорода (H_2O_2). Таким образом, почти весь органический материал в пробе обесцвечивался, а черные и твердые частицы угля угловатой формы, разламывающиеся на такие же угловатые частицы при нажатии становились доступными для подсчета и изучения. Подсчет частиц угля проведен при увеличении $\times 20$, учитывались все частицы крупнее 125 мкм.

Отложения разреза «Смотровая площадка» отличаются небольшим содержанием частиц угля на см^3 . Максимальное количество (8 шт./ см^3) было обнаружено в двух интервалах: 84-86 и 90-92 см, что соответствует временному периоду примерно 3400-3500 календарных лет назад.

Нижний слой торфа имеет возраст 3400-3460 кал. л. Известно, что климат данного периода характеризуется как сухой и континентальный, относительно предыдущего периода [3]. Такой климат способствовал сокращению площадей

влажных пихтовых лесов, отступлению пихты с высокогорий и формированию там обширного пояса субальпийских кустарников. Данному этапу было свойственно максимальное распространения березовых лесов на территории Западного Саяна, выше по склонам доминирующее положение занимал кедр. Более влажно было около 4 200 лет назад, а более сухо – 3 800 лет назад [3].

При этом, самая большая скорость накопления угольков в изученных отложениях «Смотровая площадка» была около 3450 кал. л. н., 0.4 частицы/см² в год. Этот пожарный период может быть связан с суббореальным ксеротермическим максимумом, который выделяли Кошкарров и Кошкаророва (2003) 3800-3000 кал. л. н. Этот период связан с ростом температуры и уменьшением количества осадков, что могло привести к увеличению лесных пожаров. Потепление этого времени характеризуется повышением только зимних температур на 3°C, понижением количества осадков зимой на 110 мм, летом – на 90 мм по сравнению с современными показателями [6].

При сравнении результатов палеоантракологического анализа с данными ботанического состава торфа, установлено, что пирогенное событие произошедшее около 3450 кал. л. н. соотносится с появлением макроостатков хвоща, папоротника и ели. Основные растения-торфообразователи *Carex altaica* и *Carex cespitosa* произрастали до и после пожара.

Можно отметить, что пирогенные события на болоте «Смотровая площадка» не имели большой частоты и интенсивности. Отсутствие пожаров, можно объяснить неоднородными климатическими условиями, так как болото приурочено к горной стране, где изменения климата не так ярко проявляются, как на равнинной местности, из-за особенностей территории (экспозиция склонов, абсолютная высота и т.д.)

В настоящее время, пожары на этой территории связывают с рекреационной нагрузкой [1], а также можно предположить общее влияние глобальных климатических тенденций в сторону усиления континентальности климата [8].

Список литературы

1. Буряк Л. В. Оценка горимости припоселковых насаждений юга Красноярского края (на примере территории, охраняемой Ермаковским авиаотделением) / Л. В. Буряк, Р. В. Янковский // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 2. – С. 157-163.
2. Clark J. S. Particle motion and the theory of stratigraphic charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling // Quaternary research. 1988. Vol.30. P. 67–80.
3. Бляхарчук Т. А. Изменение растительности и климата Западного Саяна и их взаимосвязь с развитием археологических культур региона во второй

половине голоцена по данным спорово-пыльцевого анализа болотных отложений // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2011. – №351.

4. Пространственная реконструкция климата востока Азии в раннем эоцене / О. В. Бондаренко, Т. А. Евстигнеева, А. А. Жмеренецкий [и др.] // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2024. – № 1. – С. 14-25. – DOI 10.34078/1814-0998-2024-1-14-25.

5. Кошкар А. Д., Кошкар В. Л. Развитие природной среды бассейна р. Кас в послеледниковый период // Палеогеография Средней Сибири. Вып. 3. Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 2003. – С. 38–43

6. Кошкар, А. Д. Многовековые климатические тренды трансформации кедровников в разных лесорастительных зонах гор Западного Саяна / А. Д. Кошкар, В. Л. Кошкар, Д. И. Назимова // Сибирский лесной журнал. – 2021. – № 2. – С. 3-16. – DOI 10.15372/SJFS20210201.

7. Пупышева, М. А. Реконструкция голоценовой истории палеопожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири по данным макроуголькового анализа озерных отложений / М. А. Пупышева, Т. А. Бляхарчук // Геосферные исследования. – 2024. – № 1. – С. 135-151. – DOI 10.17223/25421379/30/8.

8. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). – Москва, 2022.

Инновационные технологии в науке и практике

УДК 574* 528.88

ПРОБЛЕМАТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В. С. Алфёрова¹

Научный руководитель Л. Н. Белан¹

Доктор геолого-минералогических наук, профессор

¹*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Нарушенные земли – территории, утратившие экологическую и хозяйственную ценность из-за деятельности человека, такой как добыча полезных ископаемых, строительство, складирование отходов и другие техногенные воздействия. В 2025 году проблема их восстановления остается актуальной, особенно в регионах с интенсивной промышленной активностью. Ключевые причины нарушения земель: эксплуатация месторождений полезных ископаемых – особенно актуально для северных областей России, где добыча нефти и газа оказывает существенное воздействие на ландшафт, включая выработку и загрязнение земель; возведение объектов инфраструктуры (трубопроводы, дороги); складирование отходов, включая промышленные, которые часто содержат тяжелые металлы и токсины.

Согласно законодательству Российской Федерации, для нарушенных земель предусмотрен комплекс мероприятий по их восстановлению, называемый рекультивацией. Рекультивация земель – обязательный процесс восстановления нарушенных или загрязненных территорий, предусматривающий штрафы за невыполнение обязательств, её цель – вернуть землям экологическую и хозяйственную ценность [1].

Ежегодно организации и предприниматели, чья работа сопряжена с нарушением земельных участков, обязаны сдавать отчет по форме 2-ТП (рекультивация) в Росприроднадзор [2]. Форма 2-ТП (рекультивация), введенная приказом Росстата является формой федерального статистического наблюдения. Обязанность представлять форму распространяется на юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, ведущих деятельность, вызывающую нарушение почвенного покрова. В список этих субъектов входят: компании, занимающиеся добычей полезных ископаемых (например, торф, песок, гравий); предприятия, осуществляющие лесозаготовку; организации, выполняющие изыскательские, мелиоративные и строительные работы. Документ фиксирует сведения о землях, где были выявлены нарушения, землях, где работы уже завершены, а также землях, прошедших процесс рекультивации. Кроме того,

предоставляется информация об объеме снятого плодородного слоя почвы и способах его применения.

По данным отчетов 2-ТП (рекультивация) Росприроднадзора за 2020-2024 года количество нарушенных и рекультивированных земель представлено в Таблице 1 [3].

Таблица 1

Данные отчетов 2-ТП (рекультивация) за 2020-2024

№ п/п	Наименование показателя	За отчетный год, га:				
		2020	2021	2022	2023	2024
1	Наличие нарушенных земель на начало отчетного года	1121903	1747924	2103343	1569548	2605132
2	За отчетный год нарушено земель	155228	195240	263995	229984	219036
3	Рекультивировано земель	106750	139753	193692	171361	158137
4	Наличие нарушенных земель на конец отчетного года	1169460	1802225	2173492	1628092	2666025

Оценка рекультивации земель – процесс, направленный на определение успешности восстановления нарушенных территорий. Традиционные методы по-прежнему сохраняют свою значимость, рассмотрим их далее. Полевые исследования и визуальный осмотр предполагают обследование территории с привлечением специалистов: специалисты-экологи, почвоведы и биологи, оценку состояния растительного покрова, рельефа местности, выявление признаков эрозионных процессов, а также наличие антропогенных объектов, например, остатков строительного мусора. Для анализа почвы в лабораторных условиях отбираются пробы грунта и исследуются на содержание токсинов, тяжелых металлов, показатель pH, органических веществ. Биологическая оценка – это анализ биоразнообразия: определение численности видов растений, насекомых и микроорганизмов; применение биоиндикаторов, к примеру, таких как лишайники для оценки чистоты воздуха. Подготовка документации и экспертных заключений содержит составление актов приемки рекультивированных земель с участием комиссии (экологи, представители муниципалитета), сравнение результатов с проектной документацией. Традиционные методы требуют трудоёмких полевых исследований. На сегодняшний день благодаря беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) этот процесс становится быстрее, точнее и экономичнее. Современные БПЛА оборудованы мультиспектральными камерами, лидарами, тепловизорами и фотограмметрическими системами. С помощью мультиспектральной съёмки проводится анализ индексов растительности (например, *NDVI – Normalized Difference Vegetation Index*), что позволяет оценить состояние здоровья растений. Фотограмметрия даёт возможность создавать трехмерные модели и цифровые карты рельефа, что способствует выявлению процессов эрозии и

неравномерности восстановления почвы. Термальные датчики предназначены для мониторинга влажности почвы и выявления зон с нарушениями гидрологического режима. Лидар обеспечивает высокоточное сканирование для детального анализа структуры растительного покрова и рельефа местности [4]. Сравнение традиционных и современных методов представлено в Таблице 2.

Таблица 2

Сравнение методов

№ п/п	Критерий	Традиционные методы	Современные методы (БПЛА, ГИС)
1	Скорость	Месяцы или недели	Дни или часы
2	Точность	Высокая (лаборатория)	Высокая (до 1 см/пиксель)
3	Охват территории	Точечный анализ	Сплошной мониторинг
4	Стоимость	Высокая (трудозатраты, лаборатория)	Средняя (оборудование и ПО)
5	Объективность	Зависит от экспертов	Автоматизированная обработка данных

БПЛА способны выполнить облёт территории площадью в 100 га за считанные часы, в то время как традиционные полевые исследования могут занимать недели; высокое разрешение снимков до 1 см/пиксель позволяет выявлять микротрещины, редкие растения или участки загрязнения. Кроме того, БПЛА позволяют исследовать опасные зоны (оползни, загрязненные почвы) без риска для жизни человека, проводить регулярный мониторинг для отслеживания динамики восстановления экосистем. Есть существенные недостатки, такие как ограничения, связанные с погодными условиями, что затрудняет полёты. Для обработки данных требуются специалисты в области геоинформационных систем (ГИС). Законодательство накладывает ограничения на полеты вблизи населенных пунктов или охраняемых территорий.

БПЛА трансформируют подход к оценке рекультивированных земель, предоставляя оперативные и объективные данные. Несмотря на существующие технические и регуляторные сложности, их применение становится нормой в области экологического мониторинга. Перспективы дальнейшего развития технологий предвещают сделать процессы рекультивации еще более эффективными и управляемыми.

Список литературы

1. ГОСТ Р 59057-2020 «Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель». М., Стандартинформ, 2020. 19 с.
2. Постановление Правительства РФ № 800 от 10.07.2018 г. «О проведении рекультивации и консервации земель». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71985800/?ysclid=m25yqi8kiv176040498> [дата обращения

04.04.2025].

3. Росприроднадзор, 2004-2025: 2-ТП (рекультивация) за 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 год, 2004-2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/land-recultivation/> [дата обращения 08.04.2025].

4. Миков Л. С., Счастливцев Е. Л., Андроханов В. А. Оценка эффективности рекультивации на участках разреза «Назаровский» с помощью данных дистанционного зондирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 1. С. 70-83.

УДК: 622.276.58:681.586'3

ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МАРКЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВУХПАКЕРНЫХ КОМПОНОВОК ДЛЯ ЛНЭК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКА ТРАССЕРНОЙ ЖИДКОСТИ.

Е. А. Мельникова¹

Старший преподаватель Дикопавленко Артур Витальевич¹

Научный руководитель Р.Ю. Руденко¹

Кандидат физико-математических наук

¹Сибирский федеральный университет

В статье обсуждается актуальная задача инженерного обеспечения решения такой проблемы как своевременное обнаружение обводнения скважины. В процессе разработки скважин критически важно сохранять герметичность эксплуатационной колонны, поскольку появление дефектов приводит к снижению эффективности добычи из-за притока нецелевого флюида. В настоящее время большая часть нефтяных месторождений России находится на поздней стадии разработки и характеризуется высокой и постоянно увеличивающейся обводненностью добываемой продукции. Внедрение двухпакерных компоновок представляет собой перспективную альтернативу, позволяющую избежать дорогостоящих ремонтных работ. Однако для обеспечения их эффективной эксплуатации необходим надежный мониторинг герметичности, который может быть реализован через систему маркерной диагностики. Полезность внедрения датчика, фиксирующего концентрацию и наличие трассерного маркера будет описана в данной статье.

Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения надежной эксплуатации скважин в условиях современных нефтегазовых месторождений. В процессе разработки скважин критически важно сохранять герметичность эксплуатационной колонны, поскольку появление дефектов приводит к снижению эффективности добычи из-за притока нецелевого флюида. В настоящее время большая часть нефтяных месторождений России находится на поздней стадии разработки и характеризуется высокой и постоянно увеличивающейся обводненностью добываемой продукции. Одной из причин высокой обводненности является наличие негерметичности эксплуатационных колонн (ЭК). Причиной образования негерметичности ЭК на скважинах является углекислотная коррозия, а также эрозионный износ от выноса частиц горной породы пласта, в условиях высоких дебитов жидкости и роста обводненности скважин. Процессы в большей степени проявляются на скважинах со сложной траекторией проводки (углы наклона выше 60 градусов).

Существуют виды работ по устранению негерметичности такие как: цементная заливка со снижением пористости, установка «пластыря», спуск дополнительной обсадной колонны меньшего диаметра. Работы по устранению негерметичности обсадных колонн: изоляция сквозных дефектов обсадных труб и повторная герметизация их соединительных узлов (резьбовые соединения, стыковочные устройства, муфты ступенчатого цементирования) тампонирующее: остановка и глушение скважины, исследование скважины, обследование обсадной колонны, выбор технологической схемы проведения операции, типа и объёма тампонажного материала. Ремонтно-изоляционные работы (РИР) являются одним из основных видов капитального ремонта скважин по восстановлению конструкции скважин и устранению негерметичности эксплуатационных колонн. На сегодняшний день стоимость РИР высока настолько, что некоторые нефтегазодобывающие предприятия вынуждены отказываться от их проведения. В свою очередь обводнение ставит под угрозу продолжение рентабельной эксплуатации основных обустроенных объектов добычи нефти. Большое количество скважин, достигнув предела рентабельности, уходит из действующего фонда. [1]

Внедрение двухпакерных компоновок представляет собой перспективную альтернативу, позволяющую избежать дорогостоящих ремонтных работ. Однако для обеспечения их эффективной эксплуатации необходим надежный

мониторинг герметичности, который может быть реализован через систему маркерной диагностики. [2]

Разработка и внедрение технологии мониторинга негерметичности двухпакерных компоновок с использованием маркерной диагностики позволяет своевременно выявлять нарушения герметичности, оптимизировать затраты на ремонт скважин, повышать эффективность добычи, увеличивать период безаварийной эксплуатации, продлевать ресурс скважинного оборудования. Маркерная система УПМП монтируется на двухпакерную компоновку и устанавливается в скважине перекрывая интервал негерметичности (Рисунок 1.). В процессе эксплуатации отбираются скважинные пробы и проводится анализ на наличие маркеров в жидкости.[3]

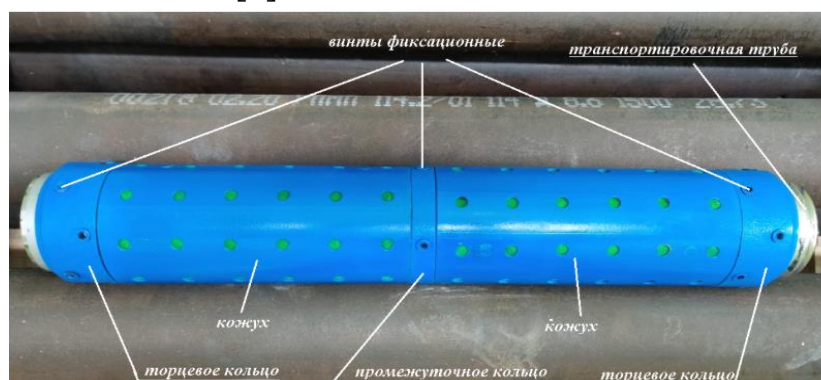


Рисунок 1. Внешний вид устройства УПМП 89.1

В качестве трассеров при проведении исследования применяются водорастворимые химические реагенты, такие как:

1. Флуоресцентные трассеры: флуоресцеин натрия, динатриевая соль эозина, эритрозин, родамин Ж, С. Данный тип индикатора экологически и санитарно-гигиенически безопасен; обладает многоцветностью, что позволяет проводить одновременный запуск 5-7 и более различных цветов в нагнетательные скважины; не сорбируются породой и оборудованием скважин; не искажают фильтрационный поток за счёт изменения его вязкости и плотности; легко и быстро определяются в полевых условиях на отечественной аппаратуре; на их концентрацию и определение не влияют физико-химические свойства гидродинамического носителя. Однако флуоресцентные индикаторы «замазываются» полярной органикой, так же частично растворимой в воде, что затрудняет их количественное определение.

2. Ионные трассеры: роданистый аммоний, натрий, карбамид, мочевины, нитрат натрия, аммония; тиокарбамид, динатрийфосфат. Трассеры такого типа

хорошо растворяются в пластовой и нагнетаемой воде (амины), не имеют аналогов в природе, биологически неактивны (экологически чисты), химически не взаимодействуют с нефтью, устойчивы в пластовых условиях, позволяют создать гамму индикаторов со сходными физико-химическими свойствами и единым методом регистрации; легко определяются количественно на спектрометре электронно-парамагнитного резонанса.

3. Органические трассеры: спирты (изопропанол, бутанол), изомеры фторбензойной кислоты, а также стабильные радикалы (2,2,6,6-тетраметил-4-оксиперидин-1-оксил) и амины нитроксильных радикалов. Данные трассеры растворяются как в нефти, так и в воде. Проблема заключается в их количественном определении, которое нужно проводить достаточно дорогостоящими хроматографическими методами. [5]

Система мониторинга негерметичности двухпакерных компоновок для ЛНЭК посредством трассерных маркеров представляет собой патрубок, оборудованный кожухом, содержащим трассерные маркеры. Патрубок с кожухом устанавливается в составе двухпакерной компоновки для ЛНЭК (между пакерами). Трассерный маркер, содержащийся в кожухе, является водорастворимым. При возникновении негерметичности в двухпакерной системе маркер выносится на поверхность в скважинной продукции. Наличие трассерного маркера в составе скважинного флюида и, соответственно, негерметичность двухпакерной компоновки ЛНЭК подтверждается лабораторным анализом проб.

Начиная с 2020 года, проведено около пяти установок устройств поинтервального мониторинга притока в составе двухпакерной компоновки, которые монтировались на первую трубу НКТ над нижним пакером. Отбор проб производился со средней периодичностью 1 раз в месяц.

В ходе проведенных многоэтапных исследований отобранных проб и по результатам промежуточных отчетов выявлено, что после первого отбора проб во всех скважинах наблюдалось наличие трассерного элемента. Это связано с наличием остаточных явлений после спуска компоновки и ее активации. В ходе последующих отборов проб наблюдалась динамика снижения концентрации трассерных элементов, что свидетельствует о герметичности двухпакерной компоновки.

При смене режимов и изменении депрессии наблюдается частичная разгерметизация механических пакеров, в ходе дальнейшей работы герметичность восстанавливается.

Однако несвоевременный отбор проб может существенно исказить реальную картину обводненности скважины, что приводит к серьезным последствиям для эксплуатации и управления добычей.[4]

Основные проблемы, связанные с несвоевременным отбором проб:

1. Искажение данных об обводненности: реальный процент обводненности может быть занижен, данные для расчета дебита скважины получаются неточными, оценка работоспособности скважины становится некорректной, планирование ремонтных работ осуществляется на основе ошибочных данных.

2. Технические сложности при отборе проб: человеческий фактор влияет на качество отбора, состав пробы может изменяться при транспортировке, внешние условия влияют на качество анализа, временной фактор искажает реальные показатели.

3. Экономические последствия: значительные затраты на лабораторный анализ, расходы на выезд бригад для отбора проб, простои оборудования во время отбора, потери продукции из-за задержек в принятии решений.

4. Операционные издержки: время на подготовку к отбору проб, затраты на аренду специального оборудования, расходы на транспортировку проб, время на проведение лабораторного анализа.

5. Влияние на принятие решений: неправильная оценка эффективности работы скважины, необоснованные ремонтные работы, нерациональное использование ресурсов, потеря производительности.

6. Возможные ошибки в измерениях: пропуск пиковых значений обводненности, неверная оценка динамики обводнения, искажение данных при несвоевременном анализе, ошибки в планировании мероприятий.

7. Последствия для эксплуатации: неэффективное использование оборудования, повышенные затраты на обслуживание, снижение производительности скважины, ухудшение качества добываемой продукции.

8. Влияние на планирование: неправильная оценка запасов, неэффективное распределение ресурсов, затраты на дополнительные исследования, потеря времени на корректировку планов.[6]

В качестве решения предлагается внедрение автоматизированной системы контроля трассерного раствора в режиме реального времени. Был произведен поиск подобных систем контроля, а также подобных разработок на месторождении. По результатам проведенной работы, наиболее оптимальным

вариантом является установка датчика для отслеживания наличия и концентрации трассерной жидкости в двухпакерной компоновке с использованием флуоресцентного индикатора. Внедрение таких датчиков должно с 99% точностью определять концентрацию маркерной жидкости без вмешательства лаборатории в режиме реального времени, что способствует своевременному обнаружению разгерметизации двухпакерных компоновок.

Ниже будут приведены примеры существующих на рынке датчиков контроля концентрации флуоресцентной жидкости.

Модель	Габариты, мм	Цена
Люминесцентный датчик DATASENSING LD46-UL-715 	32x60x82	172 772 руб.
Люминесцентный датчик DATASENSING S8-PR-5-U03-PP 	14x43x25	59 129 руб.
Люминесцентный датчик LeuzeElectronic LRT 8/24.04-50-S12 	15x48x38	110 737 руб.
Люминесцентный датчик DATASENSING S8-PR-3-U03-PP	14x43x25	60 268 руб.

		
Средняя цена датчика:		100 726,2 руб.

Анализ рынка показал, что существует четыре популярных модели люминесцентных датчика.

Так как многие кустовые площадки в перспективе оптимизируются и оборудуются телеметрией, например электронными монometрами, установка такого оборудования не составит труда. Необходимо выбрать оптимальные скважины кандидаты, те, в которых имеется межколонная разгерметизация и установлена двухпакерная компоновка с трассерной жидкостью. Предлагается установка одного из предложенных датчиков на фонтанную арматуру на место расположения одного из манометров, временно, для испытания. Для установки в результате успешного испытания организовать точку врезки рядом с монometром. Примерное место установки – фланцевое соединение.

Стоимость установки данного датчика, его подключение и разработка необходимого программного обеспечения может обойтись в среднем 600000 руб.

Фактические испытания классическими методами анализа, проведенные на 5 скважинах, в затраты которых включены услуги по мониторингу негерметичности компоновок, ликвидации негерметичности эксплуатационной колонны, включая лабораторные исследования пластовой воды на наличие трассеров равняются по сумме затрат 8 699 000 руб. в год. Применение датчиков контроля трассерной жидкости, при условии его доработки, создания необходимого программного обеспечения и введения в эксплуатацию будет стоить в среднем 730000 руб., что позволит сократить затраты на обслуживание двухпакерных установок как минимум на 7 000 000 руб. в год, а также позволит в режиме реального времени отслеживать их состояние.

Список литературы:

1. Гризодуб Е. В. Повышение эффективности ремонтно-изоляционных работ на нефтяных месторождениях Западной Сибири: бакалаврская работа / Е. В. Гризодуб ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), — Томск, 2022.

2. Юлдашев Р. Р., Малышев М. В. Двухпакерная компоновка для перекрытия негерметичных участков эксплуатационных колонн нефтяных и газовых скважин. патент RU №2236550, МПК E21B 29/10, опубл. 20.09.2004, бюл. №26
3. Хуснутдинов Д. Р. Особенности применения пакерных технологий при эксплуатации УЭЦН в условиях высокого газового фактора //Проблемы геологии и освоения недр: труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 160-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 140-летию академика М.А. Усова, основателям Сибирской горно-геологической школы, г. Томск. Т. 2. – 2023. – С. 77-78.
4. Киселев Н. В. Технология применения ЭЦН в скважинах с НЭК, осложненных высоким газосодержанием /Нефтяная столица. – 2023. – С. 113-115.
5. Каюков Д. Ю. Тестирование систем трассерного мониторинга горизонтальных скважин на мультифазном метрологическом стенде /Актуальные проблемы нефти и газа. – 2023. – №. 2 (41). – С. 173-183.
6. Коновалов Д. А. Анализ применимости технологий постоянного мониторинга работы нагнетательных и добывающих скважин на примере Ванкорского месторождения: дис. – Сибирский федеральный университет, 2021.

УДК 65.011.56

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ООО «РН-ВАНКОР»

А. В. Кукуев¹

Научный руководитель А. К. Москалев¹

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹Сибирский федеральный университет

Современная нефтегазовая отрасль находится в процессе активной цифровой трансформации, что обусловлено необходимостью повышения безопасности, эффективности и производительности труда. Одной из ключевых проблем, с которой сталкиваются предприятия, является недостаточная информативность мобильных автоматизированных систем, используемых сотрудниками на нефтегазовых месторождениях. Отсутствие комплексной автоматизации приводит к ошибкам в учете рабочего времени, недооценке объема выполненных работ, затруднениям в контроле качества и безопасности, а также к ограниченной возможности оперативного реагирования на потенциальные риски. Эти проблемы особенно актуальны для объектов с высоким классом опасности, таких как Ванкорское месторождение, эксплуатируемое ООО «РН-Ванкор».

Технологии дополненной реальности (AR) интегрируют цифровые данные с реальной средой, предоставляя сотрудникам актуальную информацию в реальном времени. Внедрение AR на объектах ООО «РН-Ванкор» поддерживает Распоряжение Правительства РФ от 12.03.2024 № 581-р и Стратегию «Роснефть-2030» [1], направленные на использование отечественных технологий и достижение нулевого уровня травматизма. Это повысит безопасность, оптимизирует процессы и снизит затраты [2].

Одним из перспективных решений для внедрения дополненной реальности на нефтегазовых месторождениях является использование умных касок. Эти устройства представляют собой средства индивидуальной защиты (далее – СИЗ), оснащенные AR-технологиями, которые обеспечивают сотрудников визуальными инструкциями, данными с датчиков и возможностью удаленной поддержки. Анализ рынка показал наличие нескольких решений, среди которых выделяется *MyDigitalHelmet* – устройство, сочетающее высокую функциональность и приемлемую стоимость [3].

Умная каска *MyDigitalHelmet* весом 300 г оснащена видеосвязью, аудиосвязью, GPS/ГЛОНАСС, интеграцией с датчиками СИЗ и отображением данных в реальном времени. Поддержка инфраструктуры передачи данных обеспечивает стабильную работу на месторождениях. По сравнению с аналогами

¹ © Кукуев А.В., 2025

(ПАК «Умные каски», платформа ИКСАР), MyDigitalHelmet предлагает оптимальное соотношение цены и функциональности, что делает его предпочтительным для проекта.

Функционал умных касок решает проблему недостаточной информативности существующих систем. Они позволяют визуализировать инструкции по технике безопасности, считывать данные с оборудования, прокладывать безопасные маршруты и фиксировать действия сотрудников, исключая человеческий фактор. Это особенно важно в условиях Ванкорского месторождения, где высокие риски травматизма и аварийности требуют надежных инструментов контроля и мониторинга.



Рисунок 1 – MyDigitalHelmet

Был инициирован проект внедрения устройств дополненной реальности на объекты ООО «РН-Ванкор», который направлен на комплексную автоматизацию процессов, повышение безопасности и эффективности работы персонала. Основные аспекты управления содержанием, сроками и стоимостью проекта основаны на детальном анализе и планировании.

В рамках проекта выбрано устройство *MyDigitalHelmet*, которое соответствует требованиям стейкхолдеров: устойчивость к экстремальным условиям (температура, пыль, влага), визуализация данных в реальном времени, интуитивно понятный интерфейс и интеграция с существующими системами мониторинга. Иерархическая структура работ включает четыре ключевых этапа: планирование опытно-промышленных испытаний (далее – ОПИ), опрос рынка и закупочная деятельность, проведение и мониторинг ОПИ, завершение ОПИ и внедрение. Каждый этап детализирован до конкретных задач, таких как составление программы ОПИ, тестирование функций устройства и согласование отчетов. Проект ограничен использованием существующей инфраструктуры месторождения без значительных модификаций.

Общая продолжительность проекта составляет 199 дней. Диаграмма Ганта, построенная в Microsoft Project, отражает последовательность операций: планирование ОПИ (14 дней), опрос рынка и закупки (97 дней), проведение и мониторинг ОПИ (31 день), завершение и внедрение (21 день). Ключевые вехи включают утверждение программы ОПИ, согласование плана внедрения и

закрытие договора. Такой график позволяет уложиться в установленный срок – 1 год.

Общая стоимость достигает 91,15 млн руб., включая закупку 107 умных касок (85,6 млн руб.), затраты на персонал (около 0,83 млн руб.) и транспортные расходы (1 млн. рублей на доставку касок). Амортизация инфраструктуры (центр управления и вышки связи) также учтена. Бюджет проекта не превышает установленный лимит в 500 млн руб., что подтверждает его экономическую целесообразность на этапе планирования.

Воспользовавшись средством имитационного моделирования *AnyLogic* и изучив процессы ремонта установок электроприводных центробежных насосов до и после внедрения, была выявлена экономия на процессах ремонта за пять лет полезного использования многофункциональной каски с дополненной реальностью равная 307,6 млн. рублей, что позволит окупить вложенные средства и принести больше прибыли в будущем.

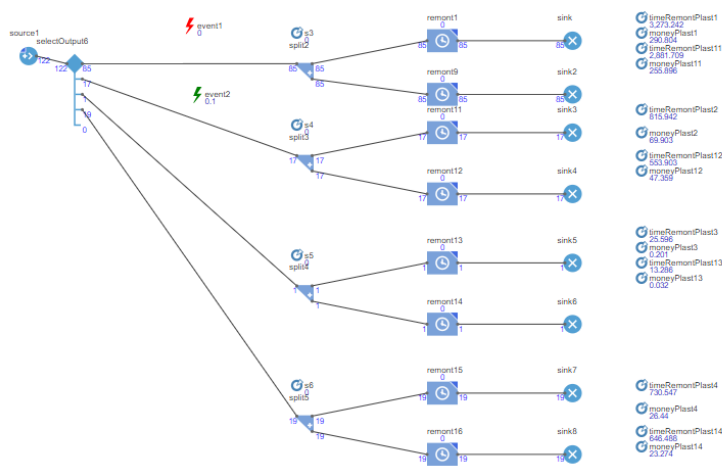


Рисунок 2 – Модель до-после внедрения многофункциональной каски в *AnyLogic*

Внедрение технологий дополненной реальности на объектах ООО «РН-Ванкор» представляет собой перспективное решение для устранения проблемы недостаточной информативности мобильных автоматизированных систем. Умные каски, такие как *MyDigitalHelmet*, обеспечивают комплексную автоматизацию процессов, повышая безопасность, эффективность и качество работы персонала. Проект, разработанный с учетом строгих требований стейкхолдеров, демонстрирует реалистичность внедрения в рамках 199 дней и бюджета 91,15 млн руб.

Список литературы

1. Роснефть: Перспективы развития и стратегия [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosneft.ru/about/strategy/> [дата обращения 10.12.2024].

2. Роснефть: Экономический эффект от реализации инновационной технологии на Ванкорском месторождении [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/215097/> [дата обращения 10.12.2024].

3. mydigitalhelmet.ru: Умная каска. URL: <https://mydigitalhelmet.ru/> [дата обращения 31.11.2024].

4. Softline.ru: СИЗ Умные каски [Электронный ресурс]. URL: <https://softline.ru/solutions/infrastructure-solutions/inzhenernyie-sistemyi/programmno-apparatnyj-kompleks-umnye-kaski/> [дата обращения 31.11.2024].

УДК 339.97:338.2

ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В РСЧС В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПЛАТФОРМЕННОГО МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

И. Н. Белобров¹

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

В работе рассмотрены подходы к совершенствованию методов принятия решений в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в условиях цифрового платформенного межведомственного взаимодействия. На примере прогнозирования паводков в Красноярском крае, в частности в городе Канск, показаны возможности применения современных технологий, таких как математическое моделирование и нейронные сети, для повышения эффективности предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Представлены результаты двумерного гидродинамического моделирования, позволяющего определить зоны затопления при различных уровнях обеспеченности паводков (1%, 3%, 5%, 10%, 25%, 50%). Описано использование нейронной сети NeuroPro 0.25 для долгосрочного прогнозирования рисков подтопления, что показало точность прогнозов в пределах 70-75%. Особое внимание уделено важности создания единой цифровой платформы для межведомственного взаимодействия, которая интегрирует данные из различных источников и позволяет оперативно принимать решения на основе актуальной информации.

Ключевые слова: моделирование, прогнозирование, нейронные сети, математическое моделирование, мониторинг чрезвычайных ситуаций.

С каждым годом в мире, и, в частности, в Красноярском крае, увеличивается количество чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера. Наибольшие риски приходятся на центральные и южные районы края, где высокая плотность населения и развитая инфраструктура [1]. Особую опасность представляют наводнения, которые наносят значительный ущерб экономике, инфраструктуре и угрожают жизни и здоровью граждан. В связи с этим актуальной задачей является совершенствование методов принятия решений в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) с использованием современных цифровых технологий и межведомственного взаимодействия [2].

На территории Красноярского края, особенно в городах с высокой концентрацией населения и опасных производств, наводнения являются одной из наиболее значимых угроз. Например, в 2019 году в результате обильных дождей в южных и восточных районах края произошел резкий подъем уровня воды в реках, что привело к подтоплению 24 населенных пунктов. В городе Канск было затоплено более 300 жилых домов, в которых проживало свыше 3000 человек [3]. За период с 2016 по 2024 год в Канске было подтоплено более 1300 домов, что подчеркивает необходимость разработки эффективных методов прогнозирования и предотвращения подобных ситуаций.

Одним из ключевых подходов к совершенствованию методов принятия решений в РСЧС является использование математического моделирования для прогнозирования развития чрезвычайных ситуаций. В частности, для прогнозирования паводков применяются двумерные гидродинамические модели, которые позволяют рассчитать различные сценарии развития обстановки в зависимости от задаваемых параметров. Например, в работе представлена модель, которая учитывает максимальные расходы воды и уровни воды в реках Кан и Иланка при различной обеспеченности (1%, 3%, 5%, 10%, 25%, 50%). Модель позволяет определить зоны затопления и оценить эффективность.

Для долгосрочного прогнозирования риска подтопления в городе Канск была применена нейронная сеть NeuroPro 0.25, разработанная в ФИЦ КНЦ СО РАН. Нейронная сеть была обучена на данных оперативного мониторинга паводковой ситуации и архивных данных за последние 30 лет. Входные параметры модели включали данные о снегозапасах, интенсивности снеготаяния, осадках и других факторах, влияющих на формирование паводков. Массив данных для прогнозирования был получен из данных оперативного мониторинга паводковой ситуации и архивных данных по подтоплениям территории за последний 30 лет, взятых из базы данных Главного управления МЧС России по Красноярскому краю и ФГБУ «Среднесибирское УГМС». Входные параметры были подобраны эмпирическим путем. Размерность

векторов признаков была установлена эмпирическим путем. При вычислении использована многослойная нейронная сеть с 12 слоями и числом нейронов скрытых слоев равным 204. Модель показала точность прогнозирования в пределах 70-75%, что позволяет использовать её для предварительной оценки рисков.

В условиях цифровизации важным аспектом совершенствования методов принятия решений является создание единой цифровой платформы для межведомственного взаимодействия. Такая платформа должна интегрировать данные из различных источников, включая гидрологические посты, метеорологические станции, системы мониторинга и базы данных МЧС. Это позволит оперативно обмениваться информацией между ведомствами и принимать решения на основе актуальных данных. Например, результаты моделирования зон затопления могут быть интегрированы в систему Атлас рисков, что позволит визуализировать потенциальные угрозы и разработать план превентивных мероприятий.

На основе проведенного моделирования были определены зоны затопления в городе Канск при различных уровнях обеспеченности паводков. Например, при 1% обеспеченности площадь затопления может достигать 5,0 кв. км, что приведет к подтоплению 24 жилых домов. Полученные данные были использованы для разработки модели прохождения паводка, которая была интегрирована в систему Атлас рисков. Это позволило визуализировать потенциальные угрозы (рис.) и разработать комплекс превентивных мероприятий, направленных на снижение ущерба от наводнений.

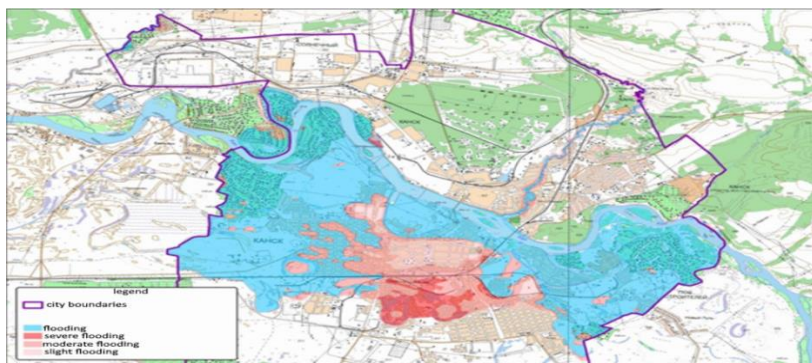


Рисунок. Графическое изображение границ зон подтопления территорий при половодьях и паводках 1% обеспеченности р. Кан.

Совершенствование методов принятия решений в РСЧС в условиях цифрового платформенного межведомственного взаимодействия является важным шагом на пути к повышению эффективности предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Использование математического моделирования, нейронных сетей и цифровых платформ позволяет не только прогнозировать развитие ЧС, но и оперативно реагировать

на возникающие угрозы. Внедрение таких подходов в практику РСЧС будет способствовать снижению ущерба от наводнений и других природных катастроф, а также повышению уровня безопасности населения.

Список литературы

1. Grebnev, Y. V. Development of a model for forecasting the inflow to the site of a hydroelectric power plant using neural models for information processing / Y. V. Grebnev, A. K. Moskalev, A. E. Petrunina, D. T. Lazutin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1231/1/012074>.

2. Шуляковский Л. Г., Еремина В. И. К методике прогноза заторных уровней воды // Метрология и гидрология. – 1952. – № 1. – С. 46-51.

3. Чащин, С. В. Применение методов машинного обучения «с учителем» для атрибуции текста: отдельные подходы и промежуточные результаты при идентификации авторов русскоязычных текстов / С. В. Чащин // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. – 2018. – № 1(43). – С. 139-147.

УДК 303.732

СТУДЕНЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ

А. В. Болдина¹

Научный руководитель А. К. Москалев¹

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В последнее время для оценки эффективности субъекта экономической деятельности применяется подход SFA (stochastic frontier analysis) на основе многофакторной параметрической модели [1]. Многообразие SFA-моделей основываются на производственной функции, которая, как известно, использует данные о потребляемых ресурсах и объемах выпуска продукции. Однако в литературе все больше публикаций, где предлагается использовать финансовые показатели [1]. В данной статье мы предполагаем использовать «стохастический граничный анализ» для оценки эффективности предпринимаемых усилий научно-технологического развития субъекта федерации на формирование стартапов в регионе.

Научно-технологическое развитие регионов являет собой ключевой фактор прорыва к новым отраслям производства, что сейчас устойчиво ассоциируется с понятием «стартап».

Уровень научно-технологического развития (НТР) регионов ежегодно оценивается в соответствующем рейтинге РИА Новости. Рейтинг НТР формируется на основе данных Росстата и Роспатента. Лидерами рейтинга традиционно являются Москва, Санкт-Петербург и Татарстан, обеспечивающие 36% общероссийского объёма инновационных товаров и услуг. В топ-5 также входят Нижегородская и Московская области. Рейтинг рассчитывается по 19 показателям, сгруппированным в четыре ключевых направления: «Человеческие ресурсы», «Материально-техническая база», «Эффективность научно-технологической деятельности» и «Масштаб научно-технологической деятельности» [2]. Итоговый балл из-за нормировки показатели не превышает 100.

В рамках федерального проекта «Студенческое предпринимательство» Фонд содействия инновациям (ФСИ) в течении уже трех лет реализует конкурсную программу «Студенческий стартап», которая предоставляет уникальные возможности для реализации инновационных идей студентами высших учебных заведений. Целью программы – благодаря доступу к научным технологическим центрам, производственным комплексам регионов, современным лабораториям привлечение потенциала студенчества для разработки инновационных продуктов и услуг [3].

Для оценки эффективности предпринимаемых усилий научно-технического развития субъекта федерации на формирование стартапов в регионе нами выполнен корреляционный анализ количества победителей конкурса «Студенческий стартап» и рейтингом регионов по НТР в 2022-2023 годах – рисунок 1,2.

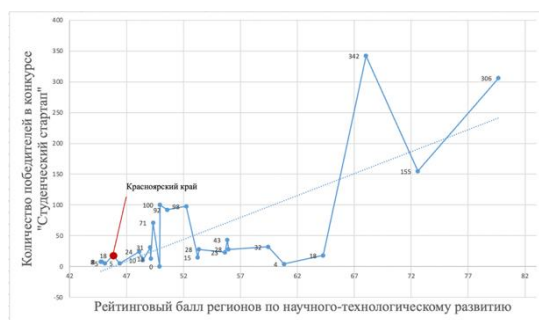


Рисунок 1. Количество победителей в конкурсе «Студенческий стартап» и рейтинг регионов по научно-технологическому развитию в 2022 году

В 2022 году значения рейтинга распределились следующим образом: Москва заняла лидирующую позицию с показателем 79,66, Санкт-Петербург —

72,58, Республика Татарстан — 68,03, а Красноярский край с рейтинговым баллом 45,85 оказался на 22-м месте.

Умеренная положительная корреляционная связь – 0,73 подтверждает, что научно-технологическое развитие региона влияет на успех студенческих стартапов. Это означает, что для повышения инвестиционной привлекательности сферы исследований и разработок через создание предпринимательской деятельности необходимо учитывать региональные особенности, создавая инфраструктуру для поддержки стартапов и выявляя другие влияющие факторы.



Рисунок 2. Количество победителей в конкурсе «Студенческий стартап» и рейтинг регионов по научно-технологическому развитию в 2023 году

В то же время, корреляция умеренная, что свидетельствует о наличии иных факторов, влияющих на уровень студенческой стартап-культуры, помимо регионального аспекта.

Согласно вышеприведённым графикам в 2023 году по сравнению с 2022 годом корреляция между развитием научно-технологической инфраструктуры в регионе и количеством студентов-победителей конкурса «Студенческий стартап» усилилась до показателя 0,80. Таким образом, результаты 2023 года подтверждают, что в регионах с развитой научно-технологической инфраструктурой, как правило, создаются более благоприятные условия для формирования и успешного ведения студенческих стартапов.

По состоянию на конец 2024 года по критерию инновационной активности в РФ лидирующими можно назвать следующие регионы: г. Москва, г. Санкт-Петербург, Республика Татарстан, Нижегородская область, Новосибирская область, Московская область, Томская область, Ульяновская область, Республика Башкортостан.

Для устойчивого роста необходимо уточнить те конкретные параметры рейтинга, которые могут влиять уровень технологического предпринимательства в регионе. Полученные нами конкретные статистические закономерности позволяют нам надеяться на использование «стохастического граничного анализа» для оценки эффективности предпринимаемых усилий

научно-технологического развития субъекта федерации на формирование технологических прорывов и развития стартапов в регионе, в частности.

Список литературы

1. Алихманова А. Н. Математическое и алгоритмическое обеспечение для оценки эффективности деятельности предприятий // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск 2023. ФГБОУВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».
2. Электронный ресурс: Названы регионы — лидеры по научно-технологическому развитию [Электронный ресурс] // РИА Новости. URL: <https://ria.ru/20241028/rejting-1980415778.html> (дата обращения: 14.04.2025).
3. Электронный ресурс: Студенческий стартап [Электронный ресурс]. URL: <https://univertechpred.ru/studencheskiy-startap/> (дата обращения: 14.04.2025).
4. Электронный ресурс: Итоги конкурса «Студенческий стартап» [Электронный ресурс]. URL: <https://fasie.ru/competitions/> (дата обращения: 14.04.2025).
5. Электронный ресурс: Рейтинг регионов по научно-технологическому развитию – итоги 2023 года [Электронный ресурс] // РИА Рейтинг. URL: <https://riarating.ru/infografika/20241028/630271465.html> (дата обращения: 14.04.2025).
6. Электронный ресурс: Рейтинг регионов по научно-технологическому развитию – итоги 2022 года [Электронный ресурс] // РИА Рейтинг. URL: <https://riarating.ru/infografika/20231023/630251402.html> (дата обращения: 14.04.2025).
7. Опубликован 9-й выпуск Рейтинга инновационного развития субъектов Российской Федерации [Электронный ресурс] // Высшая школа экономики. URL: <https://issek.hse.ru/news/949132842.html> (дата обращения: 14.04.2025)

УДК 62-7

ЭФФЕКТИВНЫЙ РЕКУПЕРАТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК ДЛЯ ЖИЛОГО ДОМА В УСЛОВИЯХ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Е. К. Лушникова¹, О. В. Чаплыгина¹

Научный руководитель Г. Н. Харук¹

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В процессе вентилирования из помещения утилизируется не только отработанный воздух, но и часть тепловой энергии. Зимой это приводит

к увеличению счетов на энергоресурсы. Сократить неоправданные расходы, не в ущерб воздухообмену, позволит рекуперация тепла в системах вентиляции централизованного и локального типа. Для регенерации тепловой энергии используются разные виды теплообменников – рекуператоры.

Также для жизни человека очень важен хороший воздухообмен, так как свежий воздух полезен для организма, в противном случае люди часто могут испытывать головокружение, головную боль, неприятное состояние из-за спертости воздуха.

Понятие рекуперации:

В переводе с латинского, рекуперация означает возмещение или обратное получение. В отношении теплообменных реакций, рекуперация характеризуется как, частичный возврат энергии, затраченной на проведение технологического действия с целью применения в этом же процессе. Процесс регенерации энергии осуществляется в регенерационном теплообменнике. Устройство предусматривает наличие теплообменного элемента и вентиляторов для прокачивания разнонаправленных воздушных потоков. [1]

Один из вариантов сбережения энергоресурсов — метод рекуперации тепла в системах вентиляции и кондиционирования. В этом случае рекуперация представляет собой использование тепла вытяжного воздуха для нагрева приточного.

В состав установки приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла входят: наружная установка, предназначенная для забора свежего воздуха с улицы; внутренняя установка для удаления отработанного воздуха на улицу; вентиляционная установка с рекуператором и др. (рис. 1).

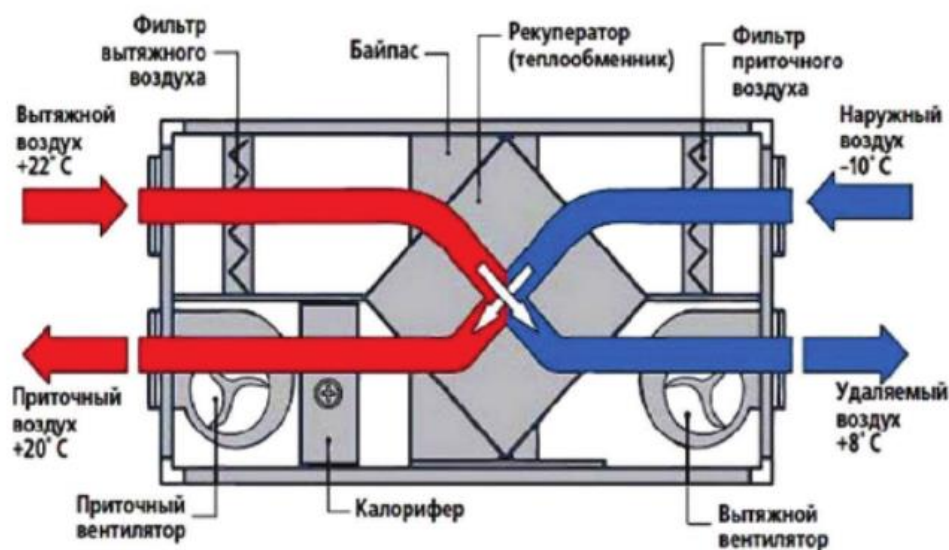


Рисунок 1. Установка приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла

Прежде чем выпустить из дома теплый воздух, его пропускают через рекуператор. Здесь холодный воздух нагревается удаляемым из помещений теплым воздухом. Такая система не смешивает удаляемый воздух со свежим. Благодаря такой вентиляции система отопления может работать в менее нагруженных режимах, следовательно, сокращаются расходы на отопление. [4]

Принцип работы:

- Воздух собирается по воздуховодам
- С помощью вентилятора подается в систему;
- Пропускается через рекуператор;
- Выбрасывается в атмосферу;
- С улицы забираются свежие потоки и вновь пропускаются через рекуператор;

- Частично тепло забирается и передается поступающему притоку.

Эффективность системы зависит от типа рекуператора, габаритов помещения и расхода воздуха. В любом случае, использование рекуперационной вентиляции даже с КПД в 30% выгоднее, чем ее отсутствие. Кроме существенной экономии на энергоресурсы, «регенерация» тепла улучшает общий микроклимат в помещении. [1]

Виды рекуператоров:

Роторный рекуператор – теплообменник, представленный в виде цилиндра, заполненного прослойками гофрированного металла. По мере вращения барабанной установки в каждый отсек поочередно поступают теплые или холодные струи воздуха. КПД теплообмена определяется скоростью вращения ротора, эффективность работы можно регулировать. Устанавливается необходимое число оборотов ротора. С помощью регулятора скорости вращения, изменяется мощность тепловой отдачи.[1] Барабан изготавливается из алюминиевой фольги с высокой проводимостью тепла. Тепло при удалении передается входящим воздушным массам. в комнатах образуется меньше сухости. Устанавливается необходимое число оборотов ротора. С помощью регулятора скорости вращения, изменяется мощность тепловой отдачи.

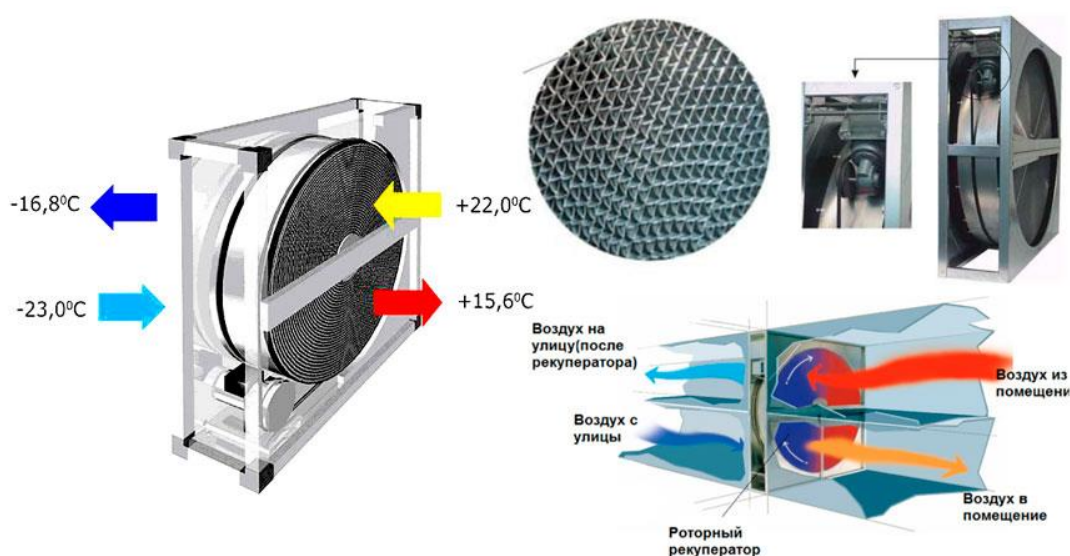


Рисунок 2. Роторный рекуператор

Аргументы «за» рекуператор:

- Возврат тепла 87-90%;
- Экономичность расхода электроэнергии;
- Частичное возмещение влаги;
- Устройство не восприимчиво к морозам;
- Период окупаемости – до 4-х лет.

Аргументы «против» рекуператора:

- Подмес загрязненного воздуха в приток;
- Через микроканалы поочередно циркулируют вытяжные и приточные массы, поэтому около 3-8% «отработки» возвращаются обратно;
- Барабан часто передает запах исходящего воздуха;
- Вращающиеся части ротора нуждаются в регулярном обслуживании и периодической замене;
- Движущиеся элементы во время работы издают шум и вибрацию;
- Высокая стоимость;
- Большие размеры;
- Монтаж осуществляется в просторной венткамере.

Из-за громоздкости роторные установки используются преимущественно на промышленных предприятиях.

Тепловые трубки – закрытая система теплообмена. Рекуператор состоит из множества медных или алюминиевых трубок, заполненных легкоиспаряющимся веществом, например, фреоном. Принцип функционирования трубчатого теплообменника базируется на физических процессах – изменении состояния вещества при нагревании. Термотрубка размещается вертикально – нижний конец теплообменника в вытяжном канале, а верх – в приточном воздуховоде. Исходящие потоки огибают конец трубки – фреон нагревается, вскипает и

выпаривается, Газ поднимается и отдает тепловую энергию притоку, после чего фреон конденсируется и стекает вниз рекуператора. Термический цикл повторяется по кругу.

Аргументы «за» рекуператор:

- Простота конструкции;
- Отсутствие подвижных деталей и бесшумность работы;
- Малые массогабаритные характеристики;
- Отсутствие затрат энергии на перемещение теплоносителя;
- Надежность работы;
- Высокая эквивалентная теплопроводность.

Аргументы «против» рекуператора:

- Падение эффективности при увеличении длины трубки;
- Зависимость эффективности от ориентации (влияние гравитации);
- Оптимальное расположение испаритель снизу, конденсатор сверху;
- Снижение эффективности теплопереноса при изгибании трубок.

Пластинчатый рекуператор – рекуператор устроенный таким образом, что воздушные потоки в них не смешиваются, а контактируют между собой через стенки теплообменной кассеты. Эта кассета состоит из множества пластин, отделяющих холодные воздушные потоки от теплых. Чаще всего пластины делают из оцинкованного металла с установленным в нем пакетом пластин, фольги, полимеризованной бумаги или пластика. [5]

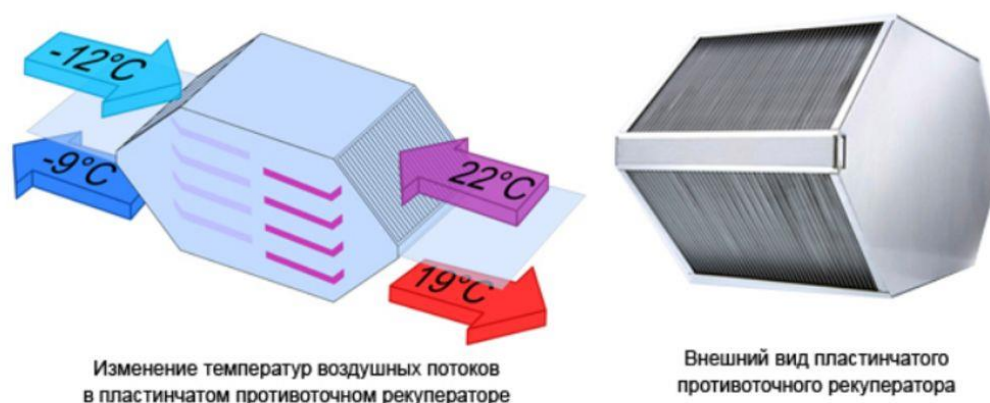


Рисунок 4. Пластинчатый рекуператор

Аргументы «за» рекуператор:

- Теплообменники из пластика имеют более высокий КПД и могут использоваться в помещениях с высокой влажностью;

- Теплообменники из полимеризованной бумаги так же имеют высокий КПД, при этом не образуют конденсат при работе (нет необходимости предусматривать слив), и они не сушат воздух;

Аргументы «против» рекуператора:

- Теплообменники с пластинами из металла отличаются не очень высоким КПД, так как обмерзают в мороз и требуют времени на оттаивание;

- Из пластика стоят дороже;

Из полимеризованной бумаги рекуператоры нельзя использовать во влажных помещениях. [5]

Таблица

Необходимые данные для каждого рекуператора

Вид рекуперативного теплообменника	КПД, %
Роторный	87%
Трубчатый	40-60%
Пластинчатый	65-85%

Климат Красноярского края резко континентальный, хотя на территории региона выделяют три климатических пояса: арктический, субарктический и умеренный. В каждом из них отмечают свои климатические особенности. Поэтому принято выделять западные и восточные климатические области, граница которых проходит по долине реки Енисей.

Годовая амплитуда температуры воздуха (по средним месячным значениям) в Красноярске составляет 38°C.

Средняя температура воздуха в Красноярске по данным многолетних наблюдений составляет -6,5°C.

Наиболее тёплый месяц - июль, его средняя температура +15,7°C.

Наиболее холодный месяц - январь, со средней температурой -28,7 °C.

Самая высокая температура, отмеченная в Красноярске за весь период наблюдений, +36,5 °C (21 июля 2002 года), а самая низкая -52,8 °C.

Тем не менее, стоит отметить, что в последние годы климат Красноярска стал мягче, и последний раз в текущем десятилетии столь низкие экстремальные температуры были зарегистрированы только в 2001 году -43,4°C (8 января 2001 года). В этом же году в Красноярске был отмечен абсолютный минимум февраля (-41,6 градусов) и мая (-11,2 градусов) [2].

На рисунке 5 представлены значения температур в городе Красноярск.

Климат Красноярска: норма 1981—2010 (Красноярское опытное поле)													
Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Абсолютный максимум, °С	6	8,5	18,5	31,4	34	34,8	36,5	35,1	31,3	24,5	13,6	8,6	36,4
Средний максимум, °С	-11,4	-8	-0,2	7,8	17,1	22,4	24,8	21,8	14,4	6,4	-3,4	-9,4	6,9
Средняя температура, °С	-15,5	-12,8	-5,7	2	10,4	15,9	18,7	15,7	8,9	2	-7,2	-13,4	1,6
Средний минимум, °С	-19,2	-16,9	-10,1	-2,6	4,7	10,3	13,4	10,8	4,8	-1,6	-10,6	-17,1	-2,8
Абсолютный минимум, °С	-52,8	-41,6	-38,7	-25,7	-11,2	-3,6	3,3	-1,1	-9,6	-25,1	-42,3	-47	-52,8
Норма осадков, мм	18	13	16	32	45	63	76	67	50	43	38	30	491
Источник: Погода и Климат 													

Рисунок 5. Значения температур в городе Красноярск.

Для наших расчетов нам понадобится средняя температура по каждому сезону, кроме лета.

Рассчитаем КПД теплообменника, которое было бы идеально для нашего города.

Формула для расчёта КПД рекуператора:

$$\eta = \frac{t_p - t_n}{t_v - t_n}$$

где:

t_p — температура приточного воздуха после рекуперации, °С;

t_n — температура наружного уличного воздуха, °С;

t_v — температура вытяжного из помещения воздуха, °С.

Рассчитаем КПД по наиболее энергозатратным сезонам: весна, осень и зима.

Средняя температура в Красноярске осенью: $\frac{8,9+2-7,2}{3} \approx 1,23^\circ\text{C}$

Средняя температура в Красноярске зимой: $\frac{-13,4-15,5-12,8}{3} \approx -13,9^\circ\text{C}$

Средняя температура в Красноярске весной: $\frac{-5,7+2+10,4}{3} \approx 2,23^\circ\text{C}$

Вычислим температуру приточного воздуха после рекуперации. Будем считать, что производительность рекуперативного теплообменника — 1000 кубометров/час; производительность вытяжной вентсистемы — 1150 кубометров/час (обычно вытяжка на 10-15% мощнее притока) при неизвестном КПД:

$$t_v - \left(\frac{t_v \times 1150}{1150 + 1000} + \frac{t_n \times 1000}{1150 + 1000} \right) \times \eta$$

Вычислим температуру приточного воздуха после рекуперации осенью:

$$24 - \left(\frac{24 \times 1150}{1150 + 1000} + \frac{1,23 \times 1000}{1150 + 1000} \right) \times \eta = 24 - 13,41 \times \eta$$

Вычислим температуру приточного воздуха после рекуперации зимой:

$$24 - \left(\frac{24 \times 1150}{1150 + 1000} + \frac{(-13,9) \times 1000}{1150 + 1000} \right) \times \eta = 24 - 6,37 \times \eta$$

Вычислим температуру приточного воздуха после рекуперации весной:

$$24 - \left(\frac{24 \times 1150}{1150 + 1000} + \frac{2,23 \times 1000}{1150 + 1000} \right) \times \eta = 24 - 13,87 \times \eta$$

Температура вытяжного воздуха из помещения +24 °C

$$\eta = \frac{t_p - t_n}{t_v - t_n}$$

Для осени: $\eta = \frac{24 - 13,41 \times \eta - 1,23}{24 - 1,23}$, $\eta = \frac{22,77 - 13,41 \times \eta}{22,77}$, $\eta = 0,63$ (в долях),
 $\eta = 63\%$.

Для зимы: $\eta = \frac{24 - 6,37 \times \eta - (-13,9)}{24 - (-13,9)}$, $\eta = \frac{37,9 - 6,37 \times \eta}{37,9}$, $\eta = 0,86$ (в долях),
 $\eta = 86\%$.

Для весны: $\eta = \frac{24 - 13,87 \times \eta - 2,23}{24 - 2,23}$, $\eta = \frac{21,77 - 13,87 \times \eta}{21,77}$, $\eta = 0,61$ (в долях)
 $\eta = 61\%$.

КПД в течение лета не считаем, так как зачастую летом достаточно тепло, и потребуется значение температуры приточного после рекуперации воздуха намного меньшее, чем в другие сезоны, поэтому нужен маленький КПД рекуперативного теплообменника в течение летнего сезона, что снизит результаты среднего КПД рекуперативного теплообменника, нужного для установки в жилых домах города Красноярска.

Средний КПД:

$$\eta = \frac{63\% + 86\% + 61\%}{3} = 70$$

Вывод:

На основе полученного среднего КПД целесообразно использовать пластинчатый рекуперативный теплообменник в Красноярске.

В Красноярске рядом с Енисеем зимой влажно и холодно, поэтому использование рекуперативных теплообменников пластинчатого типа имеет преимущества:

Контроль влажности помогает поддерживать оптимальный уровень влажности в помещении, предотвращая излишнюю сырость и плесень.

Улучшение качества воздуха обеспечивает подачу свежего воздуха без значительных потерь тепла, улучшая климат в помещении.

Эти факторы очень важны для здоровья населения, так как качественный воздухообмен полезен для человека.

В условиях климата, в котором большую часть года длится отопительный сезон, важно экономить электроэнергию, чтобы сберегать природные ресурсы.

Список литературы

1. Интернет-энциклопедия по обустройству сетей инженерно-технологического обеспечения: «Рекуперация тепла в системах вентиляции: принцип работы и варианты исполнения», Алексей Дедюлин, 2019.

2. Проект Озеленение жилого микрорайона "Дубрава" г. Красноярска.

3. Методические указания к практическим занятиям «Расчет рекуперативного теплообменника» по дисциплине «Современные системы климатизации зданий», Галкина Н. И.

4. Рекуперация тепла, Ю. С. Мороз, А. В. Никулин, Н. А. Третьякова, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

5. Естественнаучный журнал «Точная наука».

УДК 519.6

МОДЕЛЬ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХАНИЗМОВ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

А. В. Мороз¹

Научный руководитель Я. В. Гребнев¹

Кандидат технических наук

¹*Сибирский федеральный университет*

Аннотация. В представленной статье рассматривается концепция построения эффективной системы межведомственного взаимодействия в области пожарной безопасности, основанной на принципах государственно-

частного партнерства (ГЧП). Проведен детальный анализ ключевых направлений сотрудничества между государственными структурами и коммерческими организациями, включая модернизацию инфраструктуры, совершенствование профилактических мер, оптимизацию оперативного реагирования и привлечение альтернативных источников финансирования. Особое внимание уделяется систематизации преимуществ и потенциальных рисков данной модели взаимодействия, а также разработке методики управления пожарными рисками на региональном уровне.

Ключевые слова: пожарная безопасность, государственно-частное партнерство, межведомственная координация, управление рисками, инфраструктурные проекты, профилактика пожаров.

Введение. Обеспечение пожарной безопасности представляет собой сложный многоаспектный процесс, успешная реализация которого требует скоординированных действий со стороны государственных органов, коммерческих структур и институтов гражданского общества. В условиях хронического недофинансирования государственных программ, связанных с противопожарной защитой, механизмы государственно-частного партнерства приобретают особую значимость, поскольку позволяют объединить финансовые ресурсы, управленческий опыт и технологические разработки различных субъектов экономической деятельности [1-2].

В общем виде модель межведомственного информационного обмена данными для обеспечения защиты населения и территорий и обеспечения пожарной безопасности в формате цифровой экосистемы с включением механизмов государственно-частного партнерства можно представить следующим образом (рисунок 1).

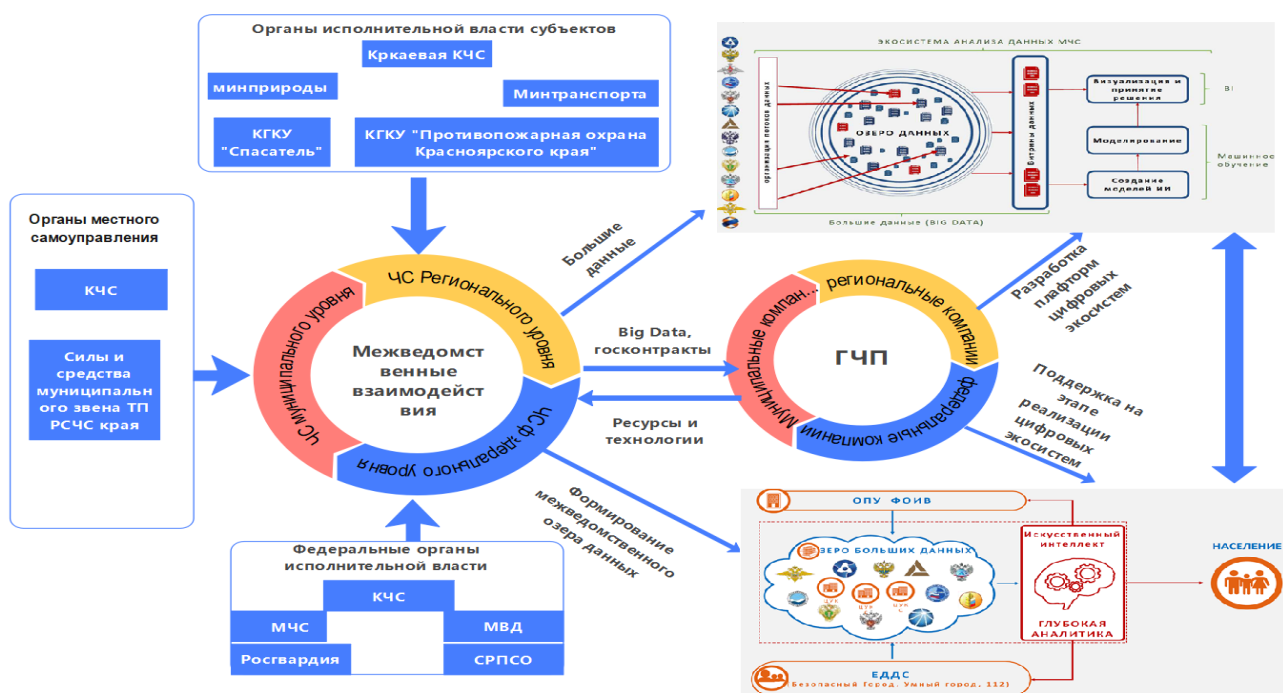


Рисунок 1. Модель межведомственного информационного обмена данными для обеспечения защиты населения и территорий

Основные направления реализации ГЧП в сфере пожарной безопасности:

1. Модернизация материально-технической базы. Одним из наиболее актуальных вопросов, требующих незамедлительного решения, является проблема устаревания инфраструктуры противопожарной защиты. Применение механизмов ГЧП позволяет привлекать частные инвестиции для закупки современного оборудования, включая специализированную автотехнику, системы автоматического пожаротушения и тренажерные комплексы для подготовки личного состава.

2. Совершенствование профилактических мероприятий. Разработка и внедрение инновационных технологий мониторинга, таких как системы дистанционного зондирования и программные комплексы прогнозирования пожароопасной обстановки, способны существенно повысить эффективность превентивных мер. Параллельно с техническими решениями необходимо развивать программы обучения населения, что требует создания методической базы и проведения широкомасштабных информационных кампаний.

3. Оптимизация системы оперативного реагирования. Формирование единого информационного пространства, объединяющего диспетчерские службы, мобильные подразделения и системы раннего оповещения населения, способно сократить временные затраты на ликвидацию возгораний. Не менее важным направлением является совершенствование логистических схем доставки сил и средств к месту происшествия.

4. Диверсификация источников финансирования. Привлечение внебюджетных средств через механизмы концессионных соглашений, корпоративного спонсорства и совместного финансирования научно-исследовательских разработок создает устойчивую экономическую основу для реализации долгосрочных проектов в области пожарной безопасности.

Институциональные формы взаимодействия.

1. Концессионные соглашения как инструмент инфраструктурного развития. Данная форма сотрудничества предполагает передачу частному партнеру полномочий по строительству и эксплуатации объектов противопожарной инфраструктуры с последующей их передачей в государственную собственность после истечения установленного срока.

2. Аутсорсинг сервисных функций. Заключение долгосрочных контрактов на техническое обслуживание противопожарного оборудования позволяет государственным структурам сосредоточиться на выполнении стратегических задач, делегируя рутинные операции специализированным коммерческим организациям.

3. Совместные предприятия инновационного типа. Создание объединенных структур с участием государственного и частного капитала открывает возможности для реализации масштабных проектов, таких как разработка интеллектуальных систем мониторинга или создание учебно-тренировочных комплексов нового поколения.

Система сбалансированных интересов.

1. Взаимовыгодное сотрудничество. Синергетический эффект от объединения административных ресурсов государства и предпринимательской инициативы частного сектора проявляется в ускорении внедрения инноваций, повышении качества услуг и рациональном использовании бюджетных средств.

2. Минимизация потенциальных рисков. Для предотвращения возможных конфликтов интересов необходимо разработать четкие регламенты взаимодействия, включающие механизмы независимого аудита, систему санкций за невыполнение обязательств и прозрачные процедуры распределения финансовых потоков.

Предложенная модель межведомственного взаимодействия на основе принципов ГЧП представляет собой сбалансированную систему управления пожарными рисками, сочетающую экономическую эффективность с социальной направленностью. Дальнейшее развитие данного направления требует совершенствования нормативно-правовой базы, внедрения стандартов качества услуг и создания системы мониторинга эффективности реализуемых проектов.

Перспективы исследования связаны с разработкой методики оценки социально-экономической эффективности различных форм ГЧП в сфере пожарной безопасности и адаптацией зарубежного опыта к российским условиям.

Список литературы

1. Петрова Н. А. Устойчивое развитие и национальная безопасность: интеграция экологических и экономических аспектов. – Москва: Экономика, 2019. – 256 с.
2. Системный подход к управлению пожарной безопасностью: учебное пособие / под ред. И. И. Трунова. – Москва: Академия МЧС, 2020. – 312 с.

УДК 378.147.227

ПЛАТФОРМЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ

В. В. Новиков¹

Научный руководитель А. Э. Петрунина¹

Старший преподаватель

¹*Сибирский федеральный университет*

В процессе обучения студент сталкивается с необходимостью работать с большими объемами информации, и по мере её увеличения становится всё сложнее систематизировать данные и выявлять взаимосвязи между изучаемыми элементами. Недостаток умений быстро и качественно анализировать изучаемый материал может привести к снижению успеваемости и отсутствию глубокого понимания темы. Более того, даже после того, как материал усвоен, для его эффективного запоминания и закрепления требуется многократное повторение на протяжении длительного времени [1].

В этих условиях цифровое обучение становится ключевым фактором повышения качества образования, доступности учебных материалов и гибкости образовательных форматов. Цифровые форматы становятся одним из основных способов изучить актуальную информацию по теме, а не просто дополнительными.

Изучаемая информация может сложнее восприниматься студентами с разным уровнем подготовки и индивидуальными особенностями восприятия, что, в свою очередь, может приводить к снижению их мотивации и успеваемости [2]. Тем не менее, существуют цифровые инструменты, которые способны сделать образовательный процесс более удобным, гибким и эффективным.

В то же время большинство существующих инструментов помогающих систематизировать данные представляют консервативные методы организации и визуализации данных в виде иерархических списков, а также не адаптированы

под образовательные программы университета либо покинули российский рынок [3].

Объектом исследования является цифровое обучение в контексте высшего образования, а предметом – текущее состояние цифрового обучения в Сибирском федеральном университете (далее – СФУ). Цель работы – анализ состояния цифрового обучения в СФУ и разработка концепции интегрированного решения для повышения успеваемости студентов.

Анализ текущего состояния цифрового обучения в СФУ выявил ряд возможных проблем, которые необходимо учитывать для повышения эффективности образовательного процесса.

К таким проблемам может относиться отсутствие глубокого понимания взаимосвязи между изучаемыми дисциплинами и темами внутри одной учебной дисциплины, что может приводить к фрагментарному усвоению материала и затруднять формирование целостной картины знаний. Студенты не всегда осознают, как конкретные темы связаны с другими дисциплинами или с их будущей профессиональной деятельностью, что снижает мотивацию к обучению.

Стремительное развитие цифрового обучения в университете значительно расширило доступ к образовательным материалам, предоставив студентам возможность изучать информацию в удобном формате. Однако наряду с этим, остаётся актуальной проблема дефицита цифровых инструментов, которые позволяли бы учащимся активно взаимодействовать с этими материалами. В текущей системе обучения акцент зачастую делается на пассивном потреблении контента, что ограничивает возможности студентов для более глубокого освоения знаний.

Для полноценного и эффективного обучения студентам необходимы инструменты, обеспечивающие возможность персонализации учебного опыта. Такие инструменты позволили бы дополнять материалы собственными комментариями, создавать личные заметки, структурировать информацию в соответствии с индивидуальными потребностями и выстраивать удобную навигацию в обширном массиве учебных данных. Такой подход может способствовать повышению вовлеченности студентов, более эффективному усвоению материала и развитию критического мышления.

Для углубленного понимания взаимосвязей между изучаемыми дисциплинами и темами внутри каждой дисциплины предлагается внедрение платформенного решения, обеспечивающих визуализацию этих связей через интерактивные карты знаний, представленные в виде структуры графов. Представлен пример построения подобной структуры взаимосвязанных графов (рис.), выполненный в программе Obsidian [4]. Так, подобные решения уже используются преподавателями в академической среде зарубежных университетов для ведения курсов и написания научных работ [5].

Итак, к основным функциям предлагаемого платформенного решения можно отнести: создание графов, построение взаимосвязей между ними, редактирование данных внутри графа, добавление пометок или изображений непосредственно на карту, дополнительные настройки отображения группировок и вида карты и данных. Сам граф представляет собой ячейку хранения данных, при нажатии на который открывается соответствующее контекстное меню с возможностью обзора и редактирования этих данных, например добавление комментариев к лекции.

В рамках образовательной программы предлагается разработать такие карты с визуализацией изучаемых направлений и тем, а также их взаимосвязью между собой и с фундаментальными предметами, на которые они опираются. Такие карты могут дополняться предоставлением контекстной информации, демонстрирующей применение полученных знаний в реальных ситуациях и профессиональной деятельности. Помимо наличия карт знаний, прикрепленных к курсу, пользователь также может создавать индивидуальные структуры как с нуля, так и на основе существующих шаблонов.

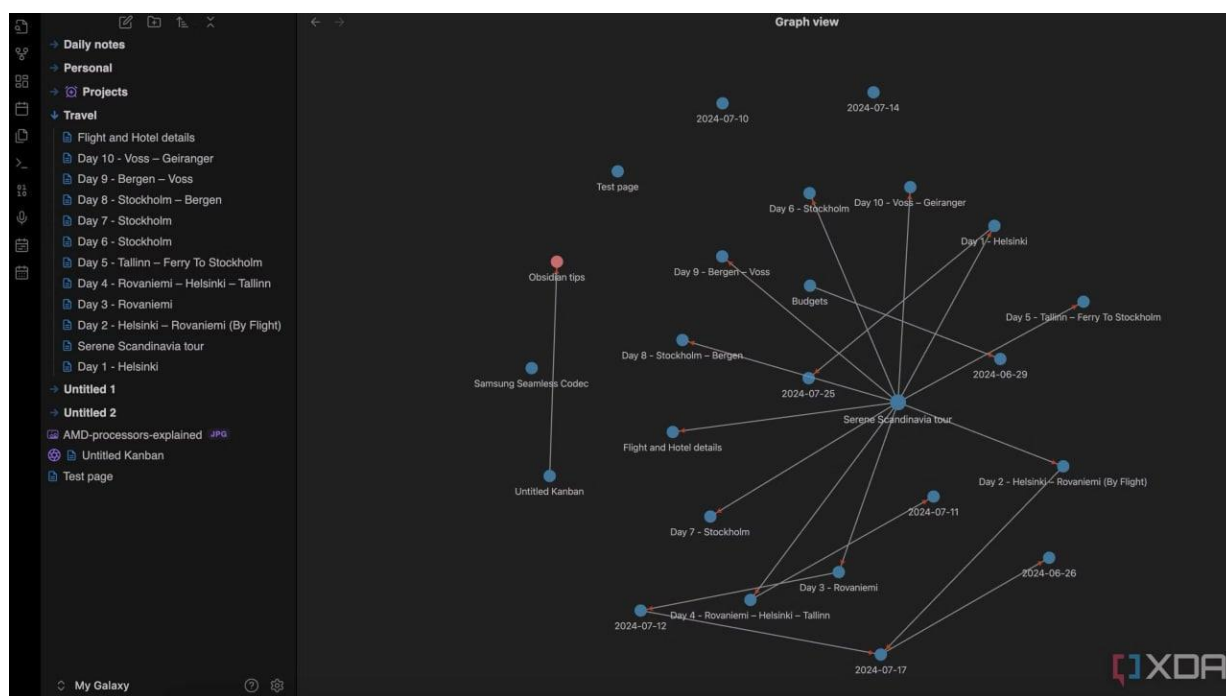


Рисунок. Пример структуры графов в программе Obsidian

Внедрение цифрового инструментария, поддерживающего активное взаимодействие с учебными материалами, станет важным шагом в модернизации образовательного процесса. Такой подход не только сделает обучение более персонализированным и эффективным, но и будет способствовать развитию аналитических навыков и критического мышления, подготавливая студентов к успешной профессиональной деятельности в условиях стремительно меняющегося мира.

Список литературы

1. Распределенная практика в задачах вербального воспроизведения: обзор и количественный синтез / Н. Дж. Сепеда, Х. Пашлер, Э. Вул [и др.] // Психологический бюллетень. 2006. № 3. С. 354–380.
2. Гнедых Д.С. Эффективность усвоения учебной информации студентами в электронном обучении // СПбГУ 2015 С. 167-174.
3. Сервис для бизнеса Notion уходит из России из-за санкций США и ЕС, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.ru/news/254786/> [дата обращения 17.04.2025].
4. How to visualize your notes in Obsidian with Graph view [Электронный ресурс]. URL: <https://www.xda-developers.com/how-to-visualize-your-notes-in-obsidian-with-graph-view/> [дата обращения 17.04.2025].
5. Zettelkasten for academia [Электронный ресурс]. URL: <https://boffosocko.com/tag/zettelkasten-for-academia/> [дата обращения 17.04.2025].

УДК 65.014.12

УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВКИ ЦЕННОСТИ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. Э. Петрунина¹

Научный руководитель А. К. Москалев¹

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В условиях экономической нестабильности обеспечение устойчивости организационных систем становится критически важным, особенно для высокотехнологичных отраслей (оборонная, авиационная, аддитивная промышленность). Хотя цепочки создания ценности предлагают перспективный подход к повышению устойчивости, их практическая реализация сталкивается с проблемами краткосрочности эффектов и снижения результативности [1-3].

Настоящее исследование ставит целью разработать модель управления устойчивостью, рассматривая процесс создания технологической ценности через призму миграции токенов (условных проектных единиц).

В основу предложенной модели заложена гипотеза о том, что устойчивость системы зависит от трех ключевых параметров: соответствия критериям качества; управляющего воздействия, зависящего от потенциала организации; организационной активности (результативность работы сотрудников). Особое

значение имеют временные ограничения и стохастический характер переходов между стадиями. Отсутствие унифицированных методик оценки эффективности таких процессов подчеркивает научную новизну исследования.

Объем работ, необходимый для перехода токена на следующую стадию, рассчитывается исходя из заданных требований и доступного потенциала. Затраты ресурсов, обеспечивающие преодоление межстадийного барьера, формируются как за счет внутренних возможностей системы, так и внешнего участия.

Важным аспектом модели является стохастический характер временного параметра: длительность этапа является случайной величиной, зависящей от состава исполнителей и задействованных активов.

Таким образом, предложенный подход позволяет формализовать процесс управления жизненным циклом технологических решений с учетом динамических изменений внутренних и внешних условий функционирования организационной системы.

Учитывая вышеизложенные рассуждения, была составлена модель расчета вероятности перехода токена из начальной стадии жизненного цикла в конечную к некоторому моменту времени (1):

$$p_n(t, W) = \int_0^t \dots \int_0^\infty \prod_{k=1}^n v_0 \exp\left(-\frac{W_k}{A}\right) e^{-v_k \Delta t_k} \rho(W_k) \delta(t - \sum_{k=1}^n \Delta t_k) dt_k dW_k \quad (1)$$

где $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$ – временные затраты на обеспечение токена необходимыми требованиями по качеству,

W_k – величина потенциала организационной системы на этапе с номером k ,

$\rho(W_k)$ – функция распределения величины потенциала организационной системы на этапе с номером k ,

A – активность организационной системы,

v_k – частота попыток токена совершить переход на следующую стадию жизненного цикла при установленных требованиях к качеству.

В общем случае количество стадий жизненного цикла может быть любым, в зависимости от специфики конкретного токена и технологической ценности, которую он несет для заказчика.

Точный расчет выражения (1) можно произвести только для частных случаев распределения требуемых усилий W_k организационной системы на каждом этапе.

На рисунке представлена визуализация зависимости плотности вероятности времени нахождения токена на стадии жизненного цикла в зависимости от параметров организационной системы. Был проведен расчет траектории с четырьмя стадиями жизненного цикла, с ограничением по времени.

Для каждой стадии было задано значение v_k , определяющее потенциал и активность. Результат моделирования представлен на рисунке 1.

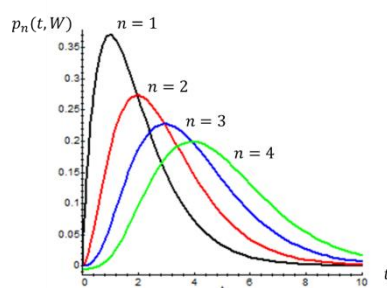


Рисунок 1. Демонстрация эволюции распределения длительности реализации проекта

На рисунке 1 можно заметить ожидаемое увеличение дисперсии времени реализации проекта с увеличением числа стадий жизненного цикла.

Анализ влияния потенциала и активности системы (рис. 2) показывает, что при высоком потенциале на второй стадии длительность прохождения барьера значительно сокращается, а общие затраты времени определяются лишь первой стадией.

Таким образом, модель позволяет оптимизировать траекторию реализации проектов через управление потенциалом и активностью системы, зависящими от состава участников.

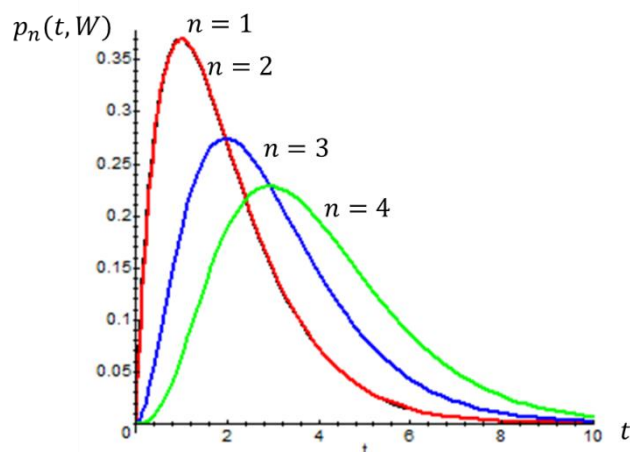


Рисунок 2. Изменение распределения длительности реализации проекта при изменении потенциала

Предложенная модель используется нами для определения необходимого управляющего воздействия на токен, чтобы достигнуть требуемых параметров качества. Кроме того, предложенный подход позволяет организационной системе идентифицировать объем работы, который она в состоянии обеспечить за счет собственных ресурсов, а также оценить целесообразность расширения

контура организационной системы за счет включения в нее других участников, которым будет передана часть работ.

Дальнейшая апробация модели будет проведена на примере предприятия из аддитивной отрасли.

Список литературы

1. Мусатова М. М. Новые индустриальные модели и системы управления в компаниях ГК «Ростех» // Мир новой экономики. 2021. №15(4). С. 100-112.

2. Никитенко С.М., Гоосен Е.В. Апгрейд бизнес-моделей добывающих компаний в условиях Индустрии 4.0. и энергоперехода // Экономика и управление инновациями. 2021. №4. С. 27-38.

3. Дворецкая В. В. Индустриальная модель развития организаций оборонного комплекса // Учет. Анализ. Аудит = Accounting. Analysis. Auditing. 2018. №5(4). С. 6-13

УДК 339.97:338.2

МЕХАНИЗМ ПРИНЯТИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ОРГАНАМИ РСЧС В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПЛАТФОРМЕННОГО МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ (НА ПРИМЕРЕ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗОПАСНОГО ПРОПУСКА ПАВОДКОВЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ)

А. А. Сержинмаа¹

¹Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Аннотация: В статье рассмотрен механизм принятия и реализации решений органами Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в условиях цифрового платформенного межведомственного взаимодействия. На примере организации безопасного пропуска паводковых вод на территории Красноярского края показаны возможности использования современных технологий, таких как математическое моделирование и геопорталы, для повышения эффективности прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций природного характера.

Представлены результаты моделирования зон затопления с использованием программного комплекса MIKE FLOOD, которые позволяют определить риски подтопления территорий при различных уровнях обеспеченности паводков (1%, 3%, 5%, 10%, 25%, 50%). Описаны подходы к интеграции данных гидрометеорологического мониторинга, визуализации

информации в виде интерактивных карт и обеспечению оперативного взаимодействия между ведомствами.

Результаты работы демонстрируют, что предложенный механизм позволяет не только прогнозировать развитие паводковых ситуаций, но и разрабатывать превентивные мероприятия, направленные на снижение ущерба и повышение уровня безопасности населения. Внедрение таких подходов в практику РСЧС способствует повышению эффективности системы предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: РСЧС, цифровое взаимодействие, математическое моделирование, паводки, зоны затопления, MIKE FLOOD, геопорталы, Красноярский край, межведомственное взаимодействие.

Современные вызовы, связанные с увеличением частоты и масштабов чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера, требуют внедрения инновационных подходов в систему предупреждения и ликвидации последствий ЧС [1]. Одним из ключевых направлений развития государственного регулирования в этой области является создание цифровых платформ для межведомственного взаимодействия, которые позволяют интегрировать данные из различных источников, моделировать сценарии развития ЧС и оперативно принимать решения [2]. В данной статье рассматривается механизм принятия и реализации решений органами РСЧС на примере организации безопасного пропуска паводковых вод на территории Красноярского края.

Красноярский край, обладая обширной гидрографической сетью (более 20 000 рек и около 6000 озер), ежегодно сталкивается с проблемой паводков [3], которые наносят значительный ущерб экономике и жизнедеятельности населения. Особую опасность представляют заторы льда, приводящие к наводнениям. В условиях изменения климата и увеличения частоты экстремальных погодных явлений актуальность разработки эффективных механизмов прогнозирования и предотвращения паводковых ЧС возрастает.

Для повышения эффективности работы РСЧС в условиях цифровизации предлагается создание единой платформы, интегрирующей данные гидрометеорологического мониторинга, результаты математического моделирования и информацию от различных ведомств. Такая платформа должна обеспечивать:

Интеграцию данных: сбор информации с метеостанций, гидропостов, ГЭС и других источников в режиме реального времени.

Моделирование сценариев: использование программных комплексов, таких как MIKE FLOOD, для прогнозирования зон затопления и оценки рисков.

Визуализацию данных: представление информации в виде интерактивных карт, графиков и аналитических отчетов для лиц, принимающих решения.

Межведомственное взаимодействие: обеспечение доступа к данным и результатам моделирования для всех участников процесса, включая МЧС, гидрометеорологические службы и местные администрации.

Для прогнозирования паводков и определения зон затопления используется программный комплекс MIKE FLOOD [4], который позволяет моделировать движение поверхностных вод с учетом множества факторов, таких как рельеф местности, характеристики русла рек и климатические условия. На основе данных гидрологической сети Красноярского края были проведены расчеты, позволяющие определить зоны затопления при различных уровнях обеспеченности (1%, 3%, 5%, 10%, 25%, 50%).

Веб-реализация результатов обработки данных позволяет представить информацию в виде интерактивных карт, содержащих динамические ссылки на кросс-таблицы, графическую аналитику и рекомендации. Это обеспечивает гибкость в использовании данных для разных групп пользователей (руководители, эксперты, операторы).

Интеграция технологий геопорталов с мобильными приложениями позволяет получать прогнозы и оперативные предупреждения в зависимости от местоположения пользователя. Это особенно важно для населения, проживающего в зонах риска.

На примере населенного пункта Ярцево, расположенного на реке Енисей, были проведены расчеты и построена двумерная цифровая модель рельефа. Моделирование позволило определить зоны затопления при различных уровнях обеспеченности паводков. Так, при 1% обеспеченности площадь затопления составляет 13,775 км², а при 50% обеспеченности — 5,462 км².

Результаты моделирования показали, что наиболее уязвимыми являются территории с глубиной залегания грунтовых вод менее 0,3 м (сильное подтопление), от 0,3 до 2,0 м (умеренное подтопление) и от 2,0 до 3,0 м (слабое подтопление). На основе этих данных были разработаны рекомендации по проведению берегоукрепительных работ и других превентивных мероприятий.

Предложенный механизм принятия и реализации решений органами РСЧС в условиях цифрового платформенного взаимодействия позволяет повысить эффективность прогнозирования и предотвращения паводковых ЧС. Использование современных технологий, таких как математическое моделирование и геопорталы, обеспечивает оперативность и точность принимаемых решений. Внедрение таких подходов в практику РСЧС будет способствовать снижению ущерба от наводнений и повышению уровня безопасности населения.

Список литературы

1. Кайгородцев Е. А. Цифровизация и развитие системы управления по защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и

техногенного характера//Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности. Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, 30 ноября 2020 года, г. Железногорск – Изд-во: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. - 548 с.

2. Ничепорчук В. В. Информационное обеспечение управления природно-техногенной безопасностью // Сибирский пожарно-спасательный вестник, 2016. – №1. – С.49-54.

3. Лепихин А. М., Москвичев В. В., Ничепорчук В. В., Тридворнов А. В. Оценка и районирование риска чрезвычайных ситуаций для территории Красноярского края // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. –№5. – 2007. – С. 124-133.

4. Mike Flood [Электронный ресурс]: <https://echyden.ru/programmy/rechnye-sistemy4/mike-flood/>

УДК 536.2.022

СОХРАНЕНИЕ ЗАРЯДА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Т. А. Усова¹

Научный руководитель Е. В. Ильвутикова¹

Педагог дополнительного образования

¹*МАОУ СШ №150*

Многие из нас замечали, что с приходом низких температур мы чаще заряжаем свои телефоны. Батарея изнашивается гораздо быстрее. Нам пришла мысль создать чехол, который уменьшит скорость разряда батареи. Для этого было принято решение изучить проблему и тщательно подобрать материалы, чтобы сделать термозащитный чехол с наилучшими свойствами для удержания тепла.

Зачастую в гаджеты устанавливают литий – ионные аккумуляторы. Они отличаются простотой конструкции и низким уровнем саморазряда. Внутри батареи содержится электролит на водной основе, который при понижении температуры до критических значений начинает кристаллизоваться, что приводит к его замерзанию, а мобильное устройство может неожиданно отключаться. Емкость аккумулятора может сокращаться до значительных уровней, что негативно сказывается на его функциональности и сроке службы [1].

Производители смартфонов не рекомендуют использовать телефон при температуре ниже нуля, но в современном мире это невозможно, ведь каждый не хочет пропустить важный звонок. Если телефон держать под одеждой

– к примеру, во внутреннем кармане – можно снизить потери заряда, но такой подход не для всех, если нужно постоянно быть на связи, придется постоянно расстегивать одежду, что создает некоторые неудобства.

Чехлы на смартфоны из силикона, пластика, кожи недорогие, но не сохраняют тепло, значит, аккумулятор смартфона остается незащищенным. У них высокий коэффициент теплопроводности.

Теплопроводность – это способность материала проводить тепло. Теплопроводность зависит от плотности материала и размера его частиц. Внутренняя теплопроводность актуальна зимой: чем ниже коэффициент теплопроводности материала, тем лучше он будет сохранять тепло [2].

С помощью интернета мы нашли термочехлы. Они представлены в продаже на зарубежных маркетплейсах, но их цена завышена. В России подобные чехлы найти практически невозможно, оформить заказ с США на данный момент очень проблематично [3].

Для создания термочехла нужны ткани, которые обладают низкой теплопроводностью. Вспененный полиэтилен имеет самую низкую теплопроводность, поэтому лучше всего подходит для изготовления термочехла, так как обладает нужной характеристикой и его легко найти. Дополнительные материалы: дюспо – прочный синтетический материал с низкой гигроскопичностью и износостойкостью, верхний слой чехла; флис, поддерживающий оптимальную температуру, защищая от холода, а также благодаря его мягкой поверхности гладкий корпус телефона легко скользит и его несложно достать [4].

Изначально нами было принято решение создать термочехол с прозрачной вставкой для экрана, но телефон будет разряжаться на морозе, так как такие материалы перенимают температуру окружающей среды, будет охлаждать телефон изнутри. Наша задача этого избежать, поэтому от этой идеи пришлось отказаться.

Мы раскроили ткань, обрезали излишки и пришили язычок, который будет помогать легче доставать телефон из чехла, сметали ткани между собой яркими нитками и прошили на швейной машине. Чтобы чехол смотрелся аккуратно, мы обметали швы снаружи.

После изготовления чехла необходимо было найти подтверждение тому, что это изделие действительно соответствует заявленным характеристикам. Для этого было решено взять две одинаковых модели телефона, приобретенных в одно время и проверить, батарея какого из них будет большее время сохранять заряд. Оба телефонных аппарата были: полностью заряжены, эксплуатировались при средней уличной температуре в минус 17 градусов Цельсия, в течение дня на них поступало примерно одинаковое количество звонков и сообщений. Разница была лишь в том, что один телефон находился в стандартном силиконовом чехле, который шел в комплекте при покупке, а второй эксплуатировался в сшитом

экспериментальном термочехле. Для точности, телефоны поменяли местами и в таких же условиях провели второй эксперимент. Изменения степени заряда батареи телефона отражено на графиках (рисунок 1, 2).

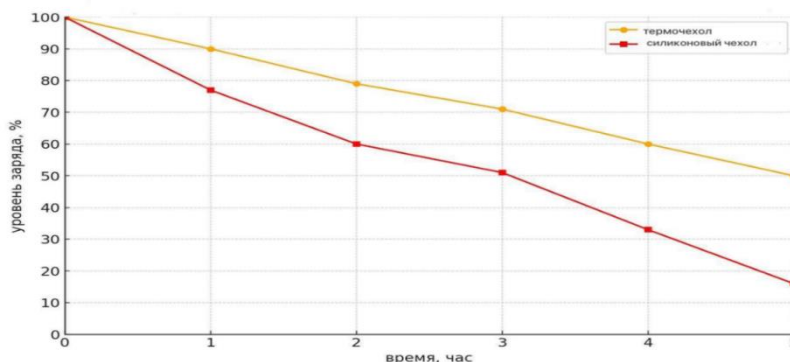


Рисунок 1. График изменения заряда телефонов в эксперимент 1

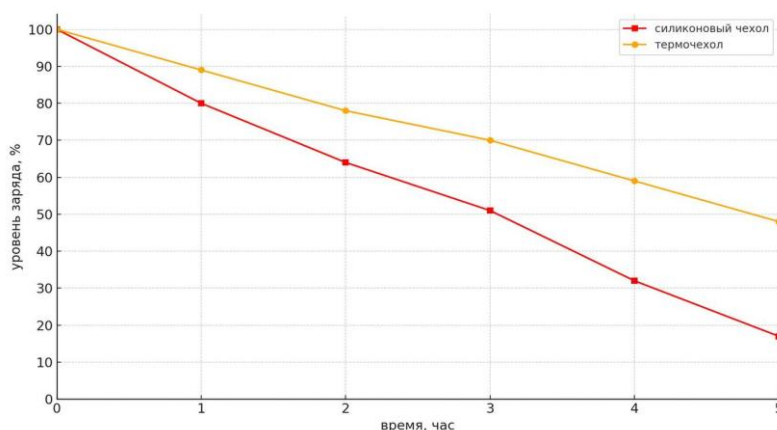


Рисунок 2. График изменения заряда телефонов в эксперимент 2

Результаты двух экспериментов. В первом эксперименте телефон в термочехле за 5 часов потерял 40% заряда, а в силиконовом чехле 83%. Во втором эксперименте смартфон потерял 52% заряда, находясь в термочехле, в то время как силиконовый чехол сохранил лишь 17%. Можно сделать вывод, что термочехол действительно помогает телефону сохранять тепло и медленнее разряжаться при низких температурах.

В ходе исследований литий-ионных аккумуляторов были изучены методы сохранения заряда батареи при низких температурах. Был разработан и изготовлен собственный термочехол, уделено внимание выбору материалов с высокой теплопроводностью для эффективного удержания тепла. Эксперимент с использованием самодельного термочехла продемонстрировал положительные результаты, подтверждая возможность создания подобного аксессуара для телефона в домашних условиях. Исследование доказало, что знания о

физических законах имеют практическое применение в повседневной жизни и способны улучшить качество жизни человека, обеспечивая комфортные условия.

Список литературы

1. Литий-ионный аккумулятор // Википедия : свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Литий-ионный_аккумулятор
2. Михеев М. А. ИМ Михеева Основы теплопередачи.-Изд. 2-е, стерео тип //М.: Энергия. – 1977.
3. Эти зимние чехлы спасут батарею вашего телефона // Yahoo Style : сайт. – URL: <https://web.archive.org/web/20241111083412/https://ca.style.yahoo.com/these-winterfriendly-cases-will-save-your-phones-battery-204629357.html>
4. Дегтярев, Н. М. Цена качества : справочное пособие потребителя / Н. М. Дегтярев, А. А. Батищев, М. И. Чубирко. – 2007. – 48 с. – Раздел «Типы тканей».

Медицинская биология

УДК 577.12*616-003.826

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ И АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА В ПЛАЗМЕ БОЛЬНЫХ НАЖБП

В. Д. Абрамов¹

Научный руководитель О. В. Смирнова^{1,2}

Доктор медицинских наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

По оценке ВОЗ, неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) является наиболее распространенным хроническим заболеванием печени в мире. Глобальная распространенность НАЖБП среди взрослых составляет 32%. Прогнозируется, что распространенность НАЖБП значительно возрастет во многих регионах мира к 2030 [1]. Неалкогольная жировая болезнь печени чаще развивается у лиц с метаболическим синдромом.

НАЖБП характеризуется состоянием, при котором не менее 5% гепатоцитов содержат избыточное количество жира, не связанное с употреблением алкоголя. Основными клиническими формами НАЖБП являются: простая жировая инфильтрация печени (стеатоз) и более серьезная форма – неалкогольный стеатогепатит (НАСГ), сопровождающийся воспалением, повреждением и гибелью клеток печени. НАЖБП может осложняться печеночной недостаточностью, а также прогрессировать до цирроза и гепатоцеллюлярной карциномы [2].

По данным современных исследований возможный механизм патогенеза НАЖБП связан с воспалением, обусловленным оксидативным стрессом, усилением перекисного окисления липидов мембран, активацией провоспалительных цитокинов, образованием активных форм кислорода и азота в митохондриях клеток [3]. Накопление продуктов перекисного окисления липидов способствует прогрессированию заболевания. Малоновый диальдегид (МДА) – конечный продукт деградации полиненасыщенных жирных кислот активными формами кислорода в ходе реакций перекисного окисления липидов, является одним из ключевых маркеров окислительного стресса. МДА может стимулировать звездчатые клетки печени. Ответом на стимуляцию является избыточная секреция коллагена и накопление коллагеновых волокон, что приводит к фиброзу печени [4].

Цель данной работы: оценка показателей систем перекисного окисления липидов (МДА) и антиоксидантной защиты (СОД, каталаза) в плазме крови

у пациентов с НАЖБП в зависимости от клинической формы заболевания (стеатоза и стеатогепатита).

В исследование были включены 54 пациента с НАЖБП, которые согласно клиническим рекомендациям по ведению больных с НАЖБП были разделены на 2 группы: 28 пациентов со стеатозом ($46,4 \pm 3,9$ лет) и 26 больных стеатогепатитом ($49,3 \pm 3,5$ лет). Контрольную группу составили 30 условно здоровых доноров крови ($46,7 \pm 3,5$ лет) сопоставимых по полу и возрасту с исследуемыми группами, проходивших плановое обследование в клинике НИИ МПС. Все больные подписали форму информированного согласия на участие в исследовании.

Оценка показателей осуществлялась спектрофотометрическим методом на анализаторе Genesys 10 Bio UV/Vis Thermo Scientific.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения IBM® SPSS® Statistics 26.0 (IBM, США, 2018).

Полученные данные были представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (Q25; Q75). Для оценки различий между группами использовался критерий Манна-Уитни, с уровнем значимости 0,95. При проверке статистических гипотез критическое значение статистической значимости принимали $p < 0,05$ [5]. Показатели систем ПОЛ и АОЗ в плазме представлены в таблице ниже.

Таблица

Содержание малонового диальдегида и активность супероксиддисмутазы и каталазы в плазме здоровых людей, больных стеатозом и стеатогепатитом

Показатели	Контроль, N=30		Стеатоз, N=28		Стеатогепатит, N=26	
	Me	C ₂₅ -C ₇₅	Me	C ₂₅ -C ₇₅	Me	C ₂₅ -C ₇₅
MDA, мкмоль/г белка	1,5	1,26-1,95	1,13	0,67-1,72	1,33	0,823-2,325
	$p_{1-2} < 0,05, p_{1-3} = 0,3896, p_{2-3} = 0,2487$					
SOD, ед/мин*мл	197,49	172,13-210,3	245,89	151,91-357,02	213,8	146,28-349,1
	$p_{1-2} < 0,2306, p_{1-3} < 0,2843, p_{2-3} = 0,9271$					
CAT, мкмоль/с*мг белка	0,3	0,25-0,338	0,26	0,016-0,096	0,058	0,035-0,105
	$p_{1-2} < 0,05, p_{1-3} < 0,05, p_{2-3} = 0,05557$					

Отмечалось снижение медианы содержания малонового диальдегида при стеатозе в 1,3 раз, при стеатогепатите в 1,22 раза относительно медианы

показателя в контрольной группе. Выявлено увеличение медианы активности супероксиддисмутазы (SOD) в 1,25 раза при стеатозе и в 1,1 раза при стеатогепатите относительно медианы показателя группы контроля. Также отмечалось уменьшение медианы содержания каталазы (CAT) при стеатозе в 1,2 раза, при стеатогепатите снижение медианы было в 1,5 раза меньше относительно медианы показателя в контрольной группе.

В норме коэффициент окислительного стресса (КОС) = 1. Данный показатель отражает отношение прооксидантов к антиоксидантам в плазме крови. У группы больных стеатозом и стеатогепатитом, КОС возрастал. Рост данного коэффициента характеризуется повышением продукции перекисного окисления липидов и недостаточностью системы антиоксидантной защиты. Наблюдались разнонаправленные изменения в системе перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты. Дисбаланс между двумя антиоксидантными ферментами характеризуется компенсаторной гиперэкспрессией супероксиддисмутазы в ответ на повышенную потребность в нейтрализации супероксида и ограниченных восстановительных возможностях каталазы.

Список литературы

1. Global incidence and prevalence of nonalcoholic fatty liver disease / Teng M. L., Ng C. H., Huang D. Q. [et al.] // *Clinical and molecular hepatology*. 2023. Suppl. 29., S32–S42.
2. Non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) pathogenesis and natural products for prevention and treatment / X. Guo, X. Yin, Z. Liu, J. Wang // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. 23(24). P.15489.
3. Mitochondrial dysfunction and signaling in chronic liver diseases / A. Mansouri, C. H. Gattolliat, T. Asselah // *Gastroenterology*. 2018 Vol. 155. P. 629–647.
4. Serum malondialdehyde is associated with non-alcoholic fatty liver and related liver damage differentially in men and women / S. Zelber-Sagi, D. Ivancovsky-Wajcman, N. Fliss-Isakov // *Antioxidants*. 2020. 9(7). P.578.
5. Особенности клеточного звена иммунитета у больных механической желтухой доброкачественного генеза в зависимости от уровня билирубина / О. В. Смирнова, Н. М. Титова, В. Т. Манчук // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2. С. 2174-2179.

УДК 616-092

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЙ АКТИВАЦИИ ГИПОТАЛАМО-ГИПОФИЗАРНО- НАДПОЧЕЧНИКОВОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ПАТОЛОГИИ

Е. А. Андриевская¹

Научный руководитель Ф. А. Гершкорон¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Гипоталамо-гипофизарная система – уникальная функциональная система, позволяющая контролировать активность периферических желез, что в целом обеспечивает поддержание гомеостаза. При патологии любого уровня в нейрогипофизарной системе развиваются сложные многокомпонентные синдромы, обусловленные недостатком или избытком конечного продукта – гормона периферических желез, приводящие к дисфункции практически всех систем организма [4]. Мы провели исследование состояния гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (ГГС) при такой патологии, как ишемическая болезнь сердца (ИБС). На текущий день ИБС является наиболее распространенной причиной смерти среди сердечно-сосудистых заболеваний. У больных ИБС с увеличением возраста наблюдается нарушение стабильности и структурной организации эритроцитарных мембран, характеризующееся повышением микровязкости липидного бислоя, текучести зон белок-липидных контактов (аннулярных липидов), увеличением уровня структурных перестроек мембранных белков и повышением полярности внутренних гидрофобных областей мембраны [1,3]. Под влиянием гормонов ГГС изменяется состояние мембраны эритроцитов, вязкость крови и ионный гомеостаз – данные показатели мы оцениваем в настоящем исследовании [2].

Цель нашей работы исследование функционального состояния и последствий активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы в условиях патологии. В качестве материала исследования были взяты 16 образцов плазмы, сыворотки, цельной крови и взвеси эритроцитов у пациентов с ишемической болезнью сердца. Кислотную резистентность эритроцитов определяли с помощью метода кислотных эритрограмм Терскова–Гительзона. Для определения концентрации кортизола и АКТГ проводили иммуноферментный анализ (ИФА) с использованием моноклональных антител. Содержания ионов кальция и магния определяли спектрофотометрически,

гематокрит – методом центрифугирования капилляра с цельной кровью. В ходе исследования нами были получены следующие результаты:

1. У людей с ишемической болезнью сердца установлено повышение уровня гормонов гипоталамо-гипофизарной системы.

2. Выявлено смещение кислотной эритрограммы вправо наряду с увеличением содержания пониженностойких эритроцитов.

3. Уровни гематокрита, кальция, магния находятся в пределах контрольных значений с тенденцией к повышению.

4. Возрастной состав эритроцитов крови, тенденция к повышению уровней кальция и магния, вероятно, являются результатом влияния высоких концентраций гормона кортизола при данной патологии.

У мужчин и женщин с ишемической болезнью сердца наблюдается повышенное содержание кортизола по сравнению с контрольной группой (у женщин ($p=0,03$) и мужчин ($p=0,04$)). Концентрация АКТГ у людей с ИБС составила 2,68 нмоль/л, что в два раза превышает контрольные значения (1,3 нмоль/л). Повышение уровня кортизола и АКТГ по сравнению с нормальными значениями может означать увеличение стрессового воздействия на организм и как следствие активацию гипоталамо-гипофизарной системы.

Анализ кислотной резистентности эритроцитов у людей больных ИБС показал:

У пациентов с ИБС наблюдается увеличение кислотной резистентности. Данная эритрограмма характеризуется понижением ко 2 минуте (норма 1,5-2,5) и быстрым повышением с пиком гемолиза на 4 минуте (норма 3,5) с последующим медленным снижением, приходя к нулевой линии на 8 минуте (норма 6,5-7,5). По полученным данным, можно судить о том, что люди с ИБС имеют отклонения от нормы, что свидетельствует о повышенной стойкости эритроцитов и преобладания молодых форм эритроцитов.

При анализе возрастного состава красных клеток крови у больных ИБС наблюдается увеличение популяции эритроцитов с пониженной стойкостью до 32%, (норма 20-25%) Количество эритроцитов средней стойкости отклоняется от нормальных показателей и составляет 46%. Эритроциты повышенной стойкости составляют 22%. По возрастным диаграммам у людей больных ИБС наблюдается преобладание среднестойких эритроцитов. Это связано с нехваткой кислорода, соответственно усиливается эритропоэз у больных ИБС.

Уровни кальция и магния повышены по сравнению с контрольной группой, но находятся в пределах нормальных значений. Полученные результаты свидетельствуют о том, что повышение кортизола носит кратковременный характер, в результате чего эффект активации ГГНС в виде нарушения ионного гомеостаза не проявляется.

Исходя из полученных нами данных, мы сделали следующие выводы:

1. Повышение содержания гормонов кортизола и кортикотропина в сыворотке и плазме крови соответственно свидетельствует об активации гипоталамо-гипофизарной системы и напряжении гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси при ишемической болезни сердца.

2. Смещение эритрограммы вправо, вероятно, отражает усиление эритропоэза на фоне гипоксии при данной патологии. При этом, повышенное содержание пониженностойких эритроцитов может являться следствием повреждающего влияния кортизола на эритроцитарную мембрану.

3. Тенденция к возрастанию уровня магния играет компенсаторную роль с целью подавления синтеза кортизола и снижения его секреции корой надпочечников. Повышение уровня магния, в свою очередь, может улучшать усвоение кальция организмом, что в конечном счете приводит к увеличению уровня последнего в крови.

Список литературы

1. Гормоны стресса и коронарный синдром X (экспериментальные исследования) / Л. Е. Панин, П. В. Мокрушников, Р. А. Князев [и др.] // Атеросклероз. 2022. Т. 8. №. 2. С. 5-13.

2. Микромеханические ответы эритроцитов человека на стимулирование мембранных рецепторов, ионных каналов и ферментов / А.В. Муравьев, И.А. Тихомирова, А.А. Ахапкина, С.В. Булаева, [и др.] // Российский Журнал Биомеханики. 2016. №1. С. 28-36.

3. Neuroadaptive biochemical mechanisms of remote ischemic conditioning / K. Baranova, N. Nalivaeva, E. Rybnikova [и др.] // International journal of molecular sciences. 2023. 24(23). P.17032.

4. Stress adaptation and the brainstem with focus on corticotropin-releasing hormone / T. Chaves, C.L. Fazekas, K. Horváth, P. Correia [и др.] // International journal of molecular sciences. 2021. 22(16). P. 9090.

5. Herman J. P. Corticolimbic stress regulatory circuits, hypothalamo–pituitary–adrenocortical adaptation, and resilience // Stress Resilience. Academic Press, 2020. P. 291-309.

УДК 57.576.54

ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ «ПОЛ – АОЗ» В СЫВОРОТКЕ КРОВИ БОЛЬНЫХ С НАЖБП В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КЛИНИЧЕСКИХ ФОРМ

Э. Р. Афанасьева¹

Научный руководитель О. В. Смирнова^{1,2}

Доктор медицинских наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) в настоящее время представляет собой самое распространенное хроническое неинфекционное заболевание печени [1]. Общая распространенность НАЖБП в популяциях значительно варьирует (10-46%), в среднем, она составляет 26,3% (85,3 млн случаев) [2]. В эпидемиологическом исследовании ЭССЕРФ-2 (2022) распространенность стеатоза печени составила 31,8%, в т.ч. у мужчин — 38,5% и женщин — 26,6% [3]. Стеатогепатит же поражает 10–20% всех людей [1].

НАЖБП – термин, охватывающий спектр заболевания печени у людей, не употребляющих чрезмерное количество алкоголя, включающий в себя жировую дистрофию печени (стеатоз), неалкогольный стеатогепатит, фиброз, а также фиброз с прогрессированием и исходом в цирроз печени [4].

Начальным звеном развития НАЖБП служит избыточное накопление в цитоплазме гепатоцитов липидов, что обусловлено: повышенным поступлением свободных жирных кислот (СЖК) в печень; снижением скорости бета-окисления СЖК в митохондриях; избыточным синтезом СЖК [5]. Результатом является развитие жировой дистрофии гепатоцитов. Возникновение воспалительных процессов, приводящее к переходу стеатоза в стеатогепатит, связано с усилением перекисного окисления липидов [6].

Цель работы: изучить содержание малонового диальдегида, супероксиддисмутазы и каталазы в сыворотке крови больных с НАЖБП при стеатозе и стеатогепатите относительно контрольной группы.

В ходе работы было обследовано 60 пациентов, из них у 30 был стеатоз печени, и у 30 – стеатогепатит. Все больные подписали форму информированного согласия на участие в исследовании. В контрольную группу были включены 30 пациентов, не имеющих признаков ожирения и метаболических нарушений, характерных для НАЖБП.

Оценка показателей осуществлялась спектрофотометрическим методом. В липидных системах в результате ПОЛ образуется малоновый диальдегид, взаимодействие которого с 2-тиобарбитуровой кислотой приводит к образованию хромогена с максимумом поглощения в красной области видимого спектра при длине волны 532 нм. Принцип метода определения активности каталазы заключается в образовании окрашенного в желтый цвет комплекса не разрушенной в ходе каталазной реакции перекиси водорода с молибдатом аммония. Измеряют экстинкцию проб на спектрофотометре при

длине волны 400 нм против дистиллированной воды. В свою очередь определение активности супероксиддисмутазы основано на ингибировании реакции аутоокисления адреналина в щелочной среде в присутствии СОД. Об интенсивности аутоокисления адреналина судили по динамическому нарастанию поглощения при длине волны 347 нм, обусловленного накоплением продукта окисления.

Статистическая обработка данных осуществлялась в программе STATISTICA 10. Полученные данные были представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха ($Q_{25}; Q_{75}$). Для оценки различий между группами использовался метод непараметрической статистики - критерий Манна-Уитни. При проверке статистических гипотез критерий значимости принимали $p < 0,05$ [7].

Малоновый диальдегид (МДА) — это вторичный продукт перекисного окисления липидов. Супероксиддисмутаза (СОД) — фермент, который обеспечивает антиоксидантную защиту клеток путём превращения супероксидного аниона в перекись водорода. Каталаза — фермент, который переводит перекись водорода из предыдущей реакции в воду и кислород [6].

Результаты проведенного исследования представлены в таблице.

Таблица

Показатели системы «ПОЛ-АОЗ» в плазме крови у пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени в зависимости от клинической формы относительно контрольной группы

Показатели	Контрольная группа	Пациенты со стеатозом	Пациенты со стеатогепатитом (n=30)
	Me($Q_{25}; Q_{75}$)	Me($Q_{25}; Q_{75}$)	Me($Q_{25}; Q_{75}$)
	1	2	3
MDA, мкмоль/г белка	1,2 (0,845-2,04)	1,1 (0,71-1,675)	0,97 (0,43-1,495)
	$p_{1-2}=0,4246, p_{1-3}=0,0656, p_{2-3}=0,2007$		
SOD, ед/мин * мл	415,945(256,025-854,665)	244,83 (105-348,23)	288 (180,53-397,395)
	$p_{1-2}<0,05, p_{1-3}<0,05, p_{2-3}<0,05$		
CAT, мкмоль/с * мг белка	0,0355 (0,0145- 0,056)	0,021 (0,0075-0,0395)	0,03 (0,007-0,0805)
	$p_{1-2}=0,1153, p_{1-3}=0,4461, p_{2-3}=0,3948$		

Обнаружено снижение медианы концентрации супероксиддисмутазы при стеатозе в 1,7 раз, при стеатогепатите в 1,5 раза относительно медианы показателя концентрации СОД контрольной группы. Таким образом, при стеатозе и стеатогепатите выявлены однонаправленные изменения в системе

антиоксидантной защиты в виде снижения активности фермента супероксиддисмутаза.

Список литературы

1. World Gastroenterology Organisation global guidelines: Nonalcoholic fatty liver disease and nonalcoholic steatohepatitis / D. R. LaBrecque, Z. Abbas, F. Anania // World Gastroenterology Organisation. 2014. Vol. 48. Iss. 6. P. 467–473.
2. Changes in the prevalence of the most common causes of chronic liver diseases in the United States from 1988 to 2008 / Z.M. Younossi, M. Stepanova, M. Afendy [et al.] // Clin Gastroenterology and Hepatology. 2011. Vol. 9. Iss. 6. P. 524-530.
3. Распространенность неалкогольной жировой болезни печени среди населения трудоспособного возраста: ассоциации с социально-демографическими показателями и поведенческими факторами риска (данные ЭССЕ-РФ-2) / С.Е. Евстифеева, С.А. Шальнова, В.А. Куценко [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022. № 2. С. 45-46.
4. The diagnosis and management of nonalcoholic fatty liver disease: practice guidance from the American association for the study of liver diseases / N. Chalasani, Z. Younossi, J.E. Lavine [et al.] // Hepatology. 2018. Vol. 67. Iss. 1. P. 328–357
5. Бацков С. С. Гастроэнтерология и гепатология: учебное пособие. Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России. СПб.: Политехника-сервис, 2014. С. 196-198.
6. Барановский А. Ю. Гастроэнтерология. СПб.: Питер, 2011. С. 193-195.
7. Особенности клеточного звена иммунитета у больных механической желтухой доброкачественного генеза в зависимости от уровня билирубина / О. В. Смирнова, Н. М. Титова, В. Т. Манчук [и др.] // Фундаментальные исследования. 2015. № 2. С. 2174-2179.

УДК 635.52; 577.164; 631.589.2

АНТИОКСИДАНТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГИДРОПОННОГО ЛИСТОВОГО САЛАТА

А. Н. Баязитов¹

Научный руководитель О. В. Сенкевич¹

кандидат биологических наук, старший преподаватель

Научный руководитель Н. А. Малиновская¹

доктор медицинских наук, профессор

Научный руководитель П. П. Долгих²

кандидат технических наук, доцент

*¹Красноярский государственный медицинский университет
имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого*

Несмотря на давно открытый факт, что источником питания растений являются исключительно неорганические ионы, до сих пор бытуют мифы о беспочвенном выращивании как искусственном химическом процессе, в котором растения не получают органическое питание. Однако, питаться органикой растения не могут по определению. В условиях Севера метод культивирования овощей в питательных растворах приобретает особую значимость, позволяя эффективно использовать ресурсы, минимизировать негативное воздействие внешних факторов и круглогодично получать продукцию высокого качества. Обеспечение продовольственной безопасности и развитие Арктики и Северных территорий являются одними из приоритетных задач, поставленных президентом России на ближайшие годы [1, 2].

Салат латук (*Lactuca sativa* L.) является одним из наиболее широко культивируемых листовых овощей в мировом сельском хозяйстве. Он демонстрирует высокую адаптивность к гидропонным методам выращивания, что делает его привлекательным для современных агротехнологий. Салат латук известен своими антиоксидантными свойствами благодаря высокому содержанию витаминов, что обуславливает его значимость в пищевой промышленности и диетологии. Листовой салат – важный источник витаминов С и Р. Биофлавоноиды (витамин Р) усиливают действие витамина С, уменьшают проницаемость и повышают прочность капилляров. Поэтому наиболее эффективны при недостаточности витамина С такие продукты, в которых он сочетается с биофлавоноидами. Существует точка зрения, что длительный, круглогодичный прием витаминных препаратов может привести к дисфункции метаболических процессов в организме. В результате при последующем прекращении приема добавок возможно развитие гиповитаминоза, несмотря на адекватное поступление витаминов с пищей [3].

Поэтому рекомендуется в зимне-весенний период обязательно включать в рацион свежую или квашеную капусту и зеленые растения.

Витамин Р, или же рутин, является одним из представителей флавоноидов. Он может проявлять антиоксидантные, противовоспалительные, сосудоукрепляющие, нейропротекторные и кардиопротекторные свойства. Его суточная потребность составляет 35-50 мг, и он крайне рекомендован людям, длительно принимающим салицилаты (например, аспирин). Основными источниками витамина Р являются чай, зелень, цитрусовые и ягоды. В чае витамины группы Р образуют катехины, которые, взаимодействуя с витамином С, повышают его антиоксидантную активность [4, 5].

Витамин С (или же аскорбат) – водорастворимый витамин, а потому не подвержен большому депонированию, в отличие от жирорастворимых витаминов. Как антиоксидант витамин С, помимо совместного действия с биофлавоноидами, также «работает в паре» с витамином Е. Второй захватывает пероксильный радикал, а первый восстанавливает витамин Е в его начальную форму. Витамин С также участвует в неспецифической иммунной защите, уменьшает воздействие на организм различных аллергенов. Суточная доза витамина составляет 50-100 мг во взрослом возрасте. Содержание витамина С велико в цитрусовых, красном перце, капусте (брюссельской, кочанной и цветной), чёрной смородине и других растениях [6].

Одной из основных проблем концентрации витамина С в различных овощах и фруктах являются нитраты. В исследовании Жарской и соавторов была проведена оценка содержания нитратов и витамина С в различных растениях и фруктах. Так, самыми оптимальными представителями по соотношению нитраты-витамин С являются сладкий перец (51 мг/кг нитратов на 163 мг% витамина С), финики (57 мг/кг нитратов на 200 мг% витамина С) и томаты (90 мг/кг нитратов на 68,5 мг% витамина С). Их авторы рекомендуют к обязательному включению в ежедневный рацион [7].

Оба витамина играют важную роль в лечении заболеваний нервной системы. В исследовании Adaze Bijou Enogieru и соавторов, указывалась важность применения рутина в перспективном лечении болезни Альцгеймера. В работе упоминается значение антиоксидантных свойств в лечении таких заболеваний, как сахарный диабет и заболевания венозной системы. Исследования, проведённые на людях, доказывают терапевтическую значимость рутина в лечении данных заболеваний и в терапии болезни Альцгеймера. Однако, автор упоминает его относительно небольшое содержание в растениях [8]. Если наладить выращивание богатых рутином растений на гидропонных станциях, это позволит контролируемо увеличивать его содержание.

Цель исследования – оценка содержания витаминов С и Р в листовом салате, выращенном гидропонным способом. Объект исследования – растения листового салата сортов Тайфун и Бутербродный, выращенные в гидропонных

установках на базе Ачинского филиала Красноярского государственного аграрного университета в шестикратной повторности в условиях электротехнологического облучения. Биохимические исследования были проведены на базе Красноярского государственного медицинского университета: количественное определение витамина С по Тильмансу, количественное определение витамина Р по Левенталю. Результаты обработаны методами описательной статистики с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel и ПО StatPlus 2006 (критерий Манна-Уитни).

Автор сравнивал полученные результаты с литературными данными, в связи с несезонностью для получения грунтовой продукции, но планируются дальнейшие исследования. Содержание витамина Р сопоставимо с его средним количеством (по данным литературы) в капусте, чуть уступает шпинату (сорт Бутербродный $40,9 \pm 0,06$ мг/100г, сорт Тайфун $52,1 \pm 0,04$ мг/100г). Салат Тайфун показал более высокие результаты и по содержанию рутина превзошел Бутербродный на 27% ($p=0,13$). По содержанию витамина С различий между сортами совсем не обнаружено (сорт Бутербродный $18,22 \pm 1,87$ мг/100г, Тайфун $18,74 \pm 1,43$ мг/100г, $p=0,87$). Высокое варьирование в вариантах может быть связано с неустойчивостью аскорбиновой кислоты в образцах.

Таким образом, исследование показало, что листовой салат, выращенный по гидропонной технологии с применением светодиодного облучателя, отличается повышенным содержанием витаминов С и Р, и может быть рекомендован как пищевой источник антиоксидантов. 100 г свежего листового салата обеспечивают суточную норму витамина Р, а 250-500 г покрывают потребность взрослого человека в витамине С.

Список литературы

1. Содержание аскорбиновой кислоты в листовом салате в зависимости от способа выращивания / О. В. Сенкевич, П. П. Долгих, Н. А. Малиновская, А.Н. Баязитов // Эпоха науки. 2024. № 40. С. 518-522.
2. Plant Factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production. Second edition / T. Kozai, G. Niu, M. Takagaki // Academic press. 2020. 516 p.
3. Скурихин И. М., Шатерников В. А. Как правильно питаться. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
4. Important Flavonoids and Their Role as a Therapeutic Agent / A. Ullah, S. Munir, S.L. Badshah, [et al.] // Molecules. 2020. Vol. 25(22). P.5243.
5. Антиоксидантная активность травяных чаев / Л.В. Драчева, Н.К. Зайцев, О.А. Жарикова // Пищевая промышленность. 2011. №11. С. 32–34.
6. The Roles of Vitamin C in Skin Health / J. M. Pullar, A. C. Carr, M. C. M. Vissers // Nutrients. 2017. Vol. 9(8). P.866.
7. Исследование содержания витамина С, нитратов и гамма-излучения в

пищевых продуктах растительного происхождения в осенний период / И.А. Жарская, О.Н. Борисенко, В.А. Киле, В.А. Терентьева // Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права. 2017. № 3(89). С. 76-86.

8. Rutin as a Potent Antioxidant: Implications for Neurodegenerative Disorders. / A.B. Enogieru, W. Haylett, D.C. Hiss [et al.] // Oxid. Med. Cell Longev. 2018. Vol. 2018. P.6241017.

УДК 57.05

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОСТРОЙ ФАЗЫ ВОСПАЛЕНИЯ ПРИ СЕПСИСЕ

Д. А. Белова¹

Научный руководитель Ф. А. Гершкорон¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Сепсис – это жизнеугрожающее состояние, возникающее в результате дисрегулированного иммунного ответа организма на инфекцию, которое приводит к полиорганной недостаточности.

По оценкам Всемирной организации здравоохранения, ежегодно сепсисом болеет до 30 миллионов человек, из которых более 8 миллионов умирают, что составляет почти 25% всех случаев смерти в мире [1]. За последние 40 лет заболеваемость тяжелым сепсисом значительно увеличилась. Но внутрибольничная смертность для пациентов с сепсисом сократилась с 28 % до 18 % [2].

Стоит отметить, что актуальность проблемы усугубляется ростом антибиотикорезистентности, увеличением доли грибковых возбудителей, а также поздним началом антибактериальной терапии [3].

Характерным признаком сепсиса является гиперцитокинемия, обусловленная чрезмерной активацией моноцитарно-макрофагальной системы. В плазме крови резко возрастает концентрация провоспалительных цитокинов, фактора некроза опухоли альфа (TNF-α и других медиаторов, влияющих на сосудистый тонус, проницаемость эндотелия, коагуляцию и функцию различных органов [4].

Ключевым патологическим феноменом острой фазы воспаления при сепсисе является дисбаланс иммунного ответа. Он заключается

в одновременном развитии гипервоспаления и иммунной супрессии, что значительно затрудняет борьбу с инфекцией [5].

Важным компонентом воспалительной реакции является активация биомаркеров. Биомаркеры – молекулярные, биохимические или клеточные модификации, которые можно определить в биологических средах – тканях, клетках или жидкости человеческого тела [6]. Одними из наиболее значимых биомаркеров при диагностике сепсиса принято считать белки острой фазы, такие как прокальцитонин, пресепсин, и проадреномедуллин, которые участвуют в опсонизации патогенов, модуляции иммунного ответа и регуляции коагуляции [7]. Также процессе развития сепсиса наблюдаются характерные изменения в активности церулоплазмينا (ЦП). На ранних стадиях заболевания, в ответ на активацию воспалительных и окислительных процессов, уровень ЦП в плазме крови повышается, но при прогрессировании заболевания наблюдается снижение его активности [8].

Таким образом, сепсис представляет собой крайне опасное состояние, вызванное нарушением иммунного ответа на инфекцию и приводящее к полиорганной недостаточности. Несмотря на снижение внутрибольничной смертности, его глобальная распространённость и высокая летальность сохраняются на достаточно высоком уровне. Патогенез сепсиса включает гиперактивацию воспалительных медиаторов, дисбаланс иммунного ответа, и изменение уровня белков острой фазы, что усложняет борьбу организма с инфекцией и требует комплексного подхода к лечению.

Список литературы

1. Сепсис в городском многопрофильном стационаре / Иванов, Ф. В., Завражнов, А. А., Котив, Б. Н., Дзидзава, И. И., [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2022. №6(1).
2. Рыбакова М. Г. Сепсис: от синдрома системной воспалительной реакции до органной дисфункции // Журнал: Архив патологии. 2021.
3. Данилов, А. И., Жаркова, Л. П. Антибиотикорезистентность: аргументы и факты // Клиническая фармакология и терапия. 2017.
4. Сепсис – патофизиология и терапевтические концепции / Д. Ярчак, Ш. Ключе, А. Нирхаус // Front. Med. 2021 г.
5. Иммунодиагностика и иммунотерапия ожогового сепсиса / Козлова, М. Н., Земсков, В. М., Алексеев, А. А. // Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского // Журнал: Вестник. 2023г. URL: <https://vestnik-surgery.com/journal/article/view/1717>
6. Вершинина, М.Г. Иммунологические маркеры сепсиса и септических состояний // ФГБУ «ЦГМА» УД Президента РФ. 2017.
7. Маркеры воспаления и инфекций кровотока / Н. М. Каргальцева, В. И. Кочеровец, В. И. Миронов, О. Ю. Борисова, [и др.] // Клиническая лабораторная

диагностика. 2019. №7.

8. Прооксидантная и антиоксидантная система крови и цитокиновый профиль у больных абдоминальным сепсисом // И. А. Мизиев, Р. А. Акхубеков, З.О. Иванова // Здоровье и образование в XXI веке. 2020. №11.

УДК 616-092.6

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФЕНОТИПОВ ХРОНИЧЕСКИХ РИНИТОВ

Н. С. Гончарова¹

Научный руководитель О. В. Смирнова^{1,2}

Доктор медицинских наук, профессор, заведующая лабораторией

¹ *Сибирский федеральный университет*

Хронические риниты с наличием носовой обструкции имеют высокую распространенность среди населения. Нарушение носового дыхания значительно ухудшает качество жизни пациента, оказывает негативное влияние на состояние дыхательной, сердечно-сосудистой, нервной систем. Дифференциальная диагностика хронического аллергического и инфекционного ринита часто затруднена, так как оба эти заболевания сопровождаются отеком слизистой оболочки полости носа, заложенностью носа и обильными выделениями из него, а также пациенты с данными фенотипами имеют схожие эндоскопические особенности [1].

Совокупность факторов, таких как гипоксия, от заложенности носа, дисбиоз микрофлоры носовой полости с наличием патогенной флоры, воспалительные процессы в слизистой оболочке полости носа, которые способствуют развитию местных и общих воспалительных и иммунных реакций, усиливают перекисное окисление липидов мембран клеток. Это способствует смещению окислительно-восстановительного равновесия в сторону прооксидантов и вызывает развитие окислительного стресса [2,3].

В исследование были включены 77 пациентов с хроническим ринитом, из которых 41 – с хроническим аллергическим ринитом, 36 – с хроническим инфекционным ринитом. В контрольную группу вошли 40 практически здоровых лиц без оториноларингологических жалоб и ринологического анамнеза. Показатели системы «ПОЛ-АОЗ» оценены в плазме крови спектрофотометрическим методом. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета прикладных программ Statistica 10.

При хроническом инфекционном рините выявлено достоверно значимое увеличение концентрации диеновых конъюгатов и малонового диальдегида относительно контрольной группы и пациентов с хроническим аллергическим ринитом ($p_{1-3} < 0,001$, $p_{2-3} < 0,001$ соответственно). У пациентов из группы с хроническим аллергическим ринитом было выявлено достоверно значимое

увеличение концентрации диеновых конъюгатов и малонового диальдегида относительно контрольной группы ($p_{1-2}=0,02$, $p_{1-3}<0,001$ соответственно). Повышенное содержание малонового диальдегида и диеновых конъюгатов расценивается, как усиление перекисного окисления липидов мембран клеток в сторону накопления прооксидантов. При исследовании антиоксидантной системы при хроническом аллергическом и инфекционном рините происходит достоверно значимое снижение концентрации медианы супероксиддисмутазы, каталазы, восстановленного глутатиона относительно контрольной группы ($p_{1-2}<0,001$, $p_{1-3}<0,001$ соответственно), что свидетельствует об их первичности при данной нозологии и возможности использования в качестве дополнительных критериев диагностики. При хроническом инфекционном рините отмечается более достоверно значимое снижение концентрации антиоксидантных ферментов относительно группы пациентов с хроническим аллергическим ринитом ($p_{2-3}<0,001$), что связано с характерным для данной группы пациентов выраженным дисбиозом микрофлоры носовой полости с наличием патогенной флоры, бактериально-грибковых ассоциаций, условно-патогенных бактерий с возможностью колонизации. Данные представлены в таблице.

Показатели прооксидантной и антиоксидантной системы в плазме крови у больных хроническим аллергическим и инфекционным ринитом

Показатели	Контрольная группа, N=40 (1)	ХАЛР, N=41 (2)	ХИР, N=36 (3)
	Me [Q ₂₅ -Q ₇₅]	Me [Q ₂₅ -Q ₇₅]	Me [Q ₂₅ -Q ₇₅]
DK мкмоль / л	0,63 [0,54 - 0,73]	0,72 [0,61-0,78]	0,99 [0,77-1,11]
		$p_{1-2}=0,005$	$p_{1-3}<0,001$ $p_{2-3}<0,001$
MDA нмоль/ 1 г белка	2,25 [1,7-3,01]	2,98 [2,41-3,13]	3,34 [2,91-3,45]
		$p_{1-2}<0,001$	$p_{1-3}<0,001$ $p_{2-3}<0,001$
SOD ед/мин/ 1г белка	182,7 [145,4-196,1]	145,2 [133-156]	127,6 [114-144,3]
		$p_{1-2}<0,001$	$p_{1-3}<0,001$ $p_{2-3}<0,001$
CAT мкмоль/с/ 1 г белка	0,36 [0,28-0,45]	0,25 [0,91-0,31]	0,18 [0,1-0,31]
		$p_{1-2}<0,001$	$p_{1-3}<0,001$ $p_{2-3}<0,001$
GSH нмоль/мл	24,6 [20,6-25,6]	18,5 [15,7-20,9]	14,5 [9,1-18,9]
		$p_{1-2}<0,001$	$p_{1-3}<0,001$ $p_{2-3}<0,001$

*Примечание: ХАлР – хронический аллергический ринит, ХИР – хронический инфекционный ринит, р 1-2: значимость различий между группой ХАлР и контрольной группой; р 1-3: значимость различий между группой ХИР и контрольной группой; р 2-3: значимость различий между группами ХАлР и ХИР.

При хроническом аллергическом и инфекционном рините обнаруживается преобладание прооксидантных процессов над антиоксидантными, выявляется незначительный окислительный стресс, обусловленный, вероятно, наличием гипоксии и интоксикационного синдрома. Большие изменения происходят у пациентов из группы с хроническим инфекционным ринитом. Углубленное изучение процессов перекисного окисления липидов и факторов системы антиоксидантной защиты в зависимости от фенотипа хронического ринита может использоваться в качестве маркеров диагностики данной патологии.

Список литературы

1. Гусева А. Л., Дербенева М. Л. Ринит: дифференциальная диагностика и принципы лечения // Медицинский совет. 2020. №16. С. 102-108.
2. Malondialdehyde as a potential oxidative stress marker for allergy-oriented diseases: an update / Cordiano R., Di Gioacchino M., Mangifesta R. [et al.] // Molecules. 2023. №28. <https://doi.org/10.3390/molecules28165979>
3. Valgimigli L. Lipid Peroxidation and Antioxidant Protection // Biomolecules. 2023. V. 13. №. 9. p. 1291.

УДК 574.24

ОСОБЕННОСТИ СУТОЧНОЙ ДИНАМИКИ ЭКСКРЕЦИИ ФТОРИДОВ С МОЧОЙ

Е. В. Гуменко¹

Научный руководитель Ю. С. Акопова¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Понимание уровня обеспеченности фтором организма человека на сегодняшний день является достаточно актуальной задачей. Возможно, как избыточное его содержание среди населения, так и наличие фтор-дефицита.

Концентрация фтора в организме человека различна: в костях не превышает 110-300 мг/кг, в эмали зубов – 150-160 мг/кг, в дентине – 270-350 мг/кг, в волосах – 60-75 мг/кг, в моче – 0,6 мг/кг, в паренхиматозных органах до 0,6 мг/кг, в крови – 0,01-0,03 мг/кг. Суточная потребность человека во фторе 1,5-5,0 мг. Установлена зависимость концентрации фтора от возраста человека,

так по рекомендациям ВОЗ, для взрослого она составляет 1,0-1,5 мг/л, для детей – 0,6-0,8 мг/л [1].

На территории города Красноярска основными источниками выбросов фтористых соединений в атмосферу являются предприятия алюминиевой промышленности. В городе Красноярске водопроводная вода не фторируется. Концентрация фтора в питьевой водопроводной воде, отобранной участниками исследования в местах проживания и на рабочем месте в среднем составила $0,3224 \pm 0,0006$ мг/л. При этом оптимальные значения по фторидам для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения составляют 0,75-1,5 мг/л [1].

Содержание ионов фтора в моче лиц, проживающих в городе Красноярске, определяли потенциометрическим методом с использованием фторселективного электрода. Образцы мочи исследовались в центре эстетической медицины ООО «РЕНОВАЦИО». В исследовании приняли участие 28 соматически здоровых мужчин и женщин в возрасте 35-50 лет. Сбор мочи осуществлялся в течение 3 контролируемых по времени периодов в течение суток: период А (утренний) – начинался, в среднем, в 6:00-8:00 утра и заканчивался в 11:00-13:00; период Б (дневной) – длился с 11:00-13:00 до 17:30-19:30; период В (ночной) – ночной сбор мочи (с 17:30-19:30 до 6:00-8:00 утра следующих суток). Сравнение изучаемых групп проведено с помощью t-критерия Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$ [2].

Взрослый человек получает в среднем с продуктами 0,5-1,1 мг фтора в сутки с пищевыми продуктами и 2,2-2,5 мг с водой. Характерно, что фтор пищевых продуктов всасывается хуже, чем фториды, растворимые в воде. Чем больше фтора в питьевой воде, тем чаще встречается флюороз и меньше – кариес. По рекомендациям ВОЗ в качестве ПДК ионов фтора в моче была принята величина от 0,4 до 1,0 мг/л.

Было обнаружено, что концентрация фторида в первой (утренней) пробе мочи была равна $0,9344 \pm 0,07$ мг/л, затем несколько снижалась в дневной пробе до $0,7855 \pm 0,12$ мкг/мл ($p=0,003$). В ночной порции мочи концентрация фторида составляла $0,8946 \pm 0,09$ мг/л ($p=0,0005$).

Таким образом, в результате проведенной работы, удалось обнаружить суточные колебания концентрации фторидов в моче. Для понимания причин и механизмов подобных изменений требуются дополнительные исследования.

Список литературы

1. Современные представления о молекулярных механизмах физиологического и токсического действия соединений фтора на организм / А. Г. Жукова, Н. Н. Михайлова, А. С. Казицкая, Д. С. Алехина // Медицина в Кузбассе. 2017. Т. 16. № 3. С. 4–11.
2. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием

ЭВМ / М.: Мир, 1982. 488 с.

УДК 615.456.5

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ, НАГРУЖЕННЫХ ДОКСОРУБИЦИНОМ

А.С. Дорохин¹, С.Ю. Липайкин¹

Научный руководитель Е.И. Шишацкая¹

Доктор биологических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Доксорубицин (DOX) – это противоопухолевый антибиотик антрациклинового ряда, широко применяемый для лечения различных злокачественных неоплазий. Несмотря на высокую терапевтическую активность, применение доксорубицина часто ограничено ввиду серьёзных кардио- и нефротоксических побочных эффектов [1]. Для устранения этого ограничения DOX может быть инкапсулирован в биоразлагаемые полимерные наночастицы, селективно накапливающиеся в тканях опухоли и медленно высвобождающие препарат за счёт диффузии и деградации матрицы. Одним из наиболее перспективных классов полимеров, предложенных для этих целей, являются полигидроксиалканоаты – сложные полиэфиры оксикарбоновых кислот микробного происхождения, характеризующиеся высокой биосовместимостью, полукристалличностью и относительно медленной биodeградацией [2].

Для получения наночастиц поли(3-гидроксibuтирата) (P3HB, 363 кДа) и поли(3-гидроксibuтирата-со-3-гидроксивалерата) (P3HBV, 475 кДа, 10.2 % 3HV), нагруженных доксорубицином, использовали метод двойной эмульсии с применением поливинилового спирта (31-50 кДа, Sigma-Aldrich, США) в качестве сурфактанта. Средний диаметр, индекс полидисперсности (PDI) и дзета-потенциал наночастиц определяли методами динамического и электрофоретического светорассеяния на Zetasizer Nano ZS (Malvern, Великобритания). Включение (DL) и эффективность инкапсулирования (EE) доксорубицина определяли спектрофотометрическим методом при $\lambda_{\text{max}} = 233$ нм. Выход препарата из матрицы исследовали при pH 7.4 и температуре 37 °C.

При инкапсулировании DOX в матрицу P3HB и P3HBV размер наночастиц возрастал, что может быть связано с влиянием препарата на процесс укладки полимерных цепей в ходе испарения растворителя, а также на стабильность двойной эмульсии (таблица). Известно, что в зависимости от pH, температуры и ионной силы раствора доксорубицин может самоассоциировать в растворах с

образованием димеров за счёт ароматических взаимодействий между фрагментами агликонов [3], что также оказывает влияние на структуру границы раздела фаз и размер капель коллоидной системы.

Модуль дзета-потенциала полученных частиц при nanoинкапсулировании DOX снижался, при этом для РЗНВ достигал положительных значений. При pH 7.4 доксорубин находится в протонированной форме ($pK_a(NH_2) = 8.15$), вследствие чего можно предположить, что в образце РЗНВ-DOX-NPs он преимущественно адсорбировался на поверхности матрицы. Это также подтверждается результатами исследования кривых выхода препарата (рисунок): в то время как для РЗНВ-DOX-NPs было характерно постепенное высвобождение DOX, на кривой выхода препарата из РЗНВ-DOX-NPs отмечался выраженный “бёрст”, обусловленный десорбцией инкапсулируемого вещества с поверхности матрицы и диффузией из её внешних слоёв.

Таблица

Характеристики наночастиц РЗНВ и РЗНВ, нагруженных доксорубицином

Образец	d, nm	PdI	Дзета-потенциал, мВ	EE, %	DL, %
РЗНВ-NPs	549±14	0.243	-25.7±0.7	—	—
РЗНВ-DOX-NPs	782±11	0.259	-14.2±0.4	31.9±0.7	1.69±0.02
РЗНВ-NPs	553±16	0.294	-25.5±0.6	—	—
РЗНВ-DOX-NPs	675±17	0.291	+7.0±0.2	33.3±0.8	1.42±0.02

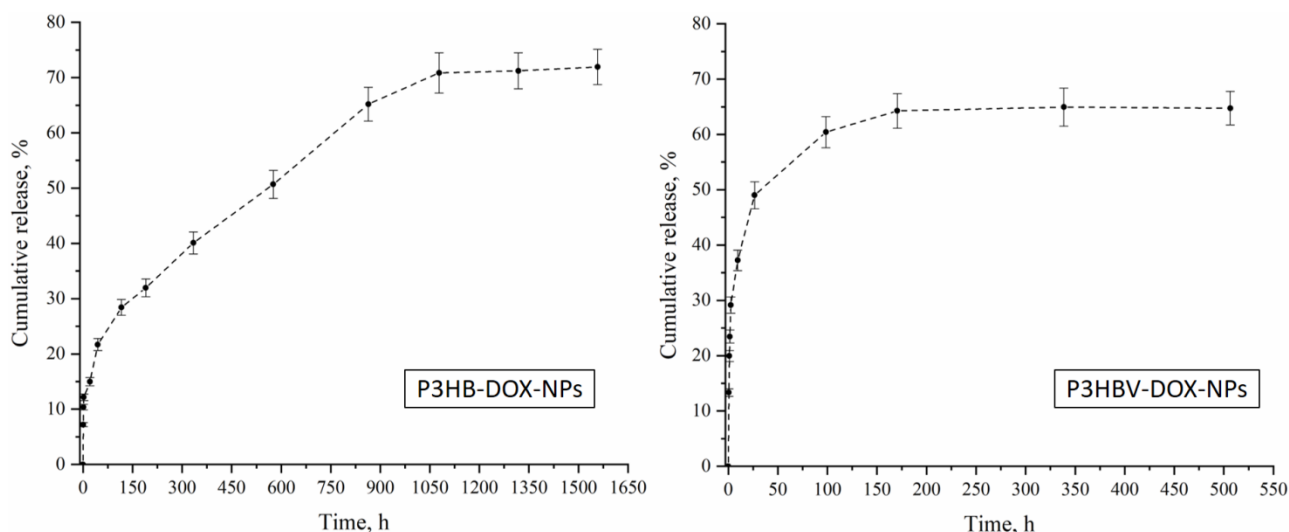


Рисунок. Кривые выхода DOX из РЗНВ-DOX-NPs и РЗНВ-DOX-NPs при pH 7.4 и температуре 37 °C

Список литературы

1. Anthracycline-induced cardiotoxicity: Overview of studies examining the roles of oxidative stress and free cellular iron / T. Šimůnek, M. Štěřba, O. Popelová, M. Adamcová, [et al.] // Pharmacological Reports. 2009. Vol. 61. P. 154-171.
2. Properties of degradable polyhydroxyalkanoates with different monomer compositions / T. Volova, E. Kiselev, I. Nemtsev, A. Lukyanenko, [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. Vol. 182. P. 98-114.
3. Unravelling molecular mechanisms in the fluorescence spectra of doxorubicin in aqueous solution by femtosecond fluorescence spectroscopy / P. Changenet-Barret, T. Gustavsson, D. Markovitsi, I. Manet, [et al.] // Physical Chemistry Chemical Physics. 2013. Vol. 15. P. 2937-2944.

УДК 577.25

ЭКСПРЕССИЯ МАРКЕРОВ НЕЙРОГЕНЕЗА И АНГИОГЕНЕЗА В ГИППОКАМПЕ У ГРЫЗУНОВ С МОДЕЛЬЮ АУТИЗМА

В. А. Захарова, В. А. Панюков¹

Научный руководитель Н. А. Малиновская^{1,2}

Доктор медицинских наук, профессор и исполняющая обязанности
заведующего кафедры биологической химии с курсами фармацевтической и
токсикологической химии

¹*Сибирский Федеральный Университет*

Расстройства аутистического спектра (РАС) являются одной из наиболее часто встречающихся заболеваний во всем мире. По данным одной из крупнейших в США научной организации «Autism Speaks» в мире 67 миллионов людей страдают данным заболеванием [1]. Аутизм - наиболее тяжелый конец спектра расстройств нервного развития, расстройств аутистического спектра (РАС) [2]. Основные симптомы у аутичных пациентов, — стереотипное и ограниченное поведение, отсутствие социального взаимодействия, неспособностью приобретать социальные навыки, развивать речь и невербальную коммуникацию. РАС является полигенным расстройством и имеет многофакторное происхождение [3]. На данный момент (2025 год), точная и общепринятая этиология РАС не установлена, однако существует достаточно большое количество гипотез. Нейрогенез — это многоступенчатый процесс, состоящий из нескольких этапов, который начинается с трансформации нейральных стволовых клеток (НСК) и заканчивается их включением

в нейрональную сеть «зрелого» нейрона (интеграции) [5]. Существуют маркеры, экспрессия которых специфична для разных этапов нейрогенеза.

Цель исследования – оценка экспрессии молекул-маркеров нейрогенеза даблкортина (DCX), нестина и молекул-маркеров ангиогенеза VEGF и CD31 у модельных и интактных животных в гиппокампе.

Материал и методы исследования. Объект исследования – крысы линии Wistar. Экспериментальная модель аутизма создавалась по стандартной методике путем подкожных инъекций беременным самкам крыс на 12-й день после зачатия 500 мг/кг веса вальпроевой кислоты (ВПК) в физиологическом растворе, в контроле – введение растворителя (физиологический раствор) из расчета 1 мл/кг веса [7]. Полученное потомство в возрасте 25 дней было протестировано в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» (ПКЛ). Данный тест определяет степень тревожности крысы, способность животного оценивать риск, позволяет определить исследовательскую и двигательную активность, а также эмоциональное состояние особи. Оценивались такие параметры как: число пересеченных линий, количество заходов в закрытые и открытые рукава, а также количество выходов в центр. После поведенческого тестирования, у анестезированных животных осуществляли транскардиальную перфузию 4% парафармальдегидом (PFA) с последующим забором головного мозга. С помощью вибротома Thermo Scientific Microm HM 650 были изготовлены срезы толщиной 60 мкм. Полученные срезы до момента их иммуногистохимической окраски хранили в растворе PBS с 0,02% азидом натрия. Иммуногистохимическая окраска проводилась по протоколу «свободно-плавающих срезов» фирмы abcam. Флуоресцентная микроскопия проводилась с помощью ZOE fluorescent Cell imager. В процессе флуоресцентной микроскопии исследовали экспрессию нейровоспалительного маркера DCX в области гиппокампа. На рисунке 1 показан пример экспрессии даблкортина в данной области у модельного и интактного животного.

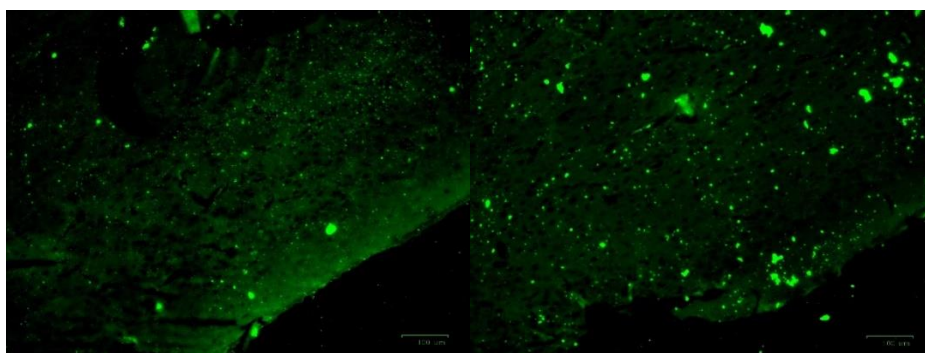


Рисунок. Экспрессия DCX в гиппокампе животного: слева – контрольной группы; справа – опытной группы.

При помощи программы ImageJ была рассчитана площадь экспрессии антигена в пикселях. Далее полученные результаты выражали в процентах от общей площади среза в данном поле зрения в пикселях (далее обозначаем как процент экспрессии маркера DCX). Статистический анализ проводили с использованием методов непараметрической статистики. Учитывались такие критерии, как: описательная статистика (медиана, процентиля 25 и 75% (Q1, Q3). Для выявления различий поведения животных между группами применяли непараметрический критерий Манна-Уитни ($p \leq 0,05$ – уровень статистической значимости).

Результаты. В ходе исследования у крыс, подвергшихся влиянию вальпроевой кислоты в перинатальном периоде, было подтверждено развитие аутизма (обнаружено стереотипное поведение, уменьшение социальных контактов, аутоагрессия), обнаружены признаки повышенной тревожности и/или депрессии.

Особенностями экспрессии молекул-маркеров нейрогенеза даблкортина и нестина и ангиогенеза VEGF и CD31 в трех области гиппокампа головного мозга на 90-е сутки с момента рождения являются усиление экспрессии обоих маркеров нейрогенеза при экспериментальном аутизме в гиппокампе, также выявлено отсутствие значимых изменений в гиппокампе по CD31 при значимом увеличении экспрессии VEGF. Обнаруженные результаты могут свидетельствовать о признаках тревожного поведения у животных и о вероятном усилении нейрогенеза при аутизме в энторинальной коре.

Таким образом, в сравнении с контрольной группой, у животных с экспериментальным аутизмом наблюдались признаки тревожного поведения с тенденцией к усилению нейрогенеза в гиппокампе.

Список литературы

1. Autism Speaks, 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autismspeaks.org/> [дата доступа 16.04.2025]
2. Sanchack K.E., Thomas C.A. Autism Spectrum Disorder: Primary Care Principles. // Am. Fam. Physician. 2016. Vol. 94(12). P. 972–979.
3. Delayed autism spectrum disorder recognition in children and adolescents previously diagnosed with attention-deficit/hyperactivity disorder. / V. Kentrou, D.M. de Veld, K.J. Mataw, S. Begeer // Autism. 2019. Vol. 23(4). P. 1065–1072.
4. Immune dysfunction and neuroinflammation in autism spectrum disorder / G. Bjorklund, K. Saad, S. Chirumbolo, J.K. Kern // Acta Neurobiol. Exp. (Wars). 2016. Vol. 76(4). P. 257–268.
5. Ribeiro F.F., Xapelli S. An Overview of Adult Neurogenesis. // Adv. Exp. Med. Biol. 2021. Vol. 1331. P. 77–94.
6. Doublecortin expression levels in adult brain reflect neurogenesis / S. Couillard-Despres, B. Winner, S. Schaubeck, R. Aigner [et al.] // J. Neurosci. 2005.

Vol. 21(1). P. 1–14.

7. Nicolini C., Fahnestock M. The valproic acid-induced rodent model of autism.
// Exp Neurol. 2018. Vol. 299(PtA). P. 217–227.

УДК 574.24

СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ ФТОРА В СЛЮНЕ И МОЧЕ ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В ГОРОДЕ КРАСНОЯРСКЕ

А. М. Казакова¹

Научный руководитель Ю. С. Акопова¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Уровень экскреции фтора из организма человека определяется разными путями поступления, такими как: пероральный, ингаляционный и кожный. Выделение поступившего в организм фтора осуществляется главным образом с мочой (50-70% поступившего в организм фтора), слюной, калом и потом [1]. Кроме того, источниками фтора могут явиться: загрязненный фторсодержащими выбросами воздух открытой атмосферы, химические вещества, применяемые в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, а также минеральные воды и лекарственные вещества.

При этом избыток фтора может приводить к флюорозу и вызывать нарушение работы печени и сердечно-сосудистой системы, нервной системы. В то время, как недостаточное поступление фтора часто приводит к заболеванию кариесом.

Содержание ионов фтора в слюне и моче лиц, проживающих в городе Красноярске определяли потенциометрическим методом с использованием фторселективного электрода в комплекте с рН-метром. Образцы слюны и мочи исследовались в центре эстетической медицины ООО «РЕНОВАЦИО». В исследовании приняли участие 28 мужчин и женщин без хронических заболеваний в возрасте 35-50 лет. На данном этапе исследования величины представлены в виде арифметических средних, стандартного отклонения (St.dev.) и ошибки среднего (m).

По данным ООО «Краском» города Красноярска водопроводная вода не фторируется. Концентрация фтора в питьевой водопроводной воде, отобранной участниками исследования в местах проживания и на рабочем месте в среднем составила $0,3224 \pm 0,0006$ мг/л. При этом ПДК по фторидам для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения составляет 0,75-1,5 мг/л [2].

В соответствии с рекомендациями ВОЗ в качестве допустимого уровня содержания фтора в моче принята величина от 0,4 до 1,0 мг/л.

Оценка уровня фторурии у обследуемых показало, что у 71% наблюдается оптимальный уровень экскреции фтора с мочой ($0,6644 \pm 0,19$ мг/л), у 21% - избыточный уровень ($2,0486 \pm 0,61$ мг/л) и у 8% - низкий уровень - ($0,2922 \pm 0,10$ мг/л). В результате анализа данных в слюне обследуемых концентрация фторид ионов оказалась достаточно низкой и составила $0,1188 \pm 0,072$ мг/л, при норме 0,6 – 1,8 мг/л [3].

Таким образом, полученные результаты позволяют констатировать, что при употреблении питьевой воды с низкой концентрацией фтора, у обследованных жителей города Красноярска наблюдается низкий уровень микроэлемента в слюне, и достаточный его уровень в моче у большинства участников эксперимента.

Список литературы

1. Донских И. В. Влияние фтора и его соединений на здоровье населения // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2013. №3(91). Ч.2. С. 179-185.
2. Гумбатова Р. М. Влияние фтора на организм человека // Проблемы современной науки и образования. 2021. № 2(159). С. 43-45.
3. Фториды и их влияние на метаболические процессы в полости рта / Е. В. Брусницына, Л. А. Каминская, Е. С. Иощенко, Т. В. Закиров // Вестник УГМУ. 2022. № 1(56). С. 10-14.

УДК 57.083.18

МЕТОД ARDRA В ИДЕНТИФИКАЦИИ E. COLI

А. А. Карсакова¹

Научный руководитель О. А. Гусейнов¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Escherichia coli — это грамотрицательная бактерия, которая является частью нормальной микробиоты кишечника человека и теплокровных животных. *E. coli* может приносить пользу организму хозяина, например, синтезируя витамины [1], а также предотвращая развитие патогенных микроорганизмов в кишечнике [2].

Обычно кишечная палочка является симбионтом в толстом кишечнике; однако у ослабленного или иммуносупрессивного организма, а также при нарушении желудочно-кишечных барьеров даже нормальные штаммы *E. coli* могут вызывать инфекцию.

Инфекции, вызванные условно-патогенными штаммами кишечной палочки, могут локализоваться на поверхности слизистых оболочек или распространяться по всему организму. Три общих клинических синдрома возникают в результате заражения патогенными штаммами *E. coli*: инфекция мочевыводящих путей, сепсис/менингит и кишечные/диарейные заболевания [3].

E. coli — один из наиболее распространенных представителей кишечной микрофлоры человека. Современная микробиология требует быстрых, точных и недорогих методов идентификации. Одним из таких методов является ARDRA (Amplified Ribosomal DNA Restriction Analysis) — рестрикционный анализ амплифицированного гена 16S рРНК, позволяющий различать штаммы *E. coli* и схожих бактерий [4].

Цель исследования было использовать метод рестрикционного анализа амплифицированного гена рРНК (ARDRA) для идентификации *E. coli* и её дифференциации от филогенетически близких бактерий: *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus penneri*, *Enterobacter hormaechei*, *Erwinia pyri* и *Pantoea wallisii*.

Объекты исследования – идентифицируемые образцы, были получены от сотрудника базовой кафедры биотехнологии ИФБиТ СФУ Сабирова А.О.

ARDRA включает следующие этапы: выделение геномной ДНК, увеличение концентрации ДНК с помощью ПЦР, рестрикцию специфическими эндонуклеазами и электрофоретическое разделение образующихся фрагментов ДНК.

Была выделена ДНК из 6 чистых культур бактерий с помощью набора реагентов *SILICA uni.*, проведена амплификация участка 500L-1350R гена 16S рРНК, выполнена рестрикция полученных ампликонов ферментами *RsaI*, *TagI* и *BstMBI* компании *SibEnzyme*, Электрофоретическое разделение продуктов рестрикции амплифицированной ДНК проведено в 1,75% агарозном геле (*Helicon*). Для определения длины фрагментов ДНК использован ДНК-маркер 100 bp компании *SibEnzyme*.

Для идентификации бактерий сравнивала экспериментально полученные электрофореграммы с теоретическими из нашего банка данных.

ARDRA-профили *E. coli* отличались специфическими паттернами рестрикции, воспроизводимыми при гидролизе ферментов *RsaI*, *TagI* и *BstMBI*. Полученные рестрикционные карты позволили отличить *E. coli* от других исследуемых образцов.

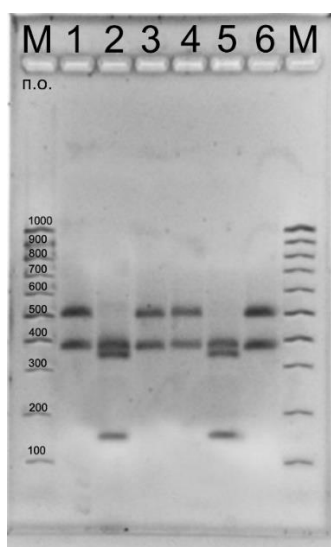


Рисунок 1. Экспериментальная электрофореграмма для рестриктазы RsaI

M – Маркер 100 bp, 1 – *Klebsiella pneumoniae*, 2 – *Proteus penneri*, 3 – *Enterobacter hormaechei*, 4 – *Erwinia pyri*, 5 – *Pantoea wallisii*, 6 – *Escherichia coli*.

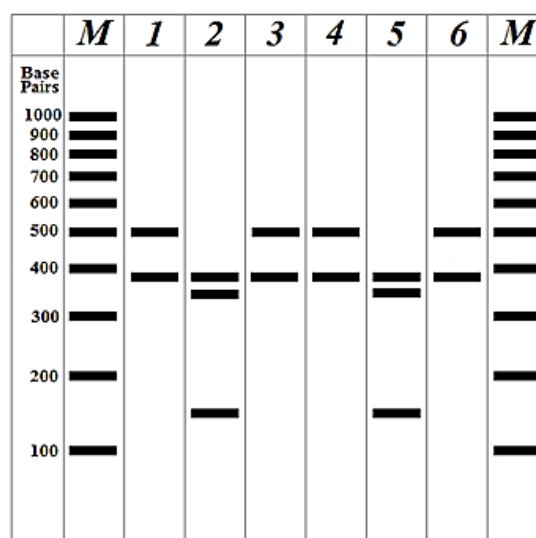


Рисунок 2. Теоретическая электрофореграмма для рестриктазы RsaI

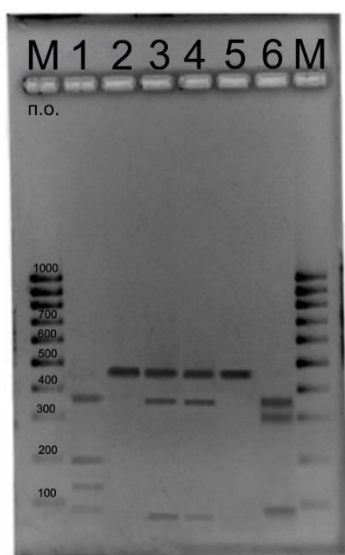


Рисунок 3. Экспериментальная электрофореграмма для рестриктазы TagI

M – Маркер 100 bp, 1 – *Klebsiella pneumoniae*, 2 – *Proteus penneri*, 3 – *Enterobacter hormaechei*, 4 – *Erwinia pyri*, 5 – *Pantoea wallisii*, 6 – *Escherichia coli*.

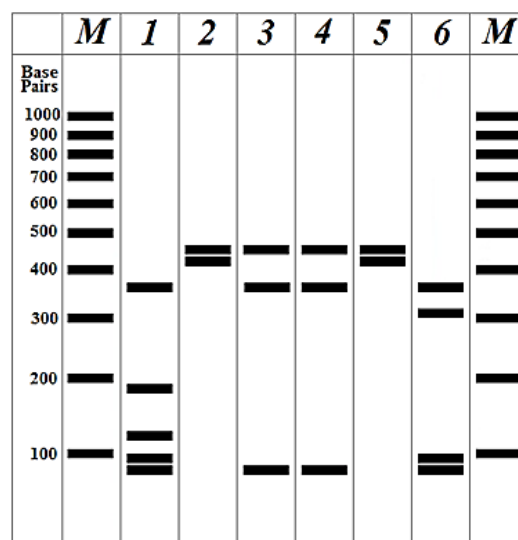


Рисунок 4. Теоретическая электрофореграмма для рестриктазы TagI

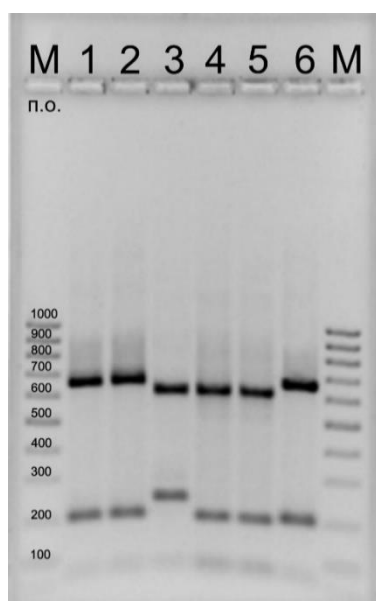


Рисунок 5. Экспериментальная электрофореграмма для рестриктазы BstMBI

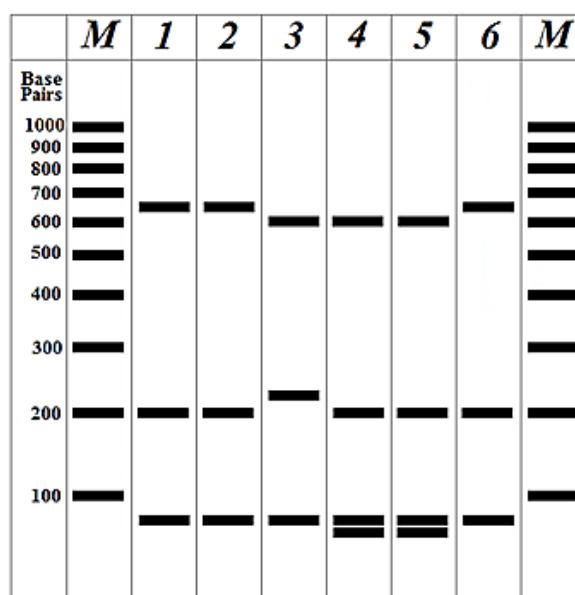


Рисунок 6. Теоретическая электрофореграмма для рестриктазы BstMBI

M – Маркер 100 bp, 1 – *Escherichia coli*, 2 – *Klebsiella pneumoniae*, 3 – *Proteus penneri*, 4 – *Enterobacter hormaechei*, 5 – *Erwinia pyri*, 6 – *Escherichia coli*.

Выводы: с использованием протокола ARDRA были получены электрофореграммы, позволяющие идентифицировать *E. coli* и отличить её от других близкородственных видов. Метод ARDRA, в дополнение к классическим методам микробиологии, при условии оптимального подбора рестриктаз, является современным и эффективным способом для определения микроорганизмов.

Список литературы

1. Bacteria as vitamin suppliers to their host: a gut microbiota perspective / J. G. LeBlanc, J. Guy, C. Milani // *Current Opinion in Biotechnology*. 2013. V. 24, I 2. P. 160-168.
2. *Escherichia coli* strains colonising the gastrointestinal tract protect germfree mice against *Salmonella typhimurium* infection / S. Hudault, J. Guignot, A. L. Servin // *Gut*. 2001. V. 49, I 1. P. 47-55.
3. Nataro, J. P., Kaper, J. B. Diarrheagenic *Escherichia coli* // *Clinical Microbiology Reviews*. 1998. 11(1): 142-201. doi: 10.1128/CMR.11.1.142.
4. Restriction fragment length polymorphism (RFLP) as a powerful tool for bacterial identification / A. A. Khan, M. S. Nawaz, S. A. Khan, C. E. Cerniglia // *Microbiological Research*. 2020. V. 232. P. 126385.

УДК 575.162*616.36-003.826

ВКЛАД ВАРИАНТОВ ГЕНОВ *PNPLA3*, *UCP2* И *HFE* В РАЗВИТИЕ СТЕАТОЗА И СТЕАТОГЕПАТИТА ПРИ НЕАЛКОГОЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ БОЛЕЗНИ ПЕЧЕНИ

Д. В. Лагутинская¹

Научный руководитель О. В. Смирнова^{1, 2}

Доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой

¹*Сибирский федеральный университет*

Неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) – это заболевание, вызванное метаболическими нарушениями, приводящее к развитию жирового гепатоза. По разным данным ее распространённость составляет от 25% до 32%. В основе патогенеза этого заболевания – факторы образа жизни, такие как диета и низкая двигательная активность, приводящие к развитию ожирения. Ожирение, в свою очередь способно приводить к развитию инсулинорезистентности и дислипидемии. Эти факторы в сочетании с нарушением эндокринной функции белой жировой ткани, дисбиозом на фоне несбалансированной диеты, хроническое воспаление приводят к стеатозу печени. Данное состояние считается злокачественным, развитие воспаления приводит к неалкогольному стеатогепатиту, который является фактором риска развития фиброза, цирроза и гепатоцеллюлярной карциномы [1].

Немаловажную роль в повышении риска возникновения ожирения, дислипидемии и инсулинорезистентности играют варианты генов *PNPLA3* (rs738409) и *UCP2* (rs660339). Полиморфизм rs738409 связан с изменением метаболизма липидов в гепатоцитах в сторону их избыточного запасаения. Полиморфизм rs660339 менее изучен в контексте НАЖБП, однако связан с риском развития ожирения и сахарного диабета II типа. Также показано, что нарушение обмена железа в сторону его бесконтрольного депонирования клетками печени связано с более неблагоприятным прогнозом при НАЖБП, что может быть связано с вариантами гена *HFE* (rs1800730), который рядом исследований ассоциируется с развитием гепатоцеллюлярной карциномы, однако причины подобного эффекта до конца не установлены [2, 3].

Целью нашей работы стало определение взаимосвязи между полиморфными локусами генов *PNPLA3* (rs738409), *UCP2* (rs660339) и *HFE* (rs1800730) и изменениями маркеров печеночной патологии у пациентов с НАЖБП в зависимости от клинической формы. Объектом исследований выступила цельная кровь, отобранная у пациентов с НАЖБП со стеатозом

и стеатогепатитом для проведения биохимического исследования. Исследовались следующие показатели печеночной патологии: АЛТ, АСТ, общий билирубин на биохимическом анализаторе Mindray BS-380 (Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd, КНР) с использованием комплекта реактивов производства «Вектор-Бест» (Новосибирск, Россия). Также оценивалось соотношение АСТ/АЛТ и рассчитывался коэффициент FIB-4. Для проведения молекулярно-генетического исследования выделялась ДНК из лейкоцитов цельной крови с использованием комплекта реактивов «ДНК-сорб-В» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия), после чего полученная ДНК подвергалась ПЦР-РВ с гидролизными зондами производства ООО «ТестГен» (Россия) на амплификаторе LightCycler96 (Roche Molecular Systems, Inc.).

На первом этапе нами были установлены следующие изменения маркеров печеночной патологии в зависимости от носительства вариантов генов PNPLA3 (rs738409), UCP2 (rs660339) и HFE (rs1800730) у пациентов со стеатозом и стеатогепатитом. У пациентов со стеатозом не было отмечено значимых изменений маркеров АЛТ, АСТ, а также расчетных показателей АСТ/АЛТ и FIB-4. У пациентов со стеатогепатитом, напротив, отмечались значимое повышение основных маркеров состояния печени – АЛТ и АСТ, а также общего билирубина, также отмечалось снижение соотношения АСТ/АЛТ и возрастание значения индекса FIB-4, свидетельствующее о риске развития фиброза. Изменение ряда вышеуказанных показателей было связано с носительством вариантов генов PNPLA3, UCP2 и HFE (таблица). Генотип GG полиморфизма rs738409 гена PNPLA3 был значимо связан с повышением уровня АСТ в 1,6 раз ($p < 0,001$). Генотипы CC+CG были связаны со значимым снижением соотношения АСТ/АЛТ в 1,5 раза, при этом этот вариант был значимо связан со значениями индекса FIB-4, свидетельствующими об отсутствии фиброза ($p < 0,001$). Носительство варианта TT полиморфизма rs660339 гена UCP2 было связано со значимым повышением уровня общего билирубина в 1,6 раз ($p < 0,001$), и увеличением FIB-4 в 1,9 раз ($p < 0,01$). Генотипы AA+AT полиморфизма rs1800730 гена HFE связаны с повышением общего билирубина в 1,4 раза, а также с менее выраженным снижением соотношения АСТ/АЛТ ($p < 0,001$). Генотип TT значимо связан с повышением индекса FIB-4 ($p < 0,001$).

Таблица

Влияние носительства вариантов генов PNPLA3 (rs738409), UCP2 (rs660339) и HFE (rs1800730) на изменение показателей печеночных маркеров у пациентов с НАЖБП при стеатогепатите

Ген	Генотипы	АСТ, ед/л	АЛТ, ед/л	Общий билирубин, мкмоль/л	АСТ/АЛТ	FIB-4

		Me [Q1-Q3]	Me [Q1-Q3]	Me [Q1-Q3]	Me [Q1-Q3]	Me [Q1-Q3]
<i>PNPLA3</i> (rs738409)	CC+CG	36 [28,9-48,4]	58,3 [47,8-94,4]	13,4 [9,85-26,9]	0,6 [0,45-0,76]	0,82 [0,57-1,03]
	GG	60 *** [49-164]	65 [44-404]	18,5 [15,6-21,3]	0,89*** [0,66-0,92]	1,77*** [1,52-3,24]
OR (CI 95%)		5,53 (2,69-11,37)	0,66 (0,34-1,3)	0,53 (0,25-1,12)	0,07 (0,03-0,18)	0,05 (0,01-0,4)
<i>UCP2</i> (rs660339)	CC+CT	37 [35,5-50,5]	55 [43-102,5]	14 [10,7-22,1]	0,74 [0,54-0,83]	0,88 [0,71-1,31]
	TT	38 [32-60]	58 [51-65]	22,2*** [12,7-30,3]	0,65 [0,62-0,68]	1,15** [0,67-3,24]
OR (CI 95%)		1,09 (0,52-2,28)	59,33 (17,32-203)	5 (2,33-10,75)	1,28 (0,55-2,97)	2 (1,27-7,08)
<i>HFE</i> (rs1800730)	AA+AT	35 [29,4-50]	59,8 [48,4-57]	17,1 [10,2-33,3]	0,63 [0,51-0,76]	0,89 [0,54-1,31]
	TT	54*** [39-164]	214 *** [44-404]	12,4*** [10,8-18,5]	0,41 *** [0,25-0,89]	1,10*** [0,78-1,52]
OR (CI 95%)		0,65 (0,24-1,67)	0,67 (0,34-1,3)	0,08 (0,03-0,24)	0,1 (0,05-0,2)	3,04 (1,4-6,5)

Примечание: *разница достоверна при $p < 0,05$ между подгруппами, ** разница достоверна при $p < 0,01$ между подгруппами, *** разница достоверна при $p < 0,001$ между подгруппами.

Таким образом, у пациентов со стеатозом не обнаружено значимой связи с носительством определенных вариантов генов *PNPLA3* (rs738409), *UCP2* (rs660339) и *HFE* (rs1800730) и изменением показателей печеночной патологии. У пациентов со стеатогепатитом повышение АСТ связано с носительством генотипа GG полиморфизма rs738409, повышение общего билирубина связано с вариантами TT полиморфизма rs660339 и AA+AT полиморфизма rs1800730. Изменение АСТ/АЛТ было разнонаправленное, его более высокие значения связаны с генотипами AA+AT полиморфизма rs1800730, а более низкие с носительством варианта CC+ CG полиморфизма rs738409. Генотипы CC+CG обладают протективным эффектом и снижают риск развития фиброза, что

выражается в снижении показателя FIB-4 у носителей этого варианта. Носительство вариантов ТТ полиморфизма rs660339 и ТТ полиморфизма rs1800730 связано с повышением риска развития фиброза печени.

Список литературы

1. Juanola O., Martinez-Lopez S., Liu Z. et. al. Non-Alcoholic Fatty Liver Disease: Metabolic, Genetic, Epigenetic and Environmental Risk Factors // International Journal of Environmental Research. 2021. V. 18. № 10. P. 5227.

2. Mann J. P., Pietzner M., Wittemans L. B., et al. Insights into genetic variants associated with NASH-fibrosis from metabolite profiling // Human Molecular Genetics. 2020. V. 29. № 20. P. 3451-3463.

3. Ye Q., Qian X., Yin W. L., et al. Association between the HFE C282Y, H63D Polymorphisms and the Risks of Non-Alcoholic Fatty Liver Disease, Liver Cirrhosis and Hepatocellular Carcinoma: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of 5,758 Cases and 14,741 Controls // PLoS One. 2016. T. 11. № 9. C. e0163423.

УДК 616-06

ПОКАЗАТЕЛИ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ У ПАЦИЕНТОВ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ

Е. А. Позднякова¹

Научный руководитель О. В. Смирнова^{1,2}

Доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой

¹ *Сибирский федеральный университет*

Сегодня метаболический синдром (МС) — это серьезная проблема общественного здравоохранения. МС является основным фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний, инсульта и диабета. Согласно всемирному заявлению международной федерации по диабету (IDF), глобальная распространенность МС составляет около 25% во всем мире [1], включает в себя абдоминальное ожирение, атерогенную дислипидемию, инсулинорезистентность, повышенное артериальное давление [2]. У пациентов с МС риск развития фибрилляции предсердий (ФП) повышается на 50-80%. ФП наиболее распространенная форма аритмии среди взрослого населения 2–4%, ожидается, что ее рост увеличится с 3,9 миллионов человек до 9 миллионов к 2050 году [3]. Пациенты с ФП подвержены высокому риску инсульта, тромбоэмболии и сердечной недостаточности. Появляются данные, что дислипидемия как один из компонентов МС может способствовать формированию аритмогенного субстрата в предсердиях и возникновению

ФП, через липотоксичность, которая приводит к нарушению кольцевого гомеостаза кардиомиоцитов с формированием триггерной активности предсердий и активации провоспалительных цитокинов (IL-6, TNF- α) с формированием хронического умеренного воспаления и окислительного стресса. Дислипидемия характеризуется тремя ключевыми факторами: высоким уровнем липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и ТГ, а также низким уровнем липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) [4].

Цель работы изучить показатели липидного обмена у больных ФП и МС.

Материалы и методы. Проанализирована 91 история болезни пациентов кардиологического отделения. Были выделены следующие группы пациентов: 1 группа (n-28) практически здоровые без МС и без ФП, 2 группа (n-20) с ФП без МС, 3 группа (n-30) с МС с ФП и 4 группа (n-30) МС без ФП. Обследуемые сопоставимы по полу 43 (48 %) мужчин и 48 (52%) женщин и возрасту, средней возраст 66 ± 2 лет и полу. МС диагностировался согласно критериям IDF (2005г.) наличии центрального ожирения (определяется как окружность талии ≥ 94 см для мужчин и ≥ 80 см для женщин) плюс любые два из следующих четырех компонентов: повышенный уровень ТГ $\geq 1,7$ ммоль/л, снижение уровня холестерина ЛПВП $< 1,3$ ммоль/л, повышенное артериальное давление АД $\geq 130/85$ мм рт. ст., повышенный уровень глюкозы в плазме натощак $\geq 5,6$ ммоль/л или ранее диагностированный диабет 2 типа. ФП диагностировалась по документально зарегистрированным данным 12-канальной электрокардиограммы (ЭКГ). Дислипидемия определялась согласно клиническим рекомендациям по нарушению липидного обмена МЗ РФ от 2023г, за отклонение от нормы принимали значения: общего холестерина (ОХ) $> 5,0$ ммоль/л, триглицеридов (ТГ) $> 1,7$ ммоль/л, холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП) $< 1,2$ ммоль/л, холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП) > 3 ммоль/л.

Результаты. Самые высокие показатели веса, ОТ, ИМТ были выявлены в группе больных с МС и группе больных с ФП и МС по сравнению со здоровыми пациентами и одиночной ФП (таблица).

Таблица

**Показатели липидного обмена и других метаболических изменений
у пациентов с МС и ФП**

П а р а м	Группа контроля n	ФП без МС n ($\pm$)	МС с ФП n €	МС без ФП n €	Статистическая значимость, p
	Me	Me	Me	Me	

е т р ы	]	]	]	]	
В о з р а с т , л е т					$p > 0,05$
П о л , м у ж / ж е н					$p > 0,05$
В е с , к г	[]	[]	[]	[]	p $p_{1,4} < 0,001,$, $p_{2,4} < 0,001,$ $p_{3,4} = 0,194$,
О Т	[]	[]	[]	[]	p $p_{1,4} < 0,001,$, $p_{2,4} < 0,001,$ $p_{3,4} = 0,244$
И М Т , к г / м 2	[]	[]	[]	[]	p $p_{1,4} < 0,001,$ $p_{2,4} < 0,001,$ $p_{3,4} = 0,253$ < , p p_1

Общий ХС, ммоль / л	[]	[]	[]	[]	$p_{1,4}=0,037,$ $p_{2,4}<0,001,$ $p_{3,4}<0,001$ p_1 p_3 $<$
ТГ, ммоль / л	[]	[]	[]	[]	$p_{1,4}<0,001,$ $p_{2,4}<0,001,$ $p_{3,4}<0,001$ p_1 p_3 $<$
ХС ЛПНП, ммоль / л	[]	[]	[]	[]	$p_{1,4}<0,001,$ $p_{2,4}<0,001,$ $p_{3,4}<0,001$ p_1 p_3 $<$
ХС ЛПВП, ммоль / л	[]	[]	[]	[]	$p_{1,4}<0,001,$ $p_{2,4}<0,001,$ $p_{3,4}<0,001$ p_1 p_3 $<$

М О Л Ь / Л					
Г л ю к о з а , М М О Л Ь / Л	[]	[]	[]	[]	$p_{1,4} < 0,001,$ $p_{2,4} < 0,001,$ $p_{3,4} < 0,001$ p_1 $,$ 3 $<$
И н д е к с а т е р о г е н н о с т и	[]	[]	[]	[]	$p_{1,4} < 0,001,$ $p_{2,4} < 0,001,$ $p_{3,4} < 0,001$ 0 5 p_1 $,$ 3 $<$

Примечание: *разница достоверна при $p < 0, 05$ между подгруппами

Выявлено статистически значимое увеличение медианы ОХ, ТГ, ЛПНП у больных с МС без ФП, при одиночной ФП и при МС с ФП относительно контрольной группы. Обнаружено статистически значимое снижение медианы ЛПВП при одиночной ФП, при МС без ФП и МС с ФП относительно значений

контрольной группы. Выявлено статистически значимое увеличение медианы ОХ при МС с ФП относительно контрольной группы больных, группы больных с ФП без МС и группы МС без ФП. Выявлено статистически значимое увеличение медианы ТГ при МС с ФП относительно контрольной группы больных, группы больных с ФП без МС и группы с МС без ФП. Выявлено статистически значимое увеличение медианы ЛПНП при МС с ФП относительно контрольной группы больных, группы больных с ФП без МС и группы с МС без ФП. Выявлено статистически значимое снижение ЛПВП в группе больных с МС и ФП относительно контрольной группы и группы с ФП без МС. Самая высокая статистически значимая медиана индекса атерогенности выявлена в группе больных ФП с МС относительно всех групп больных.

В группе больных с ФП и МС выявлены наиболее значимые нарушения в показателях липидного обмена. Таким образом дислипидемия возможно имеет патофизиологическую связь между ФП и МС и играет роль в формировании аритмогенного субстрата в предсердиях. Поэтому необходимо дальнейшее изучение этой патофизиологической связи для оптимизации терапевтических стратегий в лечении и профилактики ФП.

Список литературы

1. Cumulative burden of metabolic syndrome and its components on the risk of atrial fibrillation: a nationwide population-based study / H. J. Ahn, K. Do. Han, E. K. Choi, [et al.] // *Cardiovasc Diabetol*. 2021. 20(1). doi:10.1186/S12933-021-01215-8.
2. Metabolic syndrome: a population-based study of prevalence and risk factors / Z. Jamali, F. Ayoobi, Z. Jalali, [et al.] // *Sci Rep*. 2024. 14(1):3987. doi:10.1038/S41598-024-54367-4.
3. Association between cardiovascular risk factors and atrial fibrillation / G. Wu, J. Wu, Q. Lu, Y. Cheng, W. Mei // *Front Cardiovasc Med*. 2023. 10:1110424. doi:10.3389/FCVM.2023.1110424/FULL.
4. Lipid Profile and Atrial Fibrillation: Is There Any Link / Q. Jiang, L. Yang, M.L. Chen, F. Hua, J.J. Li // *Rev Cardiovasc Med*. 2022. 23(8):272. doi:10.31083/J.RCM2308272.

УДК 616-092.18

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПРЕССИИ PAX6, CLAUDIN 5, CD31 И NESTIN В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ КРЫС С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛЬЮ СРПЖ

Т. В. Потапенко¹

Научный руководитель Н. А. Малиновская²

Доктор медицинских наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Депрессия – весьма сложное психическое расстройство, которое на сегодняшний день является серьезной проблемой для общества. Депрессия характеризует ангедонией, снижением концентрации, патологическим чувством вины или низкой самооценкой, нарушением сна, изменением аппетита или массы тела, а также ощущением сильной усталости [1], и зачастую сопровождается высочайшей патологией с различными психическими и соматическими расстройствами. На сегодняшний день для лечения депрессии используют традиционные антидепрессанты, но только 40% пациентов реагируют на терапию и входят в ремиссию. Вдобавок, антидепрессанты вызывают побочные эффекты, например, проблемы с желудочно-кишечным трактом.

Согласно оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), депрессию испытывают 3,8% населения, включая 5% взрослых (4% мужчин и 6% женщин) и 5,7% людей старше 60 лет. По всему миру депрессией страдают около 280 миллионов человек. Распространенность депрессии среди женщин в среднем на 50% выше, чем среди мужчин. Более 10% беременных и женщин, только что родивших, испытывают депрессию. Ежегодно более 700 тысяч человек заканчивают жизнь самоубийством.

Выделяют несколько причин развития депрессии [2; 3]:

1. Генетическая предрасположенность;
2. Нарушение обменных процессов в мозге;
3. Различные соматические заболевания;
4. Психотравмирующие ситуации.

Ангиогенез – непростой процесс создания кровеносных сосудов в органе или ткани. В результате данного процесса происходит преобразование первичной капиллярной сети. Ангиогенез в здоровом организме протекает с умеренной интенсивностью и активизируется исключительно при ликвидации воспалительных процессов и тромбов, регенерации повреждённых тканей, образовании рубца и аналогичных процессах восстановления, а также при росте и развитии организма [4].

совокупный процесс, который возникает с клеточной пролиферации, миграции, дифференцировки образованных клеток и заканчивается формированием функционирующего нейрона в нейронной сети. Нейрогенез особо активен в пренатальный период, так как выполняет важную функцию – наполнение головного мозга нервными клетками [5]. Взрослый нейрогенез происходит в гиппокампе и областях, примыкающих к латеральным желудочкам головного мозга.

Целью настоящего исследования является оценка особенностей экспрессии Pax6, Claudin 5, CD31 и Nestin в головном мозге крыс с экспериментальной моделью стресса раннего периода жизни.

Материалы и методы. Объект данного исследования – крысы линии Wistar молодого возраста (28 дней), подвергшиеся стрессу раннего периода жизни (экспериментальная модель депрессии). Моделирование СРПЖ было проведено с помощью регулярного отлучения крысят от матери в период со 2-го по 15-й день жизни по стандартному методу моделирования [6]. Перед забором материала (в возрасте P28) животных тестировали для оценки поведенческих особенностей. В ходе тестирования фиксировались различные элементы поведения животных, в том числе параметры горизонтальной двигательной активности животных. Крысы были протестированы в двух тестах: «Открытое поле» (изучение стрессогенности новизны) и «Приподнятый крестообразный лабиринт» (изучение переменной стрессогенности). Изначально животные тестировались в «Открытом поле», а уже после отдыха в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт». При помощи иммуногистохимического анализа (ИГХ) проводилось определение присутствия и местоположения определенных антигенов в тканях с использованием антител. Срезы помещались в 24-луночные планшеты для 3-кратных промывок Washing Solution по 500 мкл и инкубации с первичными (разведение 1:500) и вторичными (разведение 1:1000) антителами фирмы abcam по 200 мкл. Срезы были исследованы на уровень экспрессии четырех антигенов в области энторинальной коры (CD31, Claudin 5, Nestin и Pax6) при помощи флуоресцентного микроскопа ZOE Fluorescent Cell Imager (Bio-Rad, США). Статистический анализ проводился с использованием непараметрической статистики (тест Манна-Уитни, различия считали значимыми при $p \leq 0,05$), данные представлены в виде среднего и ошибки среднего.

Результаты. Таким образом, в результате тестирования в тестах «Открытое поле» и «Приподнятый крестообразный лабиринт» выявлено, что имеются статистически значимые различия между группами животных, что свидетельствует о следующих нейроповеденческих особенностях: тревожность в условиях переменной стрессогенности и тенденции к депрессия-подобному поведению (снижение двигательной активности, снижение комфортного поведения, что может являться «аналогом» ангедонии

при депрессии у человека) в условиях стрессогенности новизны, что может являться подтверждением развития у этих животных депрессии, наряду с другими признаками, обнаруженными у этих животных ранее в других исследованиях (отказ от принятия «новой» пищи, снижение исследовательского поведения).

При оценке экспрессии маркеров нейрогенеза Pax6 и Nestin обнаружено значимое увеличение процента Pax6-экспрессирующих и Nestin-экспрессирующих клеток в энторинальной коре (Pax6 – $p = 0,01$, Nestin – $p = 0,07$) у модельных животных, в сравнении с контрольными. Полученные результаты могут свидетельствовать о нарушении процесса нейрогенеза на ранних и более поздних этапах его развития [7].

У крыс с экспериментальной моделью стресса раннего периода жизни значимо снижена экспрессия маркера Claudin 5 ($p=0,00001$), что может указывать на ингибирование Claudin 5 (например, повышенным содержанием эндостатина) [8].

Список литературы

1. Adolescent and adult differences in major depression symptom profiles / F. Rice, L. Riglin, T. Lomax, E. Souter, [et al.] // Journal Affect Disord. 2019. № 243. P. 175-181.
2. Modeling treatment-resistant depression / B.A. Samuels, E.D. Leonardo, R. Gadiant, [et al.] // Neuropharmacology. 2011. Vol. 61. № 3. P. 408-413.
3. Malhi G.S., Mann J.J. Depression // Lancet. 018. Vol. 392. № 10161. P. 2299-2312.
4. Kreuger J., Phillipson M. Targeting vascular and leukocyte communication in angiogenesis, inflammation and fibrosis // Nature Reviews Drug Discovery. 2016. № 15(2). P. 125-142.
5. Ming G.L., Song H. Adult neurogenesis in the mammalian brain: significant answers and significant questions // Neuron. 2011. Vol. 70. № 4. P. 687-702.
6. Особенности развития неврологической дисфункции после перинатальной гипоксии головного мозга и стресса раннего периода жизни у экспериментальных животных / Ю. А. Успенская, Н. А. Малиновская, В. В. Волкова [и др.] // Сибирское медицинское обозрение. 2015. Т. 95. № 595. С. 49-54.
7. Newton S.S., Duman R.S. Regulation of neurogenesis and angiogenesis in depression // Curr Neurovasc Res. 2004. Vol. 1. № 3. P. 261-267.
8. Angiogenesis inhibition and depression in older men / O.P. Almeida, A.H. Ford, L. Flicker, G.J. Hankey, [et al.] // Journal Psychiatry Neuroscience. 2014. Vol. 39. № 3. P. 200-205.

УДК 57.576.54

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЛУТАТИОНОВОЙ СИСТЕМЫ В ЭРИТРОЦИТАХ БОЛЬНЫХ СТЕАТОЗОМ И СТЕАТОГЕПАТИТОМ

А. А. Ремизова¹

Научный руководитель О. В. Смирнова^{1,2}

Доктор медицинских наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) – это распространенное хроническое заболевание печени, проявляющееся в избыточном накоплении жира в печени при отсутствии хронической вирусной инфекции и злоупотребления алкоголем. НАЖБП начинается с начальной стадии жировой дистрофии печени - стеатоза (НАС). Прогрессирование стеатоза в цирроз печени в результате воспаления и фиброза приводит к необратимому повреждению печени - неалкогольному стеатогепатиту (НАСГ) [1]. Как правило, НАЖБП ассоциируется с метаболическим синдромом, включая ожирение, липидные нарушения и инсулинорезистентность [2].

НАЖБП достигла масштабов пандемии и является приоритетом общественного здравоохранения. Глобальная распространенность среди населения в целом составляет приблизительно 20-30%, что увеличивается до 70-90% среди лиц, страдающих ожирением или диабетом. По оценке Всемирного общества гастроэнтерологов стеатоз встречается до 35% во всём мире, а стеатогепатит поражает 10–20% всех людей [3]. Известно, что нарушение регуляции процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) играет важную роль в патогенезе НАЖБП. Избыточное образование продуктов ПОЛ является одним из факторов прогрессирования НАСГ.

Антиоксидантная система защищает ткани печени от разрушительного воздействия активных форм кислорода и продуктов перекисного окисления липидов. Для эритроцитов ключевыми антиоксидантами является система глутатиона. Глутатионовая система включает в себя восстановленный глутатион (GSH) и ферменты его метаболизма: глутатионпероксидазу (GPO), глутатион-S-трансферазу (GST) и глутатионредуктазу [4, 5].

Целью работы являлась оценка показателей глутатионовой системы в эритроцитах (восстановленного глутатиона, глутатионпероксидазы и глутатион-S-трансферазы) у больных с неалкогольной жировой болезнью печени в зависимости от клинической формы – стеатоза и стеатогепатита.

Материалом для исследования служили эритроциты, полученные из крови пациентов с НАЖБП и контрольной группы условно здоровых людей. Было обследовано 60 пациентов в возрасте от 35 до 49 лет ($41,3 \pm 1,9$ лет) с неалкогольной жировой болезнью печени, разделенных на 2 группы в зависимости от клинической формы. Контрольная группа была сформирована из 30 практически здоровых доноров крови, проходящих плановую диспансеризацию в НИИ МПС ФИЦ КНЦ СО РАН.

В ходе работы оценивалось содержание восстановленного глутатиона (GSH), активность глутатионпероксидазы (GPO) и глутатион-S-трансферазы (GST) в эритроцитах, а также содержание малонового диальдегида (МДА) – вторичного продукта процесса ПОЛ. Для оценки показателей антиоксидантной защиты и продуктов ПОЛ были использованы спектрофотометрические методы (спектрофотометр Genesys 10vis). Полученные данные подверглись статистической обработке с использованием пакета программ STATISTICA 10. Описание выборки производили с помощью подсчета медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей ($C_{25}-C_{75}$). Достоверность различий между показателями независимых выборок оценивали по непараметрическому критерию Манна – Уитни. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался равным $p < 0,05$ [6].

В ходе исследования были получены данные, приведенные в таблице.

Показатели содержания малонового диальдегида (MDA), восстановленного глутатиона (GSH), активности глутатионпероксидазы (GPO) и глутатион-S-трансферазы (GST) у пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени в зависимости от клинической формы относительно контрольной группы

Показатели	Контроль, N=30		Ст еа то з, N= 30	Ст еа то г е па ти т, N= 30
	Me	$C_{25}-C_{75}$	Me C 25 - C 75	Me C 25 - C 75

MDA, нмоль/ 1 г Hb	11,47		2,33,37	1,38,74	1,47-19
$p_{1-2} < 0,05, p_{1-3} < 0,05, p_{2-3} = 0,7449$					
GSH, мкмоль/ 1 г Hb	4,44	2,15-5,93	1,02,73,6	1,02,12,36	0,99-1,46
$p_{1-2} < 0,05, p_{1-3} < 0,05, p_{2-3} = 0,0606$					
GPO, мкмоль/ 1 г Hb		4,45-14,02	0,14	0,04-0,2	0,04-0,3
$p_{1-2} < 0,05, p_{1-3} < 0,05, p_{2-3} = 0,0843$					
G S T ммоль/мин на 1 г Hb	4,42	2,77-5,75	5,08,09	3,58,14,8	2,41-0,84
$p_{1-2} < 0,05, p_{1-3} = 0,4033, p_{2-3} = 0,1085$					

Обнаруживается снижение медианы содержания восстановленного глутатиона (GSH) при стеатозе в 2,6 раз, при стеатогепатите в 2,1 раза относительно медианы показателя в контрольной группе. Выявлено

значительное уменьшение медианы активности глутатионпероксидазы (GPO) в 52 раза при стеатозе и в 33 раза при стеатогепатите относительно медианы показателя группы здоровых людей. Также отмечалось увеличение медианы активности глутатион-S-трансферазы (GST) при стеатозе в 1,2 раза, при стеатогепатите снижение медианы в 1,5 раза относительно медианы показателя в контрольной группе.

Коэффициент окислительного стресса (КОС) отражает отношение прооксидантов к антиоксидантам в эритроцитах и в норме стремится к 1. КОС при стеатозе равен 246, при стеатогепатите – 257.

Таким образом, при стеатозе и стеатогепатите общими механизмами в работе глутатионового звена является значительное уменьшение содержания восстановленного глутатиона и активности глутатионпероксидазы. Однако важное отличие наблюдается в повышенном значении активности глутатион-S-трансферазы при стеатозе относительно и группы контроля, и группы больных стеатогепатитом. При стеатогепатите же отмечается самое низкое значение активности глутатион-S-трансферазы.

У больных со стеатозом отмечаются разнонаправленные изменения в системе «ПОЛ-АОЗ» в эритроцитах: выявлено статистически значимое снижение уровня МДА в сравнении с контролем, при этом наблюдается достоверное снижение содержания восстановленного глутатиона и активности глутатионпероксидазы и повышение уровня глутатион-S-трансферазы.

При стеатогепатите отмечается однонаправленное снижение исследуемых показателей глутатионового звена. Окислительный стресс играет важную роль в патогенезе стеатоза и стеатогепатита. Снижение активности глутатион-S-трансферазы является диагностическим маркером при стеатогепатите.

Список литературы

1. Лазебник Л. Б., Голованова Е. В., Туркина С. В. Неалкогольная жировая болезнь печени у взрослых: клиника, диагностика, лечение. Рекомендации для терапевтов, третья версия // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2021. №185. С. 4–52.
2. Bashir A., Duseja A., Tiwari P., De A., Mehta M. Non-alcoholic fatty liver disease development: A multifactorial pathogenic phenomena // Liver Research. 2022. Vol. 6. Iss. 2. P. 72-83.
3. LaBrecque D. R., Abbas Z., Anania F. World Gastroenterology Organisation global guidelines: Nonalcoholic fatty liver disease and nonalcoholic steatohepatitis // World Gastroenterology Organisation. 2014. Vol. 48. Iss. 6. P. 467–473.
4. Кравченко С. Д., Козлова Н. М., Тирикова О. В. Антиоксиданты как потенциальные биомаркеры стадий неалкогольной жировой болезни печени // Байкальский медицинский журнал. 2023. Т. 2. № 4. С. 24-32.
5. Калинина Е. В., Чернов Н. Н., Новичкова М. Д. Роль глутатиона,

глутатионтрансферазы и глутаредоксина в регуляции редокс-зависимых процессов // Биохимия (Москва). 2014 г. № 79. С. 1562-1583.

6. Смирнова О. В., Титова Н. М., Манчук В. Т. Особенности клеточного звена иммунитета у больных механической желтухой доброкачественного генеза в зависимости от уровня билирубина // Фундаментальные исследования. 2015. № 2. С. 2174-2179.

УДК 617.3

АППАРАТЫ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ

А. С. Стуколкин¹

Научный руководитель Ю. О. Уразбахтина¹

Кандидат технических наук, доцент

¹*Уфимский университет науки и технологий*

В настоящее время в мире насчитывается около 17 миллионов человек с диагнозом детский церебральный паралич (ДЦП). В России это значение составляет примерно 85 тысяч человек. Люди с данным заболеванием плохо передвигаются. Также у них плохо развита мелкая моторика и могут наблюдаться дефекты речи. Для приобретения ими двигательных и прочих навыков, лечения и реабилитации используется множество различных аппаратов и устройств. Поэтому целью данной статьи является рассмотрение существующих на рынке аппаратов для лечения ДЦП у детей.

На рисунке 1 представлено медицинское роботизированное изделие имитации шага «Орторент».



Рисунок 1. Медицинское роботизированное изделие имитации шага «Орторент»

Данный аппарат применяется в лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ). Он применяется как для лечения детей с ДЦП, так и для реабилитации других пациентов после травм и операций. Помимо этого аппарат можно эксплуатировать и в домашних условиях. Принцип действия данного медицинского изделия следующий. Пациент фиксируется в вертикальном положении при помощи пояса и ремней, ноги при этом также фиксируются на рельсовых системах подъема и перемещения («педалях») аппарата. В зависимости от выбранного режима работы «педали» вместе с ногами пациента начинают двигаться в определенном ритме. При этом также можно измерять частоту сердечных сокращений (ЧСС) пациента и снимать электрокардиограмму (ЭКГ). Конструкция аппарата позволяет обезопасить пациента от травм и падений во время реабилитации. Помимо этого снижается нагрузка на ноги и позвоночник человека. Благодаря данному медицинскому аппарату дети с ДЦП, а также дети после тяжелых травм или операций, могут начать ходить самостоятельно [1].

На рисунке 2 изображен детский вертикализатор «С1».



Рисунок 2. Детский вертикализатор с интеллектуальной системой тренировки с биологической обратной связью, с механотерапией нижних конечностей «С1»

Пациент при помощи данного аппарата (рисунок 2) приобретает навык ранней вертикализации, т.е. нахождения человека в вертикальном положении по отношению к поверхности. Вертикализатор при помощи встроенного шагового устройства способен воспроизводить физиологичные движения ног при вертикальном положении пациента, что способствует его лечению и реабилитации. В этом аппарате есть возможность подобрать индивидуальный режим для тренировки. Можно настроить угол ходьбы (от 0 до 25 градусов), а также скорость (от 1 до 80 шагов в минуту). Вертикализатор регулирует голеностопный сустав ребенка, что способствует улучшению ходьбы пациента. При помощи нагрузки от подножки вертикализатора стимулируется проприоцепция и мозг получает возможность контролировать ноги. Аппарат имеет функцию спазм-контроль. Благодаря этой функции ребенок не будет страдать от спазма мышц. В случае возникновения спазма тренировка закончится. Помимо этого, для предотвращения непредвиденных ситуаций вертикализатор оснащен кнопкой экстренной остановки [2].

Также в настоящее время для лечения детей с ДЦП применяются экзоскелеты. На рисунке 3 представлен экзоскелет «Remotion».



Рисунок 3. Детский вертикализатор с интеллектуальной системой тренировки с биологической обратной связью, с механотерапией нижних конечностей «С1»

Аппарат представляет собой модульный экзоскелет. Наличие или отсутствие каждого модуля может быть обусловлено физиологическими особенностями пациента и целей реабилитации. Благодаря этому повышается эффективность лечения. Помимо лечения ДЦП данный экзоскелет применяют для реабилитации с другими заболеваниями опорно-двигательной системы. Помимо реабилитационного воздействия на пациента при помощи данного аппарата можно проводить электромиографию (ЭМГ) и функциональную электростимуляцию (ФЭС) мышц в процессе тренировок. При помощи метода ЭМГ отслеживаются функциональные возможности мышц и нервов. Исходя из этих показаний врач делает выводы об эффективности программы реабилитации и при необходимости может скорректировать ее. При помощи ФЭС улучшаются физиологические навыки ребенка и сокращаются сроки восстановления координаторно-двигательных нарушений. К аппарату можно подсоединить пять четырехканальных блоков ФЭС с частотой сигнала от 50 до 150 Гц. Для каждого канала в зависимости от индивидуальных паттернов движения этот показатель настраивается вручную [3].

Помимо приведенных в статье аппаратов существует и много других. Благодаря данным медицинским изделиям люди с ДЦП испытывают меньше проблем при передвижении, а также имеют возможность приобрести различные навыки в процессе лечения. Также эти устройства способствуют обучению пациентов стоять, вставать и садиться без помощи других людей. Данная область медицинской техники развивается в сторону автоматизации и роботизации.

Список литературы

1. SCHOOL STORE, 2024: Медицинское роботизированное (кинематическое) изделие имитации шага «Ортомент» модель детская, 2024 [Электронный ресурс]. URL: https://school-store.ru/catalog/dostupnaya-sreda/reabilitatsionnoe-oborudovanie/dlya-detey-s-ovz/meditsinskoe-robotizirovannoe-kinematicheskoe-izdelie-imitatsii-shaga-ortoment-model-detskaya/?roistat=direct11_search_12902449665_---autotargeting&roistat_referrer=none&roistat_pos=premium_3&yclid=6645446615129653247 [дата обращения: 20.03.2025].
2. REAMED, 2023: Вертикализатор, интеллектуальная система тренировки с биологической обратной связью, с механотерапией нижних конечностей детская С1, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://reamed.ru/catalog/product/sistema-trenirovki-dlya-nizhnikh-konechnostey-s1/> [дата обращения: 21.03.2025].
3. REAMED, 2023: Роботизированный экзоскелет для реабилитации детей со встроенной системой ФЭС и ЭМГ, 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://reamed.ru/catalog/product/robotizirovannyy-ekzoskelet-dlya-reabilitatsii-detey-remotion-d/> [дата обращения: 21.03.2025].

УДК 577.12

ОЦЕНКА УРОВНЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА В ЭРИТРОЦИТАХ БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ

Н. П. Третьякова¹

Научный руководитель Н. М. Титова¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Рак мочевого пузыря (РМП) – это злокачественное образование, поражающее уротелий мочевого пузыря. РМП входит в десятку наиболее распространенных видов рака во всем мире, вызывает значительную заболеваемость и смертность и, следовательно, является важной социальной проблемой для систем здравоохранения. Рак мочевого пузыря обычно классифицируется либо как мышечно-инвазивный рак мочевого пузыря, который распространяется в детрузорную мышцу или через нее, либо как немышечно-инвазивный рак мочевого пузыря, который ограничивается слизистой оболочкой или подслизистой соединительной тканью, на долю

которых приходится примерно 25% и 75% пациентов с впервые диагностированным раком мочевого пузыря соответственно [1].

Информация о патогенезе РМП все еще неполная, и в некоторых научных исследованиях указывается на участие активных форм кислорода и вызванного ими окислительного стресса в формировании, развитии и прогрессировании этого онкозаболевания [2]. При окислительном стрессе происходит избыточное образование активных форм кислорода, что может быть опасно для жизнедеятельности клеток. В результате этого процесса нуклеиновые кислоты и белки могут подвергаться окислительной модификации, что в свою очередь приводит к потере их биологической активности. Чрезмерное воздействие свободных радикалов на липидные компоненты клеточных мембран может запускать неконтролируемое перекисное окисление липидов, что влечёт за собой повреждение мембран клеток, а в случае сильного окислительного стресса может происходить и к гибели клеток [3].

В норме процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) влияют на обновления фосфолипидов и регуляции проницаемости клеточных мембран для ионов; благодаря процессу ПОЛ липидный состав клеточных мембран постоянно обновляется. Однако, когда количество свободных радикалов значительно увеличивается, начинается каскад реакций, и свободные радикалы атакуют липиды, содержащие углерод-углеродные двойные связи, которые включают выделение водорода из углерода с введением кислорода, что приводит к образованию реактивных продуктов, – диеновых конъюгатов (ДК) и их карбонильных конечных продуктов, малонового диальдегида (МДА) [4].

В клетках процесс ПОЛ регулируется многоуровневой антиоксидантной системой (АОС), включающей ферменты и низкомолекулярные антиоксиданты. Важнейшие ферменты АОС – супероксиддисмутаза (СОД), осуществляющая диспропорционирование супероксидного анион-радикала до молекулярного кислорода и H_2O_2 , и каталаза (КАТ) расщепляющая H_2O_2 до воды и кислорода [5].

Цель данной работы – оценить уровень окислительного стресса в эритроцитах больных раком мочевого пузыря по соотношению продуктов перекисного окисления липидов и активности супероксиддисмутазы и каталазы.

Объектом исследования служили эритроциты, полученные из крови пациентов с раком мочевого пузыря до и после трансуретральной резекции опухоли мочевого пузыря (3–4-ые сутки), поступивших в стационар Красноярского краевого клинического онкологического диспансера имени А. И. Крыжановского, и группы сравнения, в которую входили условно здоровые люди. Трансуретральная резекция — малоинвазивное хирургическое вмешательство, во время которого опухоль в мочевом пузыре удаляют через мочеиспускательный канал. Содержание ДК и МДА, а также активность СОД и КАТ определяли спектрофотометрическим методом. Обработку полученных

экспериментальных данных проводили с помощью Microsoft Office Excel 2019. Достоверность различий между выборками оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

Для определения продуктов перекисного окисления липидов и ферментов антиоксидантов использовались эритроциты 33 пациентов мужчин с раком мочевого пузыря до и после операции, и 27 условно здоровых людей. Возраст пациентов варьировался от 39 до 83 лет, а средний возраст составил $61,3 \pm 2,7$ лет. Полученные в результате проведенных исследований данные приведены в таблице.

Таблица

Активность супероксиддисмутазы, каталазы, содержание диеновых конъюгатов и малонового диальдегида в эритроцитах здоровых людей и больных раком мочевого пузыря

Исследуемые показатели	Группа сравнения, n = 27	До операции, n=33	После операции, n=33
СОД, усл.ед/мин*г Нб,	3187 ± 640	$4709 \pm 195^*$	$4692 \pm 214^*$
КАТ, нмоль/мин*гНб,	495 ± 40	$208 \pm 6^*$	$228 \pm 7^*$
ДК, ммоль/гНб	$30,74 \pm 1,87$	$64,33 \pm 4,87^*$	$62,39 \pm 3,91^*$
МДА, мкмоль/гНб	$14,19 \pm 2,66$	$46,59 \pm 2,68^*$	$54,03 \pm 3,45^{* \#}$

Примечание: достоверно по отношению к контролю – * $p < 0,05$

Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о том, что у пациентов до и после оперативного вмешательства наблюдается превалирование оксидативных процессов над антиоксидантной защитой организма. Об этом свидетельствуют полученные данные увеличения содержания как первичных, так и вторичных продуктов перекисного окисления липидов. У пациентов до и после операции активность супероксиддисмутазы достоверно повышена, активность же каталазы достоверно снижена, относительно группы сравнения.

Повышение активности супероксиддисмутазы в эритроцитах пациентов с раком мочевого пузыря свидетельствует об интенсивной выработке супероксид-анион радикала и накоплению его в клетке. Снижение активности каталазы может быть обусловлено несколькими причинами: окислительной модификацией активными формами кислорода значимых аминокислотных остатков в области активного центра фермента и/или изменение валентности железа в простатических группах каталазы приводящий к нарушению каталитического механизма действия фермента. Нельзя исключать модификацию белковой молекулы малоновым диальдегидом, известно, что это реакционноспособное соединение может реагировать с аминоклуппами белков, что в свою очередь может приводить к изменению конформации белка, и как следствие к снижению ферментативной активности и/или нарушению

связывания фермента с субстратом. Также может происходить и субстратное ингибирование каталазы большими концентрациями перекиси водорода.

Для определения уровня окислительного стресса был рассчитан коэффициент окислительного стресса (КОС) – это отношение всех прооксидантов к антиоксидантам. При балансе между про и антиоксидантной системами КОС равен 1. Рассчитанный КОС показал превышение нормы в 11 раз, что является косвенным подтверждением развития окислительного стресса на фоне недостаточно эффективной работы антиоксидантной системы.

Список литературы

1. Epidemiology of Bladder Cancer / K. Saginala, A. Barsouk, J. S. Aluru, R. Prashanth, S. A. Padala, A. Barsouk // Med Sci (Basel). 2020. P.13-15. doi: 10.3390/medsci8010015.
2. Ramesh J.M, Nair T.R. Bladder Cancer // Surgery. 2019. Vol.37. P.529-537. doi: 10.1016/j.mpsur.2019.07.003.
3. Isoliquiritigenin Ameliorates Acute Pancreatitis in Mice via Inhibition of Oxidative Stress and Modulation of the Nrf2/HO-1 Pathway / X. Liu, Q. Zhu, Z. Min, T. Yin, [et al.] // Oxid Med Cell Longev. 2018. P.12. doi: 10.1155/2018/7161592.
4. Reactive Oxygen Species-Induced Lipid Peroxidation in Apoptosis, Autophagy, and Ferroptosis / Su L.J., Zhang J.H., Gomez H., Murugan R., [et al.] // Oxid Med Cell Longev. 2019. P.13. doi: 10.1155/2019/5080843.
5. The structural biochemistry of the superoxide dismutases / J. J. P. Perry, D.S. Shin, E.D. Getzoff, J.A. Tainer // Biochim Biophys Acta. 2010. V.1804, № 245. P.62. doi: 10.1016 /j. bbapap.2009.11.004.

УДК 57.05

КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ РОЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ С-РЕАКТИВНОГО БЕЛКА

А. В. Харкавина¹

Научный руководитель Ф. А. Гершковрон¹

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

С-реактивный белок (СРБ) – эволюционно древний, высококонсервативный белок семейства пентраксинов. Представители семейства пентраксинов имеют особенность – каждый из них имеет специфический участок с центром связывания ионов кальция. В присутствии кальция СРБ связывается с лигандами (фосфохолин, ФХ). Другой участок

отвечает за связывание рецепторов и C1q комплемента. После связывания с ФХ СРБ претерпевает конформационные изменения, что приводит к активации системы комплемента по классическому пути [1].

С-реактивный белок в крови выявляется в двух формах. Нативная форма представляет собой пентамерную форму СРБ, другая форма состоит из свободных мономеров и имеет антигенные детерминанты, отличные от тех, что имеются у нативного СРБ. Мономерный СРБ (мСРБ) был обнаружен на поверхности человеческих периферийных лимфоцитов крови, на поверхности киллерных клеток, на В клетках и др. Считается, что для индукции противовоспалительного процесса, а также для развития коронарных заболеваний за счет активации эндотелиальных клеток, необходим переход пентамерной формы СРБ в мономерную [2, 3].

СРБ – основной белок острой фазы воспаления, однако, он также проявляет множество свойств, характерных для иммуноглобулинов. СРБ секретируется в ответ на сигнализацию цитокинов в местах повреждения тканей или инфекции, активирует высвобождение цитокинов моноцитами, стимулирует миграцию нейтрофилов, хемотаксис и фагоцитоз [2,4].

Измерение концентрации С-реактивного белка в крови пациента широко применяется не только для диагностики острого воспалительного процесса в организме, а также для диагностики хронического воспалительного процесса и мониторинга развития заболевания и качества оказываемой терапии.

С момента начала определения концентрации СРБ в крови в 1940-х годах, классическими методами являются радиальная иммунодиффузия, иммунотурбидиметрия и нефелометрия. Тем не менее, количественный метод позволяет определить показатель СРБ в диапазоне 5-500 мг/л и более. Ранее считалось, что концентрация менее 5 мг/л является показателем отсутствия воспалительного процесса. Тем не менее развитие нового высокочувствительного СРБ, основанного на иммобилизации антител на частицах латекса, показало, что уровень СРБ от 0,05 до 5 мг/л является показателем здорового человека [1,5].

Таблица 1

Уровни С-реактивного белка при различных воспалительных процессах

Воспалительный процесс	Уровень СРБ
Бактериальная инфекция	100мг/л и более
Сепсис у новорожденных	>12 мг/л
Вирусная инфекция	<20 мг/л
Менингит у детей	>20 мг/л
Нейропения	>10 мг/л
Сопутствующие бактериальные инфекции	>100 мг/л
Острый воспалительный процесс	>300 мг/л
Вялотекущие хронические воспалительные заболевания	До 40 мг/л
Обострение хронических заболеваний	От 40 до 200 мг/л
Хроническое неинфекционное воспаление при хронических неинфекционных заболеваниях	Не более 20 мг/л

Множество проведенных перспективных исследований выявило, что hsСРБ является не только показателем воспалительного процесса в организме, но и предиктором множества заболеваний, в основном сердечно-сосудистой системы [3, 6]. Многочисленными исследованиями убедительно показано, что вялотекущее воспаление, которое обнаруживают по повышению уровня СРБ, связано с начальными стадиями развития атеросклероза и прогнозирует риск развития острого инфаркта миокарда, церебрального инсульта, внезапной смерти у лиц, не страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями [6]. Взаимосвязь между концентрацией высокочувствительного

С-реактивного белка и риска развития сердечно-сосудистых осложнений указаны в таблице 2.

Таблица 2

Взаимосвязь концентрации hsСРБ и риска развития сердечно-сосудистых осложнений

Концентрация hsСРБ, мг/л	Степень риска сердечно-сосудистых осложнений

	ен ий
< 1	Ни зкий
1-3	Ср ед ний
>	Вы сокий

Повышение базового уровня hsCRP может наблюдаться при диабете, уремии, гипертонии, при повышенной физической нагрузке, при низкой физической активности, нарушениях сна, хронической усталости, при употреблении алкоголя, депрессии, приеме оральных гормональных контрацептивов, заместительной гормональной терапии, третьем триместре беременности, старении. Большое количество исследований убедительно доказывают связь повышенных концентраций С-реактивного белка и рисков развития сосудистых осложнений при широком спектре заболеваний [3,7,8].

Одним из фактором развития атеросклероза, приводящего к сердечно-сосудистым осложнениям, которые лидируют по распространенности среди заболеваний считается повышенный уровень CRP в крови. Таким образом, множество проведенных исследований доказывают роль повышенной концентрации С-реактивного белка в развитии большого спектра различных заболеваний, что свидетельствуют о необходимости введения рутинного определения уровня CRP в крови в клиническую практику. Данные этих исследований подтверждают многофункциональность CRP, не только как одного из важнейших белков фазы острого воспалительного процесса, но и как предиктора сердечно-сосудистых осложнений и фактора повышенного риска развития этих осложнений.

Список литературы

1. С-реактивный белок: патогенетические свойства и возможная терапевтическая мишень / Е. А. Уткина, О. И. Афанасьева, С.Н. Покровский // Российский кардиологический журнал. 2021. 26(6). С. 4138. doi:10.15829/1560-4071-2021-4138.
2. Вельков В. В. С-Реактивный белок в лабораторной диагностике острых воспалений и в оценке рисков сосудистых патологий // Клинико-лабораторный консилиум. Научно-практический журнал. 2008. №2(21). С.37-48.
3. How C-reactive protein structural isoforms with distinctive bioactivities affect disease progression. / I.M. Rajab, P.C. Hart, L.A. Potempa // Front. Immunol. 2020.

№11. P.2126. doi: 10.3389/fimmu.2020.02126.

4. A biofunctional review of C-reactive protein (CRP) as a mediator of inflammatory and immune responses: differentiating pentameric and modified CRP isoform effects. / H.R. Albanna, A. Gjoni, G.D. Hall, P.C. Hart, [et al.] // Front. Immunol. 2023. №14. P.1264383. doi: 10.3389/fimmu.2023.1264383.

5. A proatherogenic role for C-reactive protein in vivo / A. Paul, E.T. Yeh, L. Chan // Curr Opin Lipidol. 2005. №16(5). P.512-7. doi: 10.1097/01.mol.0000180164.70077.a7.

6. Панащенко В. Н., Гирин С. В. Диагностическая роль С-реактивного белка в современной клинической практике // Биологическая терапия. 2010. №1.

7. Гусев, Е. Ю. С-реактивный белок: патогенетическое и диагностическое значение // Уральский медицинский журнал. 2014. Т. 115, № 1. С. 113-121.

8. Значение уровня С-реактивного белка в генезе осложнений у плановых кардиохирургических больных с ибс / И. В. Давыдов, И. А. Андриевских, Е.Н. Шопова // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 3.

9. Алексеева, Е. Г. Содержание С-реактивного белка у больных ишемической болезнью сердца с сопутствующим сахарным // Атеросклероз. 2023. Т. 19, № 3. С. 264-265. doi: 10.52727/2078-256X-2023-19-3-264-265.

УДК 57.576.54

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАЛОНОВОГО ДИАЛЬДЕГИДА И ГЛУТАТИОНОВОЙ СИСТЕМЫ В ПЛАЗМЕ КРОВИ ЛИЦ С ОЖИРЕНИЕМ И ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ

А. В. Чурбанова¹

Научный руководитель О. В. Смирнова^{1,2}

Доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой

¹*Сибирский федеральный университет*

Фибрилляция предсердий (ФП) – одно из самых распространенных нарушений ритма сердца у человека, характеризующееся хаотичным сокращением отдельных групп мышечных волокон предсердий с частотой 350–700 в минуту, исключающей возможность их координированного сокращения. Осложнения заболевания связаны с увеличением риска инсульта, инфаркта миокарда и тромбоэмболии легочных артерий [1]. В настоящее время фибрилляцией предсердий страдают более 60 млн. человек во всем мире.

Имеется предположение, что риск развития фибрилляции предсердий возрастает у лиц с ожирением, с ИМТ более 30 кг/м². Известно, что пандемия

висцерального ожирения является глобальной проблемой XXI века, которая охватывает от 5 до 45% людей в популяции и ассоциирована с риском развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, заболеваний опорно-двигательного аппарата и таких тяжелых осложнений, как метаболический синдром, неалкогольная жировая болезнь печени и т.д. Все это определяет актуальность изучения данной темы [2].

Немаловажную роль в развитии фибрилляции предсердий и висцерального ожирения играет окислительный стресс (ОС). Активные формы кислорода (АФК) способствуют активации воспалительных маркеров и стимуляции профибротических агентов [1, 3]. Нарушается устойчивый баланс между прооксидантами и компонентами системы антиоксидантной защиты, что приводит к развитию окислительного стресса. АФК, также реагируя с неэтерифицированными жирными кислотами, запускают процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) [4]. Усиление реакций ПОЛ приводит к поражению мембран и ферментативных систем, выступая в качестве пускового фактора генетически детерминированных изменений. Установлено, что активизация свободнорадикальных процессов в клетках и тканях внутренних органов вызывает усиление образования в них эндогенных альдегидов, в частности малонового диальдегида (МДА).

Целью работы является оценка показателей малонового диальдегида и глутатионовой системы в плазме крови у больных с ожирением и ФП.

Материалом для исследования служила плазма, полученная из крови контрольной группы условно здоровых людей, пациентов с ожирением и пациентов ожирением и фибрилляцией предсердий. Объектом исследования были 14 пациентов с ожирением и 14 пациентов с ожирением и фибрилляцией предсердий в возрасте от 35 до 69 лет. Контрольная группа была сформирована из 25 условно здоровых доноров крови, проходящих плановую диспансеризацию в НИИ МПС ФИЦ КНЦ СО РАН.

В ходе работы оценивалось содержание в плазме крови малонового диальдегида (MDA) и активность ферментов глутатион-S-трансферазы (GST), глутатионпероксидазы (GPO). Для оценки показателей системы перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты (ПОЛ-АОЗ) использовался спектрофотометрический метод (спектрофотометр Genesys 10vis).

Полученные данные статистически обрабатывались с помощью программы STATISTICA 10. Для описания выборки были рассчитаны медиана (Me) и интерквартильный размах в виде 25 и 75 перцентилей (C_{25} – C_{75}). Среди методов непараметрической статистики для несвязанных совокупностей использовался непараметрический критерий Манна – Уитни, для связанных переменных – критерий Вилкоксона. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался равным $p < 0,05$ [5].

Таблица

Показатели системы ПОЛ-АОЗ у пациентов с ожирением и у пациентов с ожирением и фибрилляцией предсердий относительно контрольной группы

Показатели	Контроль, N=14		Ожирение, N=14		Ожирение и фибрилляция предсердий, N=14	
	Me	C ₂₅ -C ₇₅	Me	C ₂₅ -C ₇₅	Me	C ₂₅ -C ₇₅
MDA, нмоль/1 г Hb	1,53	1,03-3,42	1,34	0,61-1,78	1,57	0,97-2,04
	$p_{1-2} = 0,3401, p_{1-3} = 0,691, p_{2-3} = 0,5076$					
GST, ммоль/мин на 1 г Hb	0,01	0,01-0,01	0,03	0,02-0,04	0,03	0,03-0,03
	$p_{1-2} < 0,05, p_{1-3} < 0,05, p_{2-3} = 1$					
GPO, мкмоль/1 г Hb	0,78	0,12-1,04	1,06	0,55-15,26	8,88	6,76-12,38
	$P_{1-2} = 0,4527, p_{1-3} < 0,05, p_{2-3} = 0,3401$					

Обнаруживается увеличение медианы содержания GST при ожирении и ожирении и ФП в 3 раза относительно медианы контрольной группы. Также наблюдается увеличение медианы GPO при ожирении и ФП в 11,38 раз относительно контрольной группы.

Таким образом, при ожирении и ожирении с ФП отмечалось увеличение активности фермента глутатион-S-трансферазы относительно контрольной группы. Особенностью ожирения с ФП было многократное увеличение активности фермента глутатионпероксидазы относительно контрольной группы и больных с ожирением.

Список литературы

1. Эпикардиальный жир и фибрилляция предсердий: роль профиброгенных медиаторов / Е. З. Голухова, О. И. Громова, Н. И. Булаева [и др.] // Кардиология. 2018. №58. С. 58-64.
2. Метаболические маркеры и окислительный стресс в патогенезе ожирения у детей / О. В. Поварова, Е. А. Городецкая, Е. И. Каленикова, О.С. Медведев // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2020. №65. С. 22-29.
3. Клинические, эхокардиографические показатели и маркеры окислительного стресса, ассоциированные с развитием фибрилляции предсердий у пациентов, подвергающихся операции коронарного шунтирования / О. А. Рубаненко, А. О. Рубаненко, Ю. В. Щукин, Л. В. Лимарева [и др.] // Российский кардиологический журнал. 2020. №7. С. 72-79.

4. Место свободнорадикального окисления в патогенезе метаболического синдрома / Д.А. Аникин, И.В. Демко, И.А. Соловьева, Е.А. Собко [и др.] // Профилактическая медицина. 2022. №11. С. 98-104.

5. Особенности клеточного звена иммунитета у больных механической желтухой доброкачественного генеза в зависимости от уровня билирубина / О. В. Смирнова, Н. М. Титова, В. Т. Манчук [и др.] // Фундаментальные исследования. 2015. № 2. С. 2174-2179.

УДК 577.25

СРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ В ОЦЕНКЕ РАННЕГО ПОСТТРАНСПЛАНТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

А. И. Шевченко¹,

Научный руководитель Т. Н. Субботина¹,

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время общепринятым стандартом оценки приживаемости трансплантатов твердых органов является биопсия – инвазивная процедура, одним из главных минусов которой является невозможность диагностировать раннюю стадию отторжения пересаженного органа. К тому же, при непочечных трансплантациях отсутствует надежный биохимический маркер, эквивалентный сывороточному креатинину [1].

Недостатки мониторинга трансплантатов твердых органов повысили интерес к стратегиям выявления повреждения или отторжения аллотрансплантата. Один из предложенных способов обнаружения повреждения заключается в измерении количества бесклеточной ДНК (cfDNA) в плазме или моче и способности дифференцировать cfDNA реципиента и cfDNA донора (dd-cfDNA) [2]. При отторжении трансплантата из-за разрушения его клеток в общий кровоток начинает выделяться dd-cfDNA, что и приводит к увеличению ее количества в организме реципиента. Раннее повышение уровня dd-cfDNA наблюдается у пациентов во время острого нарушения функции трансплантата, что подтверждает предположение о возможном использовании измерения количественного уровня dd-cfDNA в качестве альтернативного маркера отторжения органа.

По данным зарубежной литературы, для количественной оценки бесклеточной ДНК донора с целью выявления и сравнения в паре донор-реципиент используют цифровую ПЦР (ddPCR) с помощью ряда генетических маркеров, таких как, например, обнаружение информативных однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). Такой метод требует предварительного подбора праймеров, минорные аллели которых имеют частоту встречаемости около 15%, а также генотипирование донора и реципиента до пересадки органа для поиска различных аллельных вариантов. Наиболее простым, но применимым только для определенных групп пациентов,

генетическим маркером является обнаружение гена *SRY*, располагающегося на Y-хромосоме, у женщин – реципиентов мужских органов [2, 3].

Целью данного исследования было сравнение двух подходов (с использованием SNP и гена *SRY*) и сравнение их с креатинином (биохимический маркер функции почки).

Объектом исследования служила dd-cfDNA женщины, которой в 2021 году была проведена трансплантация почки от донора-мужчины в ФСНКЦ ФМБА России (г. Красноярск).

Предварительное генотипирование проводили с использованием системы TaqMan-PCR с использованием набора из 35 пар праймеров. При работе со вторым подходом предварительное генотипирование не требовалось. Цифровую ПЦР для обоих подходов проводили с использованием системы QX100™ Droplet Digital PCR (Bio-Rad).

По результатам предварительного генотипирования для выбранной пары донор-реципиент было обнаружено 4 различных гомозиготных варианта SNP, из которых для дальнейшего анализа был выбран полиморфизм гена *TERT*, C>A, rs2736100. При этом донор был гомозиготен по аллелю C, а реципиент по аллелю A. Для анализа dd-cfDNA при помощи ddPCR принимались во внимание значения по аллелю C.

Результаты ddPCR представлены на рисунке.

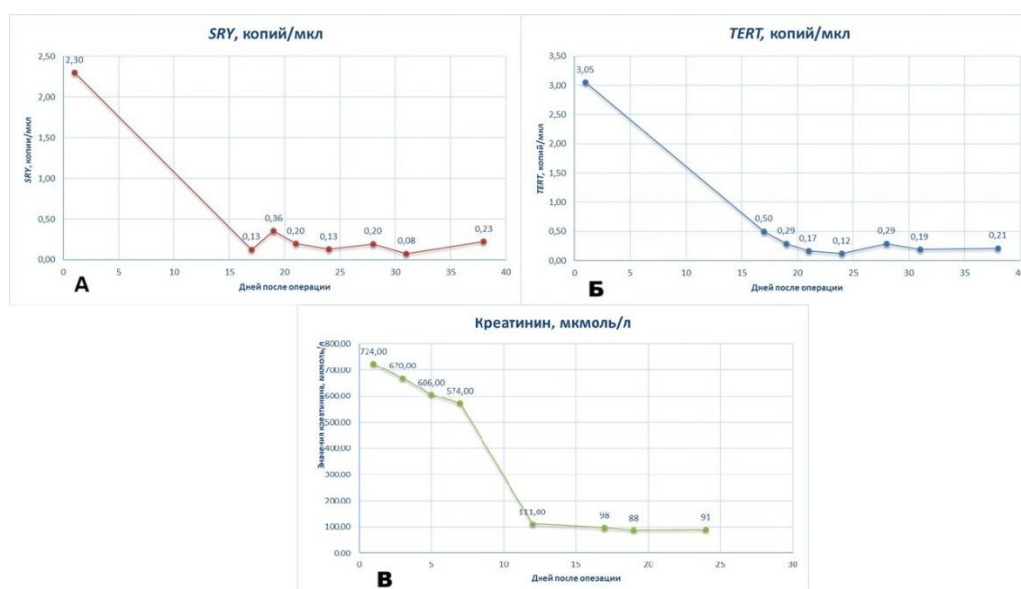


Рисунок. Графики измерения концентрации dd-cfDNA по двум подходам (А – при использовании подхода с Y-хросомой; Б – при использовании подхода с SNP) и креатинина (В). По оси X отмечены дни после операции, по оси Y – концентрация исследуемых показателей

По представленным выше графикам видно, что снижение концентрации dd-cfDNA происходит постепенно при использовании обоих подходов, что также

подтверждается снижением уровня креатинина. То есть, с течением времени количество dd-cfDNA как при использовании первого, так и второго подхода, достигает стабильно низких значений, сопоставимо уровню креатинина, который к 12 дню снижается до референсных показателей. Стоит отметить, что у пациентки послеоперационный период был стабилен без каких-либо осложнений.

Таким образом, изменения концентрации dd-cfDNA в плазме всех реципиентов сопоставимы с показателями сывороточного креатинина в крови, и при этом оба подхода отображают количество dd-cfDNA, сопоставимое с креатинином – стандартным биохимическим маркером.

Список литературы

1. V. Jaikaransingh, P.V. Kadambi. Donor-Derived Cell-Free DNA (ddcf-DNA) and Acute Antibody-Mediated Rejection in Kidney Transplantation // *Medicina*. 2021. V. 436. P. 52-58.
2. Donor-specific cell-free DNA as a biomarker in solid organ transplantation. A systematic review / S. R. Knight, A. Thorne, M. L. L. Faro // *Transplantation*. 2019. V. 103. I. 2. – P. 273-283.
3. Detection of human Micro-chimerism following allogeneic cell transplantation using droplet digital PCR. / CA Lombard, A Fabre, J Ambroise [et al.] // *Stem cells*. 2019. V. 19. P. 1-11.

УДК 12.827.4:577.352.34:599.323.4

ВЛИЯНИЕ ГЛУТАМАТЕРГИЧЕСКОЙ ЭКСАЙТОТОКСИЧНОСТИ НА ДИФФЕРЕНЦИРОВКУ НЕЙРОНАЛЬНЫХ СТЕЛОВЫХ КЛЕТОК МОЗЖЕЧКА МЫШИ

Е. С. Гринёв¹,

Научный руководитель А. Н. Шуваев^{1,2}

Доктор медицинских наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Эксайтотоксичность, вызванная гиперактивацией глутаматных рецепторов (NMDA, AMPA), играет центральную роль в патогенезе нейродегенеративных заболеваний и ишемических повреждений мозга [1]. Избыточный приток ионов Ca^{2+} через активированные рецепторы запускает каскад патологических процессов, включая оксидативный стресс, митохондриальную дисфункцию и апоптоз, что ведёт к массовой гибели нейронов [2]. Однако влияние

эксайтотоксичности на нейрональные стволовые клетки (НСК), ответственные за нейрогенез и регенерацию, изучено недостаточно. НСК обладают уникальной способностью дифференцироваться в нейроны и глию, что делает их ключевым элементом восстановления повреждённых нейрональных сетей [3]. В условиях патологии их дифференцировка может нарушаться, что снижает регенеративный потенциал мозга. Например, при хроническом стрессе или гипоксии наблюдается смещение нейрогенеза в сторону глиогенеза, ограничивающее восстановление функций. При этом данные о воздействии эксайтотоксичности на выбор клеточной судьбы НСК противоречивы: некоторые исследования указывают на подавление нейрогенеза, другие — на избирательное формирование специфических типов нейронов.

Уточнение механизмов, связывающих эксайтотоксичность с дифференцировкой НСК, необходимо для разработки стратегий, направленных на сохранение или коррекцию нейрорегенеративного потенциала в условиях нейродегенерации.

Целью данной работы являлось изучение влияния глутамат-индуцированной эксайтотоксичности на процессы дифференцировки нейрональных стволовых клеток мозжечка мыши. В ходе исследования НСК, выделенные из мозжечка новорожденных мышей линии C56Bl/6 (3-5 дней), были разделены на две экспериментальные группы, различающиеся продолжительностью дифференцировки в условиях эксайтотоксичности. Клетки культивировали в среде NeuroCult NS-A Proliferation (StemCell, США) при стандартных условиях (37°C, 5% CO₂). Дифференцировку инициировали добавлением сыворотки в культуральную среду, эксайтотоксичность внесением 50 мкМ глутамата.

Первую группу клеток культивировали в течение 7 дней, что позволило оценить ранние эффекты эксайтотоксичности на процесс дифференцировки. Вторую группу клеток содержали в идентичных условиях, но продлили срок дифференцировки до 14 дней, что дало возможность исследовать долгосрочное влияние глутамата на формирование нейрональных фенотипов.

По завершении эксперимента клетки фиксировали в 4% ПФА для последующего иммуноцитохимического анализа экспрессии ключевых маркеров, включая Ki67, Nestin, NeuroD1, GAD67, Calbindin и GFAP. Для анализа использовали флуоресцентную микроскопию и программное обеспечение ImageJ. Статистическую обработку данных выполняли с помощью t-критерия Стьюдента в R.

Данные демонстрируют, что эксайтотоксичность, индуцированная глутаматом, оказывает разнонаправленное влияние на дифференцировку нейрональных стволовых клеток (НСК) мозжечка в зависимости от длительности воздействия:

• Глутамат вызывает значимое увеличение Ki67+ клеток по сравнению с контролем, что свидетельствует о стимуляции пролиферации ($p < 0.05$). На 2-й неделе (D2) динамика сохраняется [A].

• На 1-й неделе (D1) глутамат резко повышает экспрессию GAD67 ($p < 0.05$). Ко 2-й неделе (D2) увеличение экспрессии GAD67 видно уже в контроле, при этом глутамат вызвал уменьшение экспрессии GAD67+ клеток [C].

• На 1-й неделе (D1) глутамат не влияет на экспрессию NeuroD1. Однако ко 2-й неделе (D2) в контрольной группе наблюдается рост маркера, тогда как в группе с глутаматом этот процесс подавляется ($p < 0.05$) [B].

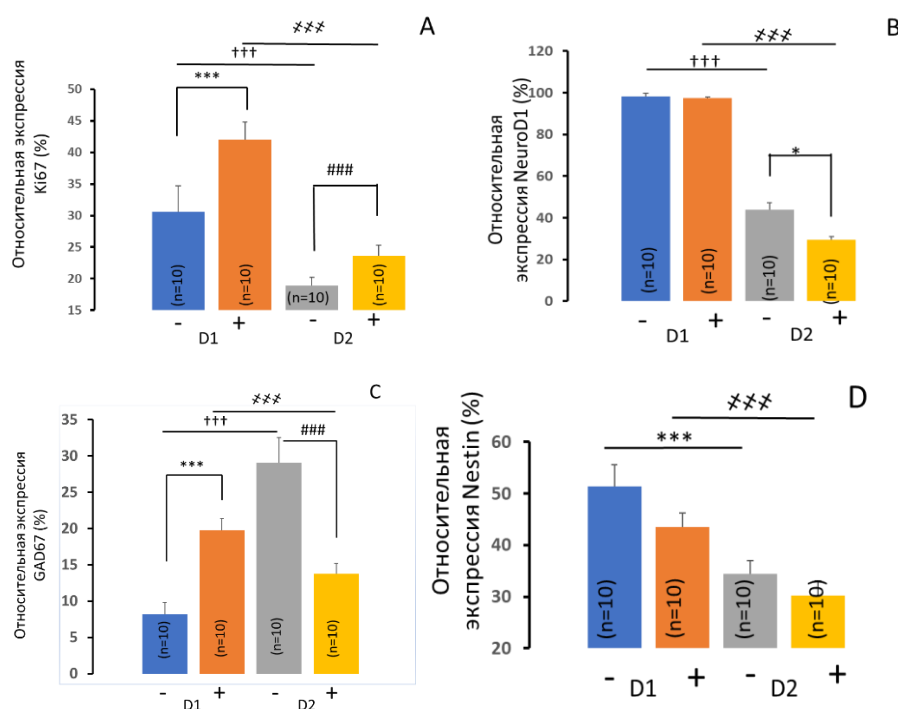


Рисунок 1. Относительная экспрессия Ki67 (A), NeuroD1 (B), GAD67 (C), Nestin (D)

Экспрессия кальбиндина значимо увеличивается ко 2-й неделе, независимо от наличия глутамата. Это указывает, что созревание нейронов требует длительной дифференцировки, но не зависит от эксайтотоксичности [E].

Уровень маркера GFAP возрастает к 14-му дню, что отражает естественный процесс глиогенеза при длительном культивировании. Глутамат не оказывает дополнительного влияния [F]. В двух этих случаях статистически значимая разница возникает только в группах D1/D2 ($p < 0.05$).

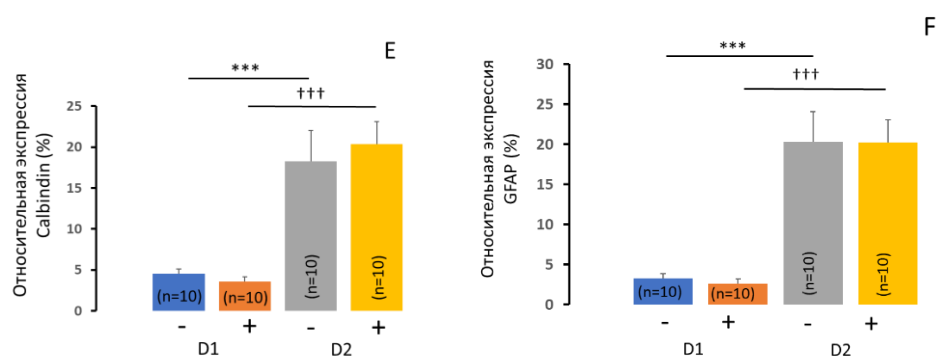


Рисунок 2. Относительная экспрессия Calbindin (E), GFAP (F)

Снижение экспрессии нестина ко 2-й неделе, подтверждает, что дифференцировка замедляется со временем. Однако добавление глутамата не усиливает этот эффект [D].

Таким образом, глутамат индуцирует временное подавление нейрональной дифференцировки с одновременным усилением пролиферации НСК и формированием ГАМК-эргических интернейронов. При длительном воздействии эксайтотоксичность приводит к компенсаторному восстановлению нейрогенеза, но сопровождается активацией глиогенеза и закреплением дисбаланса в сторону тормозных нейронов.

Полученные данные объясняют, как эксайтотоксичность может изменить баланс между возбуждающими и тормозными нейронами, характерный для ряда нейродегенеративных заболеваний. При поддержке гранта РФФИ №25-15-20029.

Список литературы

1. Lewerenz J., Maher P. Chronic Glutamate Toxicity in Neurodegenerative Diseases—What is the Evidence? // *Frontiers in Neuroscience*. Frontiers Media S.A. 2015. Vol. 9. P. 469.
2. Excitotoxicity and stroke: Identifying novel targets for neuroprotection / T. W. Lai, Sh. Zhang, Yu. T. Wang // *Progress in Neurobiology*. Elsevier. 2014. Vol. 115. P. 157-188.
3. Gage F.H., Temple S. Neural stem cells: generating and regenerating the brain / Gage Fred H., Sally Temple // *Neuron*. Cell Press. 2013. Vol. 80.

УДК 616-006.442

ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ «ПЕРИКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ – АНТИОКСИДАНТНАЯ ЗАЩИТА» В ДИАГНОСТИКЕ ЛИМФОПРОЛИФЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

К. С. Хмилина¹,

Научный руководитель О. В. Смирнова^{1,2}

Доктор медицинских наук, профессор,
заведующая кафедры медицинской биологии

¹*Сибирский федеральный университет*

Лимфогранулематоз и неходжкинские лимфомы относятся к лимфопролиферативным заболеваниям, при этом они различаются по субстрату опухоли. Для лимфогранулематоза – основными клетками опухоли являются клетки Березовского-Рид-Штернберга, а для неходжкинских лимфом – В или Т-клетки на разной стадии созревания; они и определяют прогноз заболеваний и критерии выживаемости. При лимфогранулематозе процент пятилетней выживаемости составляет от 65 до 100%, при неходжкинских лимфомах – от 30 до 70% с учетом стадии заболевания и локализации опухоли [1]. Лимфогранулематоз чаще встречается в молодом возрасте, неходжкинские лимфомы – в среднем и пожилом.

Частота встречаемости лимфогранулематоза в России составляет 2 случая на 100 тыс. человек, неходжкинских лимфом в три раза больше (у 5-7 человек) на 100 тыс. населения. В структуре лимфопролиферативных заболеваний до 90% приходится на неходжкинские лимфомы [2]. На сегодняшний день патогенез этих заболеваний активно изучается. Важнейшая роль отводится окислительному стрессу и нарушениям в системе «перекисного окисления липидов – антиоксидантной защиты» (ПОЛ-АОЗ).

Целью настоящего исследования явилось определение содержания показателей системы «ПОЛ (MDA) - АОЗ (CAT, SOD, CP, GST, GPO)» при лимфогранулематозе и неходжкинских лимфомах на ранних стадиях заболевания.

Материалом для исследования служила плазма, полученная из крови пациентов с лимфогранулематозом (12 человек) [T₁₋₂N₀M₀] и неходжкинских лимфомах (12 человек) [T₁₋₂N₀M₀] без признаков интоксикации, поступивших в дневной стационар больницы КНИЦ СО РАН и контрольной группы условно здоровых людей (20 человек). Больные были сопоставимы по полу и возрасту (p>0,05).

Содержание белка, MDA, CAT, SOD, CP, GST, GPO определяли спектрофотометрически. Обработку экспериментальных данных проводили с

помощью пакета прикладных программ SpSS Statistica. Определяли медиану и интерквартильный разброс всех показателей. Статическая значимость определялась по критерию Манна-Уитни $<0,05$ [3]. Результаты проведенного исследования представлены в таблице.

Таблица

**«Перекисного окисления липидов – антиоксидантной защиты»
при лимфогранулематозе(ЛГМ) и неходжкинских лимфомах(НХЛ) Ме [Q₂₅-Q₇₅].**

Показатели	Контрольная группа n=20	ЛГМ n=12	НХЛ n=12
	1	2	3
Белок г/л	73,1 [71,3-77]	73,1 [71-77] $p_{1-2}=0,2$	71,9 [71-73,9] $p_{2-3}=0,3$
MDA мкмоль/г. белка	1,37 [0,92-2,6]	0,77 [0,67-1,26] $p_{1-2}<0,001$	0,99 [0,36-1,21] $p_{2-3}=0,3$
SOD ед/мин*мл	801,36 [284,04-873,99]	331,00 [253,82-404,61] $p_{1-2}=0,03$	453,06 [286,65-475,94] $p_{2-3}=0,07$
CAT мкмоль/с* мг белка	0,037 [0,01925-0,0755]	0,061 [0,026-0,54] $p_{1-2}=0,03$	0,122 [0,079-0,393] $p_{2-3}=0,02$
СР мг/л	219,0 [150,5-274,5]	696,5 [402-1327] $p_{1-2}<0,001$	203,0 [190-265] $p_{2-3}<0,001$
GST ммоль/ мин	0,165 [0,01-0,04]	0,165 [0,01-0,01] $p_{1-2}=0,8$	0,15 [0,01-0,02] $p_{2-3}=0,7$
GPO мкмоль/мл	0,38 [0,79-6,9]	0,59 [0,14-15,47] $p_{1-2}=0,04$	0,05 [0,08-0,82] $p_{2-3}=0,07$

Медиана содержания малонового диальдегида (MDA) в плазме крови больных ЛГМ в 1,5 раза ниже показателей контрольной группы и на 70 % ниже показателей больных НХЛ. Медиана содержания MDA в плазме крови больных НХЛ ниже на 70%ниже показателей контрольной группы и в 1,3 раза выше показателей больных ЛГМ. Медиана показателей активности каталазы (CAT) в плазме крови больных ЛГМ в 1,5 раза выше, чем в контрольной группе и в 2 раза ниже, чем при НХЛ. Медиана содержания CAT в плазме крови больных НХЛ в 3,3 раза выше показателей контрольной группы и в 2 раза выше показателей больных ЛГМ. Медиана содержания церулоплазмина (СР) в плазме крови больных ЛГМ в 3 раза выше, чем в контрольной группе и в 3,4 раза выше показателей больных НХЛ. Медиана содержания СР в плазме крови больных НХЛ на 93% ниже показателей контрольной группы и в 3,4 раза ниже

показателей больных ЛГМ. Медина содержания глутатионпероксидаза (GPO) в плазме крови больных ЛГМ в 1,5 раза выше показателей контрольной группы и в 12 раз выше, чем при НХЛ. Медина содержания GPO в плазме крови больных НХЛ в 7,6 раз ниже показателей контрольной группы и в 12 раз ниже показателей больных ЛГМ.

У больных ЛГМ отмечается разнонаправленные изменения показателей ПОЛ-АОЗ в виде: повышения САТ, GPO, CP; понижения MDA. У больных НХЛ отмечается разнонаправленное изменение показателей ПОЛ-АОЗ в виде: повышения САТ; понижения MDA, CP, GPO.

В ходе работы был рассчитан коэффициент окислительного стресса (КОС). Для больных ЛГМ $\text{КОС}=0,07$ из чего можно сделать вывод, что у больных ЛГМ избыточная антиоксидантная защита. Для больных НХЛ $\text{КОС}=1,3$ из чего можно сделать вывод, что у больных НХЛ наблюдается окислительный стресс.

MDA – самое токсичное вещество, оказывающее повреждающее действие на клеточные мембраны; MDA обладает белок-модифицирующим и генотоксическими свойствами [4]. Процессы нерегулируемой модификации белков приводят к утрате их биологической активности (ферментативной активности, рецепторной и транспортной функции) [4]. Пониженное содержание MDA у больных ЛГМ может наблюдаться вследствие усиленной работы САТ, GPO, CP, а у больных НХЛ это компенсируется повышением САТ. Повышенная активность САТ можно объяснить тем, что она является компонентом первой линии защиты, а также тем, что она препятствует накоплению H_2O_2 , которая оказывает повреждающее действие на клеточные компоненты. Повышенная активность GPO предупреждает возникновение и развитие пероксидации, устраняет ее источники и продукты, она служит одним из важнейших компонентов ферментативной антиоксидантной системы [5].

Список литературы

1. Welaya K., Casulo C. Follicular lymphoma: redefining prognosis, current treatment options, and unmet needs // *Hematol Oncol Clin North Am.* 2019. № 4. P. 627–638.
2. Бессмельцев С. С. Злокачественные лимфомы: история, распространённость, этиология и патогенез (лекция) // *Вестник гематологии.* 2023. № 1. С. 64–80.
3. Смирнова, О. В. Особенности клинических проявлений и характеристика иммунопатогенеза больных хроническим миелолейкозом // *Сибирский онкологический журнал.* 2007. № 3. С. 16-22.
4. Смирнова, О. В. Роль прооксидантной системы в прогрессировании миеломной болезни // *Врач-аспирант.* 2013. Т. 60, № 5.1. С. 152-157.
5. V. V. Tsukanov, A. V. Vasyutin, O. V. Smirnova [et al.]. Indices of prooxidant and antioxidant systems in blood plasma in patients with chronic atrophic

gastritis and gastric cancer in the urban population of Eastern Siberia // Journal of Gastroenterology and Hepatology. 2019. Vol. 34, No. S3. P. 321.

УДК 616-006.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕТЕРОДУПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СКРИНИНГА ИНСЕРЦИЙ 4 НУКЛЕОТИДОВ В ГЕНЕ *NPM1* У ПАЦИЕНТОВ С ДИАГНОЗОМ ОСТРЫЙ МИЕЛОЛЕЙКОЗ

Ю. Б. Самойлова¹,

Научный руководитель Т. Н. Субботина^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

При остром миелоидном лейкозе (ОМЛ) наиболее распространенными и прогностически значимыми являются мутации в генах *FLT3* и *NPM1*. Мутации в гене *NPM1* выявляются примерно в 30% случаев ОМЛ. Большинство из них – это инсерции 4 п.о., редко встречаются инсерции 8 п.о. и делеции. В зависимости от места локализации мутации делят на разные типы. Самый распространенный вариант – это тип А (с.860_863dupTCTG), на который приходится ~70% случаев [1]. Одновременное присутствие *NPM1* мутации и *FLT3*-ITD мутации наблюдается приблизительно у 40% пациентов с ОМЛ и имеет неблагоприятный прогноз. Присутствие у пациента *NPM1* мутации на фоне отсутствия *FLT3*-ITD мутаций имеет благоприятный прогноз [2].

В мировой практике анализ *NPM1* мутаций проводят с помощью фрагментного анализа, который позволяет выявить длину вставки (или делеции), а также определить уровень аллельной нагрузки (AF). Мы предлагаем проводить дешёвый скрининговый метод для выявления 4 п.о. инсерций в гене *NPM1* с использованием гетеродуплексного анализа.

Цель – продемонстрировать возможность использования гетеродуплексного анализа в качестве предварительного скринингового теста для выявления соматических мутаций в 12 экзоне *NPM1*.

В исследование были включены 180 пациентов с ОМЛ. Наличие мутаций *NPM1* и уровень AF определены методом фрагментного анализа на анализаторе AB3500 (США). Далее, для всех 180 пациентов также был проведен гетеродуплексный анализ. ПЦР с дополнительным этапом формирования гетеродуплексов проводили с помощью набора реагентов для ПЦР в реальном времени (Syntol, Россия) и амплификатора CFX 96 (Biorad, США). Продукты ПЦР анализировали методом электрофореза в 2% агарозном геле и 8% ПААГ.

При проведении фрагментного анализа *NPM1* мутации выявлены у 34 из 180 обследуемых пациентов. У всех пациентов размер вставки равен 4 п.о.. При этом у 33 из 34 пациентов с *NPM1* уровень АФ находился в диапазоне от 22% до 48% и только у одного пациента был очень низкий АФ (3%). При проведении гетеродуплексного анализа *NPM1* мутации выявлены у 33 из 180 обследуемых пациентов. У пациента с уровнем АФ (3%) мутация не была выявлена данной методикой. Результаты гель-электрофореза для трех пациентов представлены на рисунке. Уровень АФ у пациента №1 составил 44%, у пациента №2 – 31% и у пациента №3 22%. На электрофореграмме видно, что на дорожках с образцами четко визуализируется основной фрагмент, соответствующий «дикому» типу (169 bp). Во всех пробах, имеющих мутации визуализируются дополнительные полосы, расположенные выше фрагмента «дикого» типа, соответствующие гетеродуплексам, образованным сочетанием фрагментов «дикого» и мутантного типов аллелей. По результатам детекции в ПААГ видно, что расположение гетеродуплексов на дорожке пациента №2 отличается от расположения гетеродуплексов пациентов №1 и №3. Мы предположили, что у пациента №2 инсерция 4 п.о. присутствует в иной позиции, чем у пациентов №1 и №3. С помощью пиросеквенирования было подтверждено, что у пациентов №1 и №3 мутация относится к типу А, а у пациента №2 была выявлена новая мутация (с.862_863insTGTA). Для определения чувствительности данного метода необходимо дальнейшее исследование.

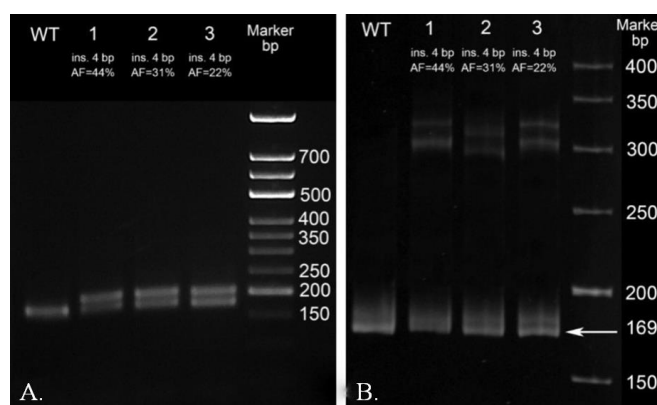


Рисунок. А. Результаты анализа мутаций *NPM1* в 2% агарозном геле;
В. Результаты анализа мутаций *NPM1* в 8% ПААГ.

Таким образом, предложенный вариант гетеродуплексного анализа может быть рекомендован для использования в качестве предварительного скринингового теста, который проводится перед анализом подтверждающих фрагментов. Двухэтапный подход позволяет оптимизировать алгоритм выявления мутации 12 экзона *NPM1* и повысить эффективность тестирования пациентов с подозрением на ОМЛ.

Список литературы

1. NPM1 mutation analysis in acute myeloid leukemia: comparison of three techniques – Sanger sequencing, pyrosequencing, and real-time polymerase chain reaction. / D. Kumar, A. Mehta, M.K. Panigrahi, [et al] // Turk J Haematol. 2018. V.35. I.1. P.49-53.
2. Nucleophosmin 1 Mutations in Acute Myeloid Leukemia / J. Zarka, N.J. Short, R. Kanagal-Shamanna, [et al] // Genes (Basel). 2020. V.11. I.6. P.649.

УДК 616-092.6

ВЛИЯНИЕ ОЖИРЕНИЯ МАТЕРИ НА ЭКСПРЕССИЮ МАРКЕРОВ МЕТАБОЛИЗМА ГЛЮКОЗЫ И ГИПОКСИИ

В. М. Жидков¹, С. А. Набиева¹, М. Л. Герилович¹,

Научный руководитель Н. А. Малиновская¹

д.м.н., Профессор и и.о. заведующего кафедры биологической
химии с курсами фармацевтической и токсикологической химии

Научный руководитель М. Ю. Маховых²

Кандидат биологических наук, старший преподаватель

Научный руководитель Л. А. Герилович³

Кандидат медицинских наук, врач акушер-гинеколог

¹*Красноярский государственный медицинский университет
им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого*

²*МАОУ СШ № 151 г. Красноярск*

³*КГБУЗ «КМКБ № 20 им. И.С. Берзона»*

Ожирение – одна из наиболее значимых проблем современного общества, затрагивающая миллионы людей по всему миру. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2022 году избыточную массу тела имели 2,5 миллиарда взрослых в возрасте от 18 лет и старше, из них ожирением страдали более 890 миллионов. В 2023 году, по данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), отмечалось уменьшение числа лиц с нормальной массой тела в сравнении с подобным обследованием 2018 года. Ожирение различных степеней чаще встречалось у женщин (20,7%), у мужчин – 16% [1,2]. Особой проблемой в последнее время становится материнское ожирение ввиду её влияния как на здоровье матери, так и будущего ребёнка [3].

Беременность – важный физиологический процесс, требующий усиленного энергообеспечения организма матери и развивающегося плода. При

нормальном течении беременности включается ряд механизмов адаптации, направленных на нормальное обеспечение тканей плода и матери кислородом [4].

Ожирение у матери значительно увеличивает риск различных неблагоприятных исходов беременности (преэклампсия, гестационный сахарный диабет, гестационная гипертензия, макросомия плода и т.д.) и ассоциируется с долгосрочными последствиями для здоровья детей (повышенный риск развития метаболических, сердечно-сосудистых заболеваний в детском и взрослом возрасте) [3,5].

Учитывая вышесказанное, важную роль играет ранняя диагностика гипоксии и плацентарной дисфункции, а многие научные работы направлены на разработку методов профилактики и раннего выявления перинатальной гипоксии, что существенно осложнено рядом технических проблем, что требует поиска новых методов для улучшения диагностики гипоксии [5].

В последние годы основным маркером гипоксии рассматривается гипоксия-индуцированный фактор (HIF), играющий важную роль в адаптации клеток к гипоксическим условиям [5,6]. Известно, что ожирение способствует формированию инсулинорезистентности, способствуя таким образом развитию гестационного сахарного диабета (ГСД) и связанных с этим видом диабета осложнений. При ожирении в плаценте снижается экспрессия GLUT-4 и инсулинового рецептора [7], а последнее, согласно механизму действия гормона, приводит к снижению экспрессии белка IRS (субстрата инсулинового рецептора), в частности, IRS-1. Снижение экспрессии IRS-1 и его тирозин-фосфорилированного белка может далее приводить к блокаде сигнального пути PI3K/PKB (фосфоинозитид-3-киназа/протеинкиназа B), в результате блокады инсулин не может регулировать поглощение и утилизацию глюкозы [8].

Забор биологического материала (плаценты, полученные в течение 30 минут после родов) проводился Герилович Л.А. в родильном доме КГБУЗ «КМКБ № 20 им. И. С. Берзона». Были проведены ножевые срезы плацент, не подлежащих гистологическому исследованию, направленных для утилизации. От каждой плаценты забиралось по образцу размером 10*10 мм из дольки, расположенной ближе к пуповине. 5 образцов плаценты (контрольная группа) были получены от женщин с нормальной массой тела, ещё 5 – от родильниц с ожирением. Образцы были зафиксированы в 5% растворе PBS-забуференного формалина (соотношение ткани к раствору 1:20), до исследования хранились в холодильнике при температуре 4°C 3-4 суток, использовались для нарезки срезов на вибротоме. Процент экспрессирующих изучаемые маркеры клеток в ткани плаценты определялся иммуногистохимическим (ИГХ) методом (окраска «свободно-плавающих» срезов, непрямая ИГХ) с помощью соответствующих антител (оценивали маркеры метаболизма глюкозы IRS-1, GLUT-4, маркеры гипоксии HIF-1 α и HIF-1 β). Статистический анализ проводили с использованием

методов непараметрической статистики (критерий Манна-Уитни для независимых выборок) с помощью ПО StatPlus 2006.

При сравнении женщин с ожирением с контрольной группой были получены следующие результаты: тенденции к выраженному снижению процента GLUT-4 и IRS-1-экспрессирующих клеток в ткани плаценты, отсутствие значимых различий в проценте HIF-1 β -экспрессирующих клеток, значимое ($p<0,05$) увеличение процента HIF-1 α -позитивных клеток, что согласуется с литературными данными [4-8].

Таким образом, ещё предстоит изучить роль изменения экспрессии маркеров метаболизма глюкозы (IRS-1 и GLUT-4) в плаценте на развитие плода и возможный риск осложнений беременности при ожирении матери. Но информация об экспрессии HIF-1 (особенно HIF-1 α) в патологических условиях (ожирение матери) представляет из себя ценную информацию для подхода к индивидуальному ведению и персонализированному подходу к терапии при беременности у женщин с ожирением, что может способствовать улучшению диагностики и разработке новых стратегии лечения и профилактики осложнений.

Список литературы

1. Бондарева Э. А., Трошина Е. А. Ожирение. Причины, типы и перспективы // Ожирение и метаболизм. 2024. Т. 21, №. 2. С. 174–187.
2. Ожирение как критический вопрос общественного здоровья / Ф. М. Монисов, Л. В. Руголь, З. Н. Таутова // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2024. №. 4. С. 267–284.
3. Maternal obesity influences placental nutrient transport, inflammatory status, and morphology in human term placenta / P. Nogues, E. Dos Santos, A. Couturier-Tarrade // J. Clin. Endocrinol. Metab. 2021. Vol. 106(4). P. e1880–e1896.
4. Клиническое значение экспрессии маркера адаптации к гипоксии HIF-1 α у беременных с начальными формами заболевания вен / Е.Ю. Юпатов, Л.И. Мальцева, Т.П. Зефирова, [и др.] // Акушерство, гинекология и репродукция. 2021. Т. 15, №. 3. С. 276–286.
5. Экспрессия гипоксия-индуцируемого фактора (HIF-1- α) в плацентах при хронической плацентарной недостаточности в конце беременности / Н.Г. Павлова, В.Ф. Беженарь, М. Большакова // Уральский медицинский журнал. 2020. № 5(188).
6. Экспрессия индуцируемого гипоксией фактора-1-альфа (HIF-1 α) в плаценте и ткани мозга плодов при хронической плацентарной недостаточности в условиях эксперимента / Н.Г. Павлова, В.Ф. Беженарь, М. Большакова // Проблемы репродукции. 2022. Т. 28, №. 1. С. 36–44.
7. Effects of maternal obesity on placental phenotype / A.L. Fowden, E.J. Camm, A.N. Sferruzzi-Perri // Curr Vasc Pharmacol. 2021. Vol. 19(2). P. 113–131.

8. FGF15/FGF19 alleviates insulin resistance and upregulates placental IRS1/GLUT expression in pregnant mice fed a high-fat diet / S. Zhao, D. Wang, Z. Li

Новые материалы. Химия

УДК 628.9.037

ПОЛУЧЕНИЕ ЛЮМИНОФОРА НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ АЛЮМИНАТА СТРОНЦИЯ, ДОПИРОВАННОГО $\text{Eu}^{2+}/\text{Dy}^{3+}$, ОБЛАДАЮЩЕГО ДЛИТЕЛЬНЫМ ПОСЛЕСВЕЧЕНИЕМ

Ю. В. Антипова¹, Д. В. Карпов^{1,2}

научный руководитель С. В. Сайкова¹

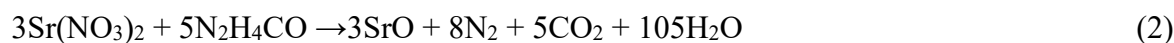
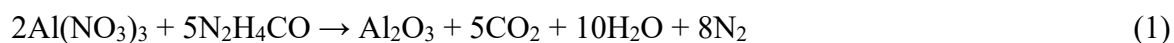
Доктор химических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Среди люминесцирующих веществ особо выделяются люминофоры с длительным послесвечением. На сегодняшний день они применяются в составе светящихся красок; в системах автономного аварийного освещения и сигнализации; в эвакуационных, пожарных, предупреждающих, указывающих и других светознаках. Первые люминофоры с длительным послесвечением были получены на основе сульфидов металлов ($\text{ZnS}:\text{Cu}$, $\text{CaS}:\text{Cu}$, $\text{SrS}:\text{Cu}$). Эти вещества разрушаются под воздействием ультрафиолетового излучения или влаги, а также могут включать радиоактивные элементы в качестве источника возбуждения. В связи с этим они постепенно вытесняются новыми материалами, такими как алюминаты щелочноземельных металлов, легированные ионами редкоземельных металлов [1, 2].

Целью работы является синтез люминофора на основе алюмината стронция, обладающего длительным послесвечением.

Для получения замещенного алюмината стронция использовали смесь, содержащую порошки $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Количество РЗЭ рассчитывали, исходя из числа моль стронция в смеси и выбранной доли Eu^{2+} и Dy^{3+} (1.0 ат. % и 2.0 ат. % от количества стронция соответственно). Смесь солей алюминия и стронция помещали в фарфоровую чашку, вносили растворы нитратов европия и диспрозия, а также сухой порошок карбамида, массу которого рассчитывали исходя из уравнений реакций (1) – (4) (образец 1).



В качестве ионов-компенсаторов заряда использовали Mg^{2+} , Li^+ , K^+/Na^+ . Для этого в смесь дополнительно вносили растворы $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (образец 2), LiNO_3 (образец 3), $\text{KNO}_3/\text{NaNO}_3$ образец 4). Смесь помещали на лабораторную плитку и нагревали при 180°C до образования жидкой смеси, затем поднимали температуру до 500°C . Нагревание продолжали до начала самовоспламенения смеси. Образцы перетирали в агатовой ступке и отжигали в муфельной печи в течение 2 часов (1000°C) в атмосфере CO .

По данным визуальных наблюдений наилучшим послесвечением обладает образец 4 (рис. 1).

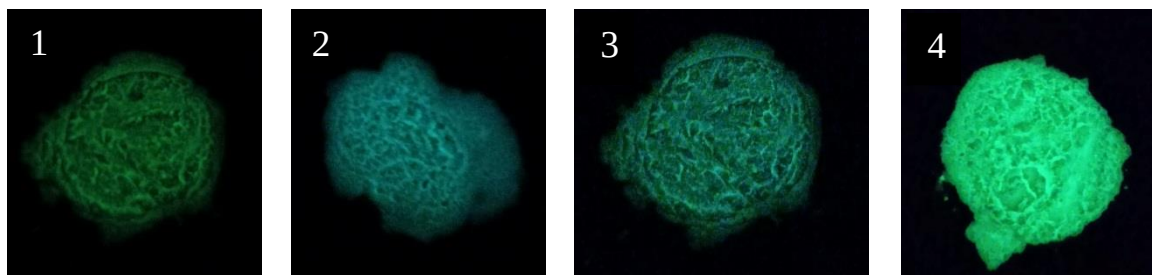


Рисунок 1. Фотографии люминофоров

Введение ионов Li^+ (образец 2) не улучшило люминофорные характеристики, но привело к сдвигу в синюю область, что вероятно указывает на изменение плотности заряда вблизи ионов Eu^{2+} за счет гетеровалентного замещения $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Li}^+$.

Образец 3 характеризуется слабой люминесценцией и коротким тусклым зеленым послесвечением. Часть образца, отожженная в восстановительной атмосфере, проявляет более яркое выраженное зеленое послесвечение, интенсивность которого постепенно снижается в течение 10 минут после отжига. Мы предполагаем, что снижение интенсивности послесвечения обусловлено окислением ионов Eu^{2+} до Eu^{3+} непосредственно в алюминатной матрице под действием кислорода воздуха. Mg увеличивает ионную проводимость и концентрацию анионных вакансий. Данные наблюдения приводят к заключению, что замещение Mg^{2+} стабилизирует высокие степени окисления европия в алюминатных матрицах.

Ионы Na^+ и K^+ , использованные при получении образца 4, являются оптимальными в качестве компенсаторов заряда, поскольку могут встраиваться только в подрешетку Sr^{2+} , что обеспечивает более контролируемое допирование, а также имеют близкие значения ионных радиусов к ионному радиусу стронция, в отличие от ионов Li^+ и Mg^{2+} при их замещении по позициям алюминия.

По данным РФА, все образцы представлены фазами алюминатов стронция (рис. 2). Фаза SrAl_2O_4 обнаружена в двух модификациях: высокотемпературной гексагональной фазы (P6_3) и низкотемпературной моноклинной фазы (P2_1). Согласно литературным данным, SrAl_2O_4 претерпевает фазовый переход из

моноклинной в гексагональную форму при температуре 650°C, однако спекание при 1000°C не привело к значительному уменьшению содержания фазы моноклинного SrAl_2O_4 . Существование фазы $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SrO}$ и ее стабильность при н.у. вызывает сомнения у ряда авторов. Проведенные нами предварительные исследования по изучению влияния борной кислоты на фазовый состав системы с номинальным составом $4\text{SrO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ указывают, что данная фаза формируется только в присутствии бора. Однако 100% выхода фазы получить так и не удалось.

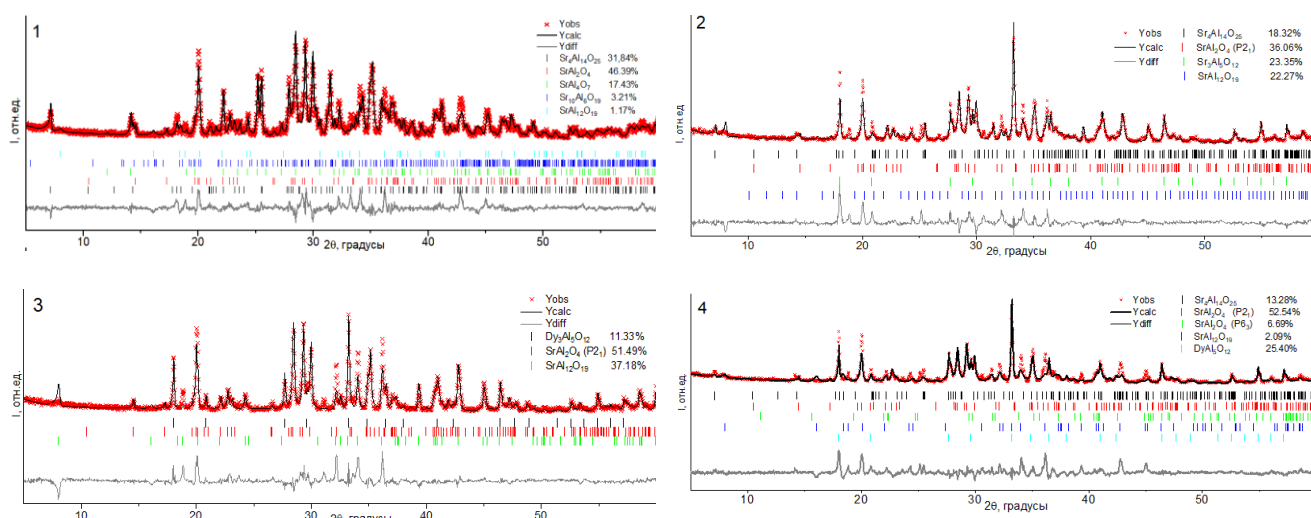


Рисунок 2. Рентгенограммы полученных образцов

Для образца 4, обладающего выраженным послесвечением, был снят спектр люминесценции (рис.3), содержащий широкий максимум в диапазоне 450-600 нм, представляющий суперпозицию переходов Eu^{2+} в различных матрицах ($\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$, SrAl_2O_4 , SrAl_4O_7 , $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$), характеризующихся разной координацией ионов Eu^{2+} и силой кристаллического поля [3].

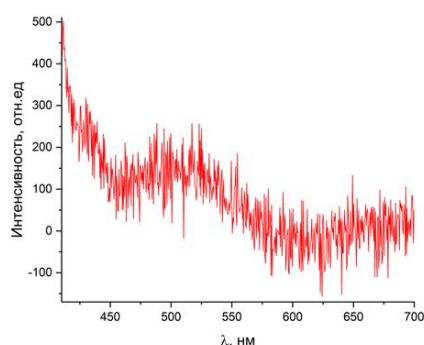


Рисунок 3. Спектр фотолюминесценции образца 4

Список литературы

1. Xu J., Tanabe S. Persistence luminescence instead of phosphorescence: History, Mechanism, and perspective // Journal of Luminescence. 2019. Vol. 219. – P.

825-856.

2. Wang Z., Hou X., Liu Y., Hui Z., Huang Z., Fang M., Wu X. Luminescence properties and energy transfer behavior of colour-tunable white-emitting $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ phosphors with co-doping of Eu^{2+} , Eu^{3+} and Mn^{4+} // RSC Advances. 2017. No 7. – P. 52995-53001.

3. Dutczak D., Justel T., Ronda C., Meijerink A. Eu^{2+} luminescence in strontium aluminate // Physical Chemistry Chemical Physics. 2015. Vol. 17. P. – 15236-15249.

УДК 669*54.062*543.427.4

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КАЛИЕВЫХ КРИОЛИТОВ

Л. Д. Баранков¹Научный руководитель О. Е. Безрукова¹

Кандидат технических наук

¹Сибирский федеральный университет

Актуальность разработки методики анализа калиевых криолитов обусловлена развитием новой технологии низкотемпературного электролиза алюминия с малорасходуемыми анодами. Технология требует использования низкоплавких электролитов с добавками фторида калия [1], оптимальная концентрация которого в электролизной ванне поддерживается путем введения так называемого «калиевого криолита».

Калиевый криолит представляет собой смесь фторалюминатов, основной из которых является KAlF_4 (таблица 1).

Таблица 1

Типичный фазовый состав калиевого криолита

Фаза	K_3AlF_6	KAlF_4	$\text{KAl}_3\text{F}_4\text{O}_3$	$\text{K}_2(\text{AlF}_5)(\text{H}_2\text{O})$	примеси
Диапазон концентраций, масс%	3,6 – 21,6	37,4 – 83,5	6,78 – 38,4	0 – 18,0	1,5 – 22,6

Помимо фторалюминатов, могут присутствовать различные примесные хлориды, сульфаты, оксиды [2]. Особое внимание уделяется таким примесным элементам, как Fe, Si, S и Cl, отрицательно влияющим не только на электропроводность и растворимость глинозема в расплаве, но и на качество получаемого алюминия [1]. Допустимое содержание этих элементов установлено техническими условиями, принятым на производстве: $\text{C(Fe)} \leq 0,03$ масс. %, $\text{C(Si)} \leq 0,5$ масс. %, $\text{C(Cl)} \leq 0,5$ масс. %, $\text{C(S)} \leq 0,07$ масс. %.

Оптимальным методом для количественного анализа Fe, Si, S и Cl является метод рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РСФА) [3]. Благодаря простой пробоподготовке и экспрессности метод РСФА широко используется в алюминиевой промышленности для контроля состава электролита и других материалов [4].

Для определения массовых долей Fe, Si, S и Cl методом РСФА был отградуирован рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр

Shimadzu XRF-1800 (Shimadzu, Япония). Суть процедуры градуировки заключается в построении регрессионной линейной зависимости между интенсивностью характеристического флуоресцентного излучения элемента и его концентрацией в образце [4] с использованием градуировочных или стандартных образцов (СО). В работе [2] были установлены концентрации Fe, Si, S и Cl в образцах «калиевого криолита», поступающего на производство. Для градуировки были выбраны синтетические градуировочные образцы (таблица 2), позволяющие установить зависимость во всем диапазоне концентраций Fe, Si, S и Cl в промышленных образцах.

Градуировочные образцы калиевого криолита измельчались в агатовой ступке до крупности не более 100 мкм., а затем прессовались в таблетки-излучатели на подложку из борной кислоты при давлении 20 т. и выдержке 10 с. Выбранные оптимальные режимы возбуждения аналитических K α -линий определяемых элементов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Режимы возбуждения и детектирования характеристических спектральных K α -линий

Элемент	Напр, кВ	Ток, мА	Кристалл	Детектор	Угол, 2 θ	Время выдержки, с
Fe	60	66	LiF	Sc	57,55	40
S	30	133	Ge	FPC	110,60	50
Si	30	133	PET	FPC	108,85	50
Cl	30	133	TAP	FPC	92,80	60

Примеры построенных градуировочных зависимостей с коррекцией на влияние калия [5], приведены на рисунке. СКО всех построенных градуировочных зависимостей, за исключением серы, $\sigma < 5$ % отн. (P=95), что свидетельствует об их пригодности для разработки методики исследования химического состава.

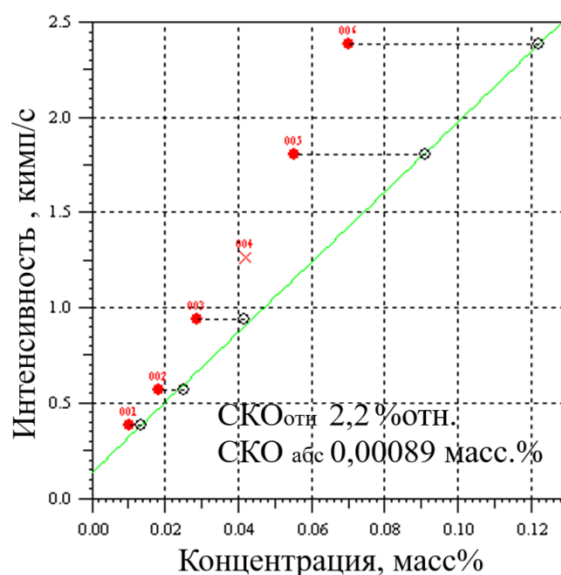
Таблица 3

Оценка пригодности градуировочных характеристик для определения Fe, Si, S и Cl

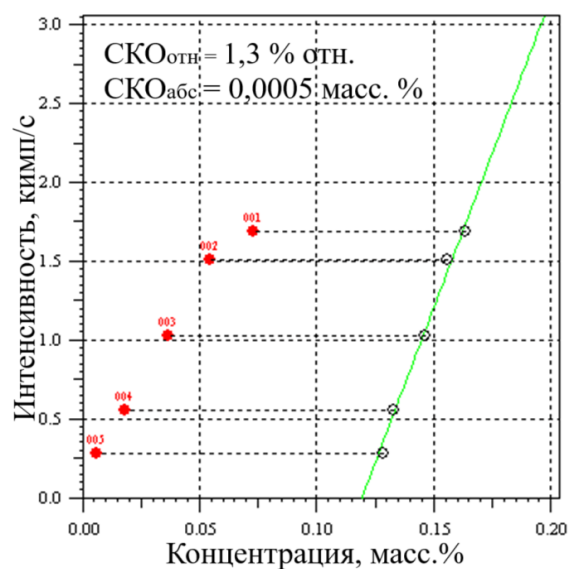
S	Si
0 , 0	0 ,

2,2

В дальнейшем будет улучшено качество градуировочной характеристики для серы, сформулирована методика исследования химического состава «калиевого криолита» и определены показатели погрешности методики. Разработанная методика будет апробирована на промышленных образцах «калиевого криолита».



а – Кремний (Si)
С



б – Хлор (Cl)
С

Рисунок. Градуировочные графики, построенные с учетом матричных коррекций на концентрацию калия. Белые точки – без коррекции, красные точки – с коррекцией

Список литературы

1. Ткачева О. Ю. Электролиты на основе калиевого криолита для низкотемпературного получения алюминия/ О. Ю. Ткачева, А. А. Редькин, А. А. Дедюхин, А. П. Аписаров, П. Е. Тиньгаев, Ю. П. Зайков // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 5. 2014. 7. 561–569.

2. Хуснутдинов Д. В. Изучение состава образцов калиевого криолита алюминиевого производства: специальность: выпуск. квалиф. раб.... 22.03.01 / Хуснутдинов Даниил Викторович. Крск. 2023. 59 с.

3. Рентгенофлуоресцентный анализ. Применение в заводских

лабораториях. Сб. научных трудов / Пер. с нем. под ред. Х. Эрхардта. М.: Металлургия. 1985. 256 с.

4. Безрукова О. Е. Комплексный аналитический контроль технологического состава электролита алюминиевого производства методами рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализа: автореф. дис... канд. техн. наук. 05.11.13 / Безрукова Оксана Евгеньевна. Крск. 2018. 150 с.

5. Павлова Т. О. Учет матричных эффектов при РФА гетерогенных порошковых материалов с использованием расчетных интенсивностей рентгеновской флуоресценции: автореф. дис... канд. техн. наук. 02.00.02 / Павлова Татьяна Олеговна. Иркутск. 2006. 21 с.

УДК 666.762.16

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕУПОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШАМОТНОЙ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

А. А. Бутенко¹

Научный руководитель М. М. Симун¹

Кандидат технических наук, доцент

Научный руководитель Р. Г. Еромасов¹

Кандидат технических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Шамотные огнеупоры являются критически важными материалами для металлургии, энергетики и химической промышленности, благодаря их способности выдерживать температуры свыше 1600°C. Однако истощение месторождений высококачественных глин и рост стоимости сырья требуют поиска альтернативных источников сырья. Одним из таких источников являются отходы алюминиевой промышленности, в частности, отработанная шамотная футеровка электролизеров. Ежегодно на Красноярском алюминиевом заводе образуется около 19-20 тыс. тонн таких отходов, что делает их использование в производстве огнеупоров экономически и экологически целесообразным.

В качестве исходных материалов использовались отработанная шамотная футеровка алюминиевого электролизера и тугоплавкая глина Кантатского месторождения. Химический состав шамотной футеровки представлен в таблице.

Таблица

Химический состав отработанной шамотной футеровки алюминиевого электролизера

Массовое содержание, %	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	SO_4^{2-}	F^-	п.п.п.
Отработанная шамотная футеровка	65,64	20,86	2,78	0,9	0,86	4,21	0,23	2,53	2,09

Шамотная футеровка была измельчена и фракционирована на ситовом анализаторе. Глина также была измельчена и смешана с шамотом в различных соотношениях (от 50 до 75 масс. %). Формование образцов осуществлялось методом полусухого прессования при давлении 35-50 МПа. Образцы подвергались сушке и высокотемпературному обжигу при температуре 1250°C с изотермической выдержкой 2 часа.

На рисунке 1 представлена зависимость водопоглощения от содержания шамотной футеровки в керамической массе. При увеличении содержания отходов до 75 масс. % водопоглощение снижается до 12%, что связано с образованием жидкой фазы в процессе обжига.

Это объясняется плавлением минерализирующих компонентов футеровки (NaF и Na_3AlF_6) в температурном интервале 1000-1100°C, что способствует интенсификации процессов спекания.

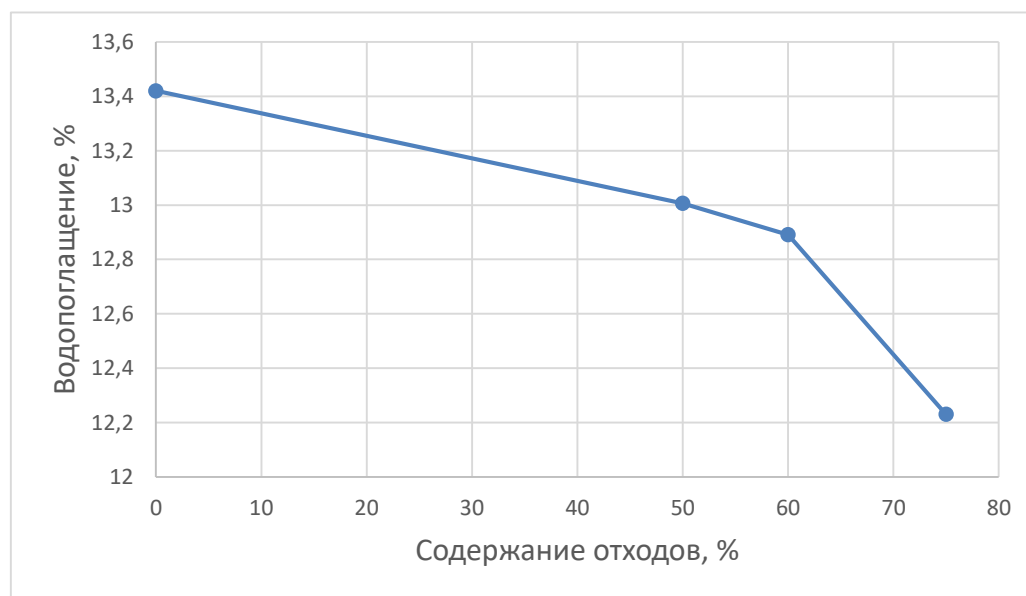


Рисунок 1. Зависимость водопоглощения от содержания шамотной футеровки

На рисунке 2 показана зависимость кажущейся плотности от содержания шамотной футеровки. Максимальная плотность (1,98 г/см³) достигается при содержании отходов 75 масс.%. Это связано с увеличением плотности

керамического черепка за счет образования жидкой фазы и снижения пористости.

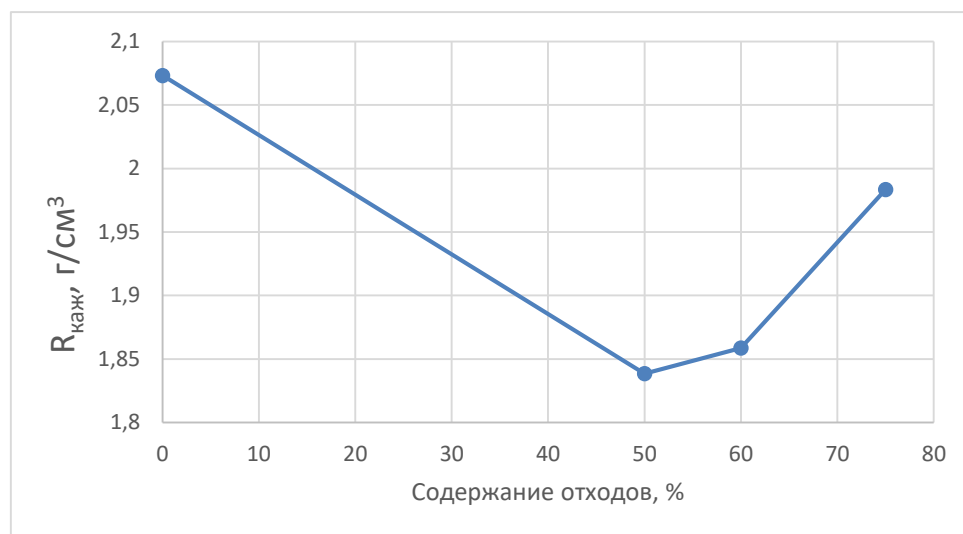


Рисунок 2. Зависимость кажущейся плотности от содержания шамотной футеровки

Использование отработанной шамотной футеровки алюминиевых электролизеров в качестве сырья для производства огнеупоров позволяет оптимизировать их физико-механические свойства. При содержании отходов 75 масс. % достигается минимальное водопоглощение (12%) и максимальная кажущаяся плотность (1,98 г/см³). Это подтверждает эффективность применения отходов алюминиевой промышленности в производстве огнеупоров. Результаты исследования демонстрируют, что использование отходов не только снижает экологическую нагрузку, но и позволяет получить материалы с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Список литературы

1. Камерон Дж. Шамотные огнеупоры в пирометаллургических процессах // Прикладная наука о глине. 1987. 2. С. 187–192.
2. Боровкова Л. Изменение структуры и некоторых свойств промышленных алюмосиликатных огнеупоров при длительном отжиге при высоких температурах / Л. Боровкова, Е. Лукин, Д. Полубояринов // Огнеупоры. 1971. 12. С. 372–375.
3. Bokov D. Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application / D. Bokov // Abduladheem Turki Jalil, Supat Chupradit, Wanich Suksatan. 2021.
4. Хлыстов А. Повышение эффективности производства жаростойкого бетона за счет использования шламового техногенного сырья / А. Хлыстов, В. Широков, А. Власов // Procedia Engineering. 2015. 111. С. 290–296.

УДК 669

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ОКСИДА СКАНДИЯ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РАСПЛАВАХ KF-AlF₃

Д. Ю. Варюхин¹, И. М. Моисеенко¹, А. С. Ясинский¹, П. О. Юрьев¹

Научный руководитель П. В. Поляков¹

Доктор химических наук, профессор

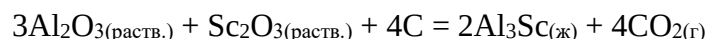
Научный руководитель О. В. Юшкова¹

кандидат технических наук

¹Сибирский федеральный университет

Алюминиево-скандиевые лигатуры важны для производства многофункциональных алюминиевых сплавов и композитов [1]. Сплавы Al-Sc используются в изделиях, требующих высоких прочностных свойств. Они идеально подходят для спортивной, автомобильной, аэрокосмической промышленности и т.д. [2]. Однако широкому внедрению сплавов Al-Sc препятствуют высокие производственные затраты. Лигатуры Al-Sc в основном изготавливаются методом алюминотермического восстановления с использованием солей скандия при температуре около 900°C [1]. Процесс требует дорогостоящего фторида скандия и чистого алюминия, что увеличивает общую стоимость производства.

Альтернативный и более экономичный подход к производству лигатур Al-Sc включает использование относительно недорогого Sc₂O₃ в электролизерах для получения первичного алюминия по реакции [3]:



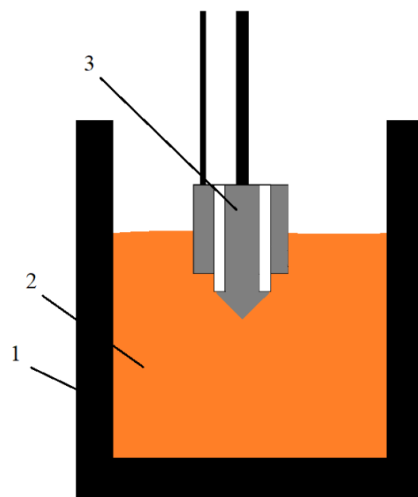
Этот метод также исключает несколько этапов традиционного производства лигатур, например охлаждение, транспортировка, последующий нагрев алюминия и т.д. [3, 4]. Однако могут возникать технологические проблемы при изменении скорости растворения Sc₂O₃. При медленном растворении Sc₂O₃ образуются непроводящие ток осадки на катоде, что увеличивает энергозатраты. При быстром растворении Sc₂O₃ образуются конусы на аноде и возникают анодные эффекты. Для предотвращения проблем необходимо знать скорость растворения Sc₂O₃ в зависимости от его концентрации.

Цель работы — определить скорость растворения Sc₂O₃ вольтамперометрическим методом в низкотемпературных электролитах KF-AlF₃ при 850 °C.

В работе использовался расплав системы KF-AlF₃ с криолитовым отношением [KF]/[AlF₃] = 1,3. Объем электролита составлял 250 см³

Для определения скорости растворения Sc₂O₃ использовался метод критической плотности тока, в котором регистрирует зависимость тока от потенциала индикаторного электрода, который линейно изменяется во времени (хроновольтамперометрия) [5].

Определение скорости растворения Sc₂O₃ проводили в электрохимической ячейке, схема которой представлена на рисунке 1.



1 – графитовый тигель; 2 – электролит системы KF-AlF₃ с КО = 1,3; 3 – датчик для определения концентрации Sc₂O₃.

Рисунок 1. Схема электрохимической ячейки для определения скорости растворения оксидов РЗМ.

В ходе опыта Sc₂O₃ загружали по 1 % мас. Было загружено 5 % мас. Sc₂O₃. По вольтамперограммам, после математической обработки, построены зависимости концентрации от времени. Так как 80 % навески растворяется намного быстрее оставшихся 20 % [8], используя линии тренда зависимостей тока пика от времени находили время растворения 80% навески Sc₂O₃. Используя время растворения, определяли скорость растворения по уравнению:

$$v = \frac{m}{V \cdot \tau_p}$$

где:

v – скорость растворения;

m – масса навески;

V – объем электролита (растворителя);

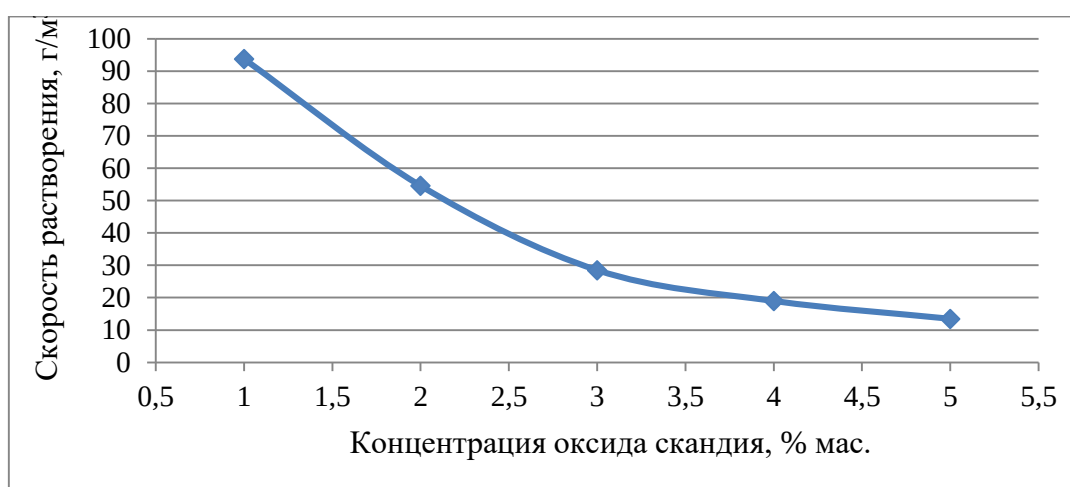
τ_p – время растворения навески.

Были определены зависимости скорости растворения Sc_2O_3 от его содержания в электролите. Результаты представлены в таблице и на рисунке 2.

Таблица

Время и скорость растворения Sc_2O_3 для разных концентраций

Sc_2O_3 , % мас.	Время растворения, с	Средняя скорость растворения, $\text{г/м}^3\cdot\text{с}$
1	192	93,75
2	330	54,55
3	632	28,48
4	950	18,95
5	1339	13,44

Рисунок 2. Зависимость скорости растворения от содержания Sc_2O_3

Скорость растворения Sc_2O_3 уменьшается с увеличением его концентрации в электролите. Определены время и скорость растворения Sc_2O_3 вольтамперометрическим методом (критической плотности тока) в электролите заданного состава и при разных концентрациях. Относительная погрешность измерения концентрации Sc_2O_3 данным методом составила 4-11%. Время и скорость растворения Sc_2O_3 изменялись от 192 до 1339 с и от 13,44 до 93,75 $\text{г/м}^3\cdot\text{с}$ соответственно в зависимости от содержания Sc_2O_3 растворенного в электролите. Скорость растворения уменьшается примерно в 1,5 - 2 раза при увеличении концентрации Sc_2O_3 на 1 % мас. в диапазоне концентраций от 1 до 5 % мас.

Работа выполнена в рамках государственного задания на науку ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», номер проекта FSRZ-2024-0004.

Список литературы

1. Nikolaev A. Y. Electrowinning of aluminum and scandium from $\text{KF-AlF}_3\text{-Sc}_2\text{O}_3$ melts for the synthesis of Al-Sc master alloys / A. Y. Nikolaev, A. V.

Suzdaltsev, Y. P. Zaikov // Journal of The Electrochemical Society. 2019. 166 (8). D252–D257.

2. Rhamdani A. R. The Production of Rare Earth based Magnesium and Aluminium Alloys / A. R. Rhamdani, et al. // A Review Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2023. 46 (3).

3. Yasinskiy A. Electrowinning of Al-Sc Master Alloys in the LiF-AlF₃-Sc₂O₃ Melts / Andrey Yasinskiy, Ilya Moiseenko, Dmitriy Varyukhin, Anastasia Saparova, Aleksandr Samoilov, Pavel Yuryev, Youjian Yang, Zhongning Shi, Zhaowen Wang, Peter Polyakov, and Bernd Friedrich // Light Metals. 2024. P. 608-613.

4. Shtefanyuk Y. Electrolytic and Electroless Fabrication of Al-Sc Alloys in KF-NaF-AlF₃ Electrolytes / Y. Shtefanyuk, V. Mann, V. Pingin, D. Vinogradov, Y. Zaikov, O. Tkacheva, A. Nikolaev, and A. Suzdaltsev // Light Metals. 2015.

5. Исаева Л.А. Глинозем и его поведение в алюминиевых электролизерах: монография; рец.: В.И. Савинов, В.Ю. Бузунов / Л.А. Исаева, Ю.Г. Михалев, П.В. Поляков. 2020. 229 с.

УДК 541.138:546.742

ПИНЦЕРНЫЕ ^{Ph}РОСОР^{Ph} КОМПЛЕКСЫ НИКЕЛЯ(II) В РЕАКЦИЯХ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОТОНОВ ДО ВОДОРОДА

С. А. Воронов^{1,2}

Научный руководитель Д. В. Зимонин^{1,2}

Кандидат химических наук, доцент

Научный руководитель Г. В. Бурмакина¹

Доктор химических наук, главный научный сотрудник

¹Сибирский федеральный университет

Глобальное потепление и истощение углеводородов стимулируют поиск экологически чистых и возобновляемых источников энергии, среди которых перспективным является водород [1]. Однако традиционный метод его производства из природного газа не позволяет снизить зависимость от углеводородного сырья и уменьшить выбросы парниковых газов в атмосферу. В связи с этим возникает необходимость использования альтернативных методов. Наиболее перспективен электрохимический способ получения водорода с применением высокоэффективных катализаторов. В качестве таких катализаторов могут выступать пинцерные комплексы, которые хорошо зарекомендовали себя в качестве катализаторов различных процессов [2], включая электровосстановление протонов до водорода (ЭВП) [3].

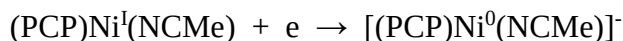
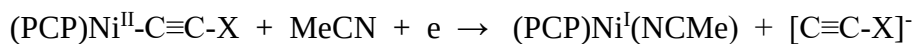
Целью настоящей работы является исследование возможности пинцерных комплексов никеля(II) с терминальными алкинильными лигандами ($^{\text{Ph}}\text{POCOP}^{\text{Ph}}$)Ni-C $\equiv$ C-X (X = COOCH₃ (1), COOC₂H₅ (2), (4-C₆H₃N₂S) (3)) катализировать реакции электрохимического восстановления протонов до водорода. Комплексы 1-3 синтезированы в лаборатории МСиА ИХХТ СО РАН Волковой Д.С., Верпекиным В.В. и Чудиным О.С.

На первом этапе работы методами циклической вольтамперометрии (ЦВА) на платиновом (Pt) и стеклоуглеродном (СУ) электродах изучены редокс-свойства комплексов 1-3 в ацетонитриле.

Установлено, что в анодной области ЦВА для комплексов 1-3 на Pt и СУ электродах наблюдаются одноэлектронные необратимые волны окисления, связанные с изменением степени окисления металлоцентра с Ni(II) до Ni(III).

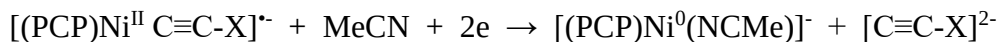
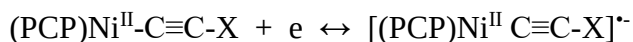
Восстановление комплексов 1-3 зависит от природы терминального алкинильного лиганда (рисунок 1а). Комплексы 1 и 2 восстанавливаются на СУ электроде в две необратимые одноэлектронные стадии. Для комплекса 3 на СУ наблюдается первая обратимая одноэлектронная и вторая необратимая двухэлектронная стадии. Обратимость первой волны восстановления комплекса 3 обусловлена наличием электроактивного бензотиадиазольного лиганда.

На основании полученных результатов предложены следующие схемы восстановления комплексов 1-2:



где (PCP) = ($^{\text{Ph}}\text{POCOP}^{\text{Ph}}$), X = COOCH₃, COOC₂H₅.

Восстановление комплекса 3 протекает по другому механизму:



где (PCP) = ($^{\text{Ph}}\text{POCOP}^{\text{Ph}}$), X = (4-C₆H₃N₂S).

На втором этапе для исследования способности комплекса катализировать ЭВП методом ЦВА на СУ электроде исследованы редокс-свойства пинцерных комплексов Ni(II) (1-3) в ацетонитриле с добавлением доноров протонов - HBF₄·Et₂O¹. Установлено, что редокс-превращения комплексов 1-3 в ацетонитриле в присутствии HBF₄ и их устойчивость в реакциях ЭВП зависят от

¹ далее HBF₄

природы терминального алкинильного лиганда и количества добавленных протонов.

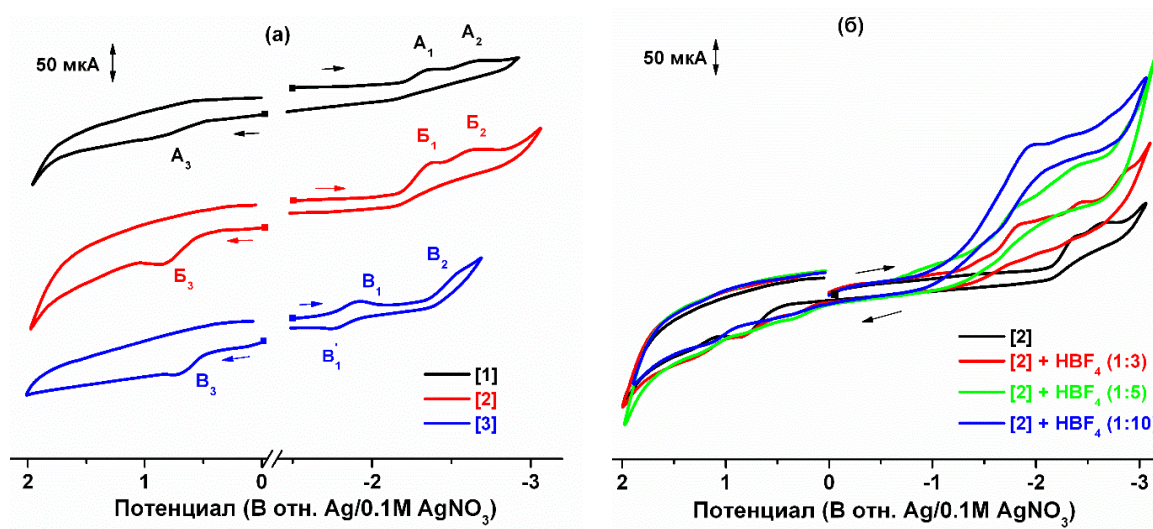


Рисунок 1. ЦВА на СУ электроде: (а) – комплексов 1-3; (б) – комплекса 2 с HBF_4 в различных соотношениях

Показано, что комплексы 1-2 устойчивы при добавлении до 5 частей HBF_4 (рисунок 1б); соединение 3 выдерживает до 3 частей HBF_4 . При этом известно [4], что в кислой среде для комплексов никеля(II) наблюдается отщепление терминального лиганда с образованием ацетонитрильного комплекса Ni(II) , который является каталитически активным интермедиатом.

На основании полученных результатов предложена следующая схема ЭВП в присутствии пинцерных $\text{Ph}_2\text{P}_2\text{OCOR}^{\text{Ph}}$ комплексов никеля(II):

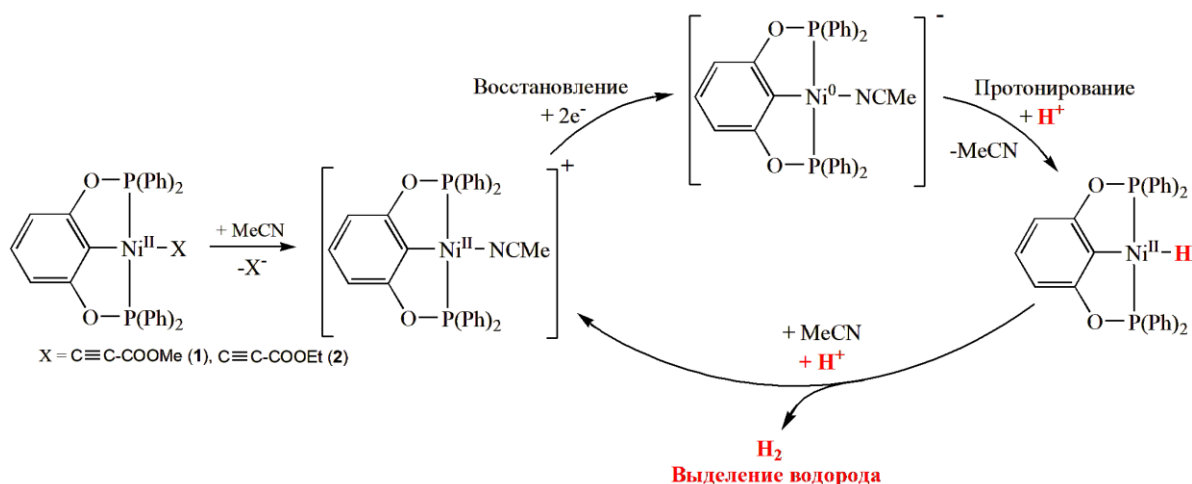


Рисунок 2. Механизм ЭВП в присутствии пинцерных комплексов 1, 2.

Показано, что пинцерные $\text{Ph}_2\text{P}_2\text{OCOR}^{\text{Ph}}$ комплексы никеля(II) с терминальными алкильными лигандами проявляют каталитическую

активность в реакции электрохимического восстановления протонов до водорода.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект FWES-2021-0012).

Список литературы

1. Yosef S. Hydrogen as a clean and sustainable energy for green future // Sustainable Technologies for Green Economy. 2021. Vol. 1(1).
2. Piccirilli L., Pinheiro D. L. J., Nielsen M. Recent Progress with Pincer Transition Metal Catalysts for Sustainability // Catalysts. 2020. Vol. 10(7). P. 773.
3. Lawrence M.A.W., Thompson C., Lorraine S.C. Pincer complexes in photo- and electro-catalytic hydrogen evolution (HER) and carbon dioxide reduction reactions (CO₂RR) // Inorganica Chimica Acta. 2024. Vol. 560. P. 121829.
4. Kaur-Ghumaan S., Hasche P., Spannenberg A., Beweries T. Nickel(II) PE¹CE²P pincer complexes (E = O, S) for electrocatalytic proton reduction // Dalton Transactions. 2019. Vol. 48(43). P. 16322-16329.

УДК 541.138: 546.922

ПИНЦЕРНЫЕ ^{Ph}РОСОР^{Ph} КОМПЛЕКСЫ ПЛАТИНЫ(II) В РЕАКЦИЯХ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОТОНОВ ДО ВОДОРОДА

А. А. Гузей^{1,2}

Научный руководитель Д. В. Зимонин^{1,2}

Кандидат химических наук, доцент

Научный руководитель Г. В. Бурмакина¹

Доктор химических наук, главный научный сотрудник

²Сибирский федеральный университет

Пинцерные комплексы переходных металлов – это соединения с особой тридентатной координацией лиганда. Они обладают уникальным балансом стабильности и реакционной способности, который поддерживается за счет модификаций групп доноров. Благодаря этому пинцерные комплексы широкое применение в катализе [1-2], в частности, в электрохимическом восстановлении протонов до водорода (ЭВП) [3]. Способность пинцерных комплексов платины (II) РОСОР-типа катализировать ЭВП практически не изучена по сравнению с аналогичными комплексами никеля (II).

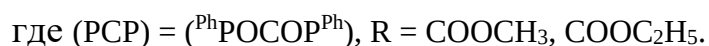
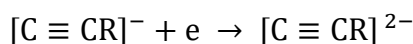
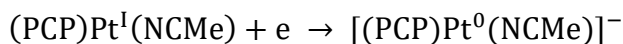
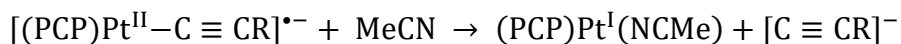
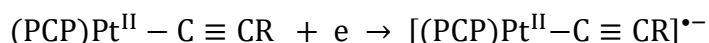
Цель работы – исследование механизмов электрокаталитического восстановления протонов до водорода с участием пинцерных комплексов

платины (II), содержащих терминальные алкинильные лиганды: ($^{\text{Ph}}\text{POCOP}^{\text{Ph}}$)Pt-C $\equiv$ C-X (X = COOMe (1), COOEt (2), Ph (3), 4-btd (4) [Me = CH₃, Et = C₂H₅, Ph = C₆H₅, btd = C₆H₃N₂S]). Комплексы 1-4 синтезированы в лаборатории МСиА ИХХТ СО РАН Волковой Д.С., Верпекиным В.В. и Чудиным О.С.

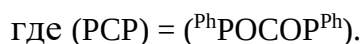
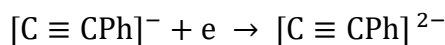
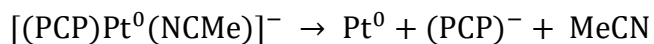
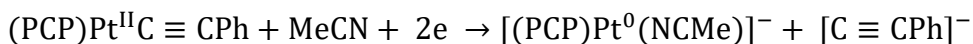
На первом этапе работы методами циклической вольтамперометрии (ЦВА) на Pt и СУ электродах (рис. 1а) и полярографии на р.к.э. изучены редокс-свойства комплексов 1-4 и их прекурсоров в ацетонитриле или в смеси ацетонитрил/бензол (4/1).

Установлено, что окисление комплексов 1-4 на Pt и СУ электродах протекает в одну двухэлектронную стадию с изменением степени окисления металлоцентра Pt(II) до Pt(IV).

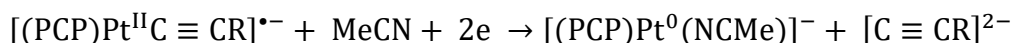
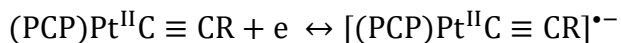
Восстановление комплексов 1-4 протекает по разным механизмам в зависимости от природы терминального лиганда. При восстановлении комплексов 1, 2 на первой стадии присоединение одного электрона приводит к образованию неустойчивого анион-радикала, который распадается с отщеплением алкинильного лиганда. Вторая одноэлектронная стадия связана с восстановлением образовавшегося комплекса Pt(I) и переходом Pt(I) в Pt(0), третья - с восстановлением алкинильного фрагмента до дианиона по следующей схеме:



Комплекс 3 на СУ электроде восстанавливается в одну двухэлектронную стадию с образованием анионов ацетонитрильного комплекса платины(0) и алкинильного фрагмента. На р.к.э. наблюдается вторая одноэлектронная стадия восстановления. Капля ртути при этом покрывается черным налетом, что свидетельствует об образовании металлической платины:



В отличие от комплекса 3, первая одноэлектронная стадия восстановления комплекса 4 квазиобратима и протекает при потенциалах близких с восстановлением бензотиадиазольного фрагмента. Дальнейшие редокс-превращения аналогичны комплексу 3:



где $(\text{PCP}) = (\text{PhPOCOP}^{\text{Ph}})$, $\text{R} = 4\text{-btd}$.

Таким образом, комплексы 1-2 восстанавливаются по ЕСЕЕ-механизму, комплекс 3 – по ЕСЕ-механизму, комплекс 4 – по ЕЕСЕ-механизму, где Е – электрохимическая стадия, С – химическая.

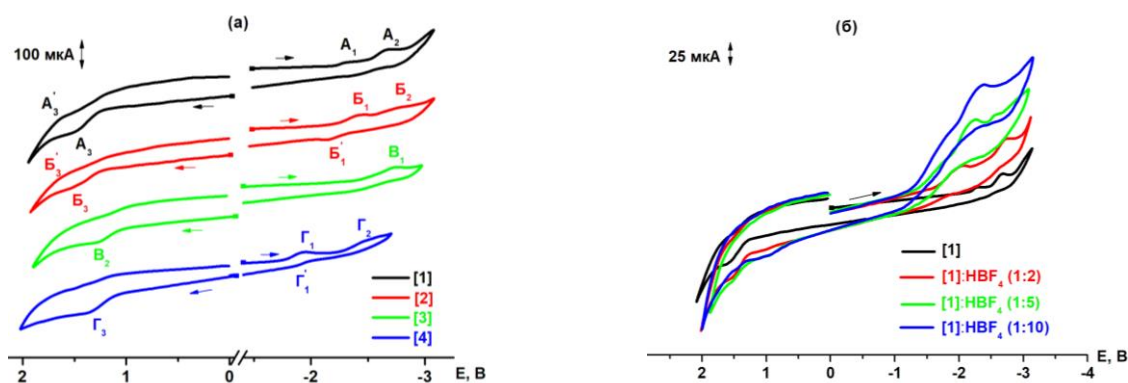


Рисунок 1. ЦВА на СУ электроде

Для исследования способности комплексов 1–4 катализировать электрохимическое восстановление протонов до водорода изучены их редокс-превращения на СУ электроде в ацетонитриле с добавлением доноров протонов $\text{HBF}_4 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ (рис. 1б). Показано, что комплексы 1-4 катализируют реакцию ЭВП, однако их стабильность зависит от количества добавленных протонов. Комплексы устойчивы до пятикратного добавления избытка кислоты (уменьшаются волны окисления и появляются новые волны восстановления), дальнейшее добавление протонов приводит к распаду комплексов (рис. 1б). В кислой среде для комплексов может наблюдаться отщепление терминального лиганда с образованием ацетонитрильного комплекса $\text{Pt}(\text{II})$.

Предложена следующая схема электрокаталитического восстановления протонов до водорода с участием пинцерных комплексов платины 1-4:

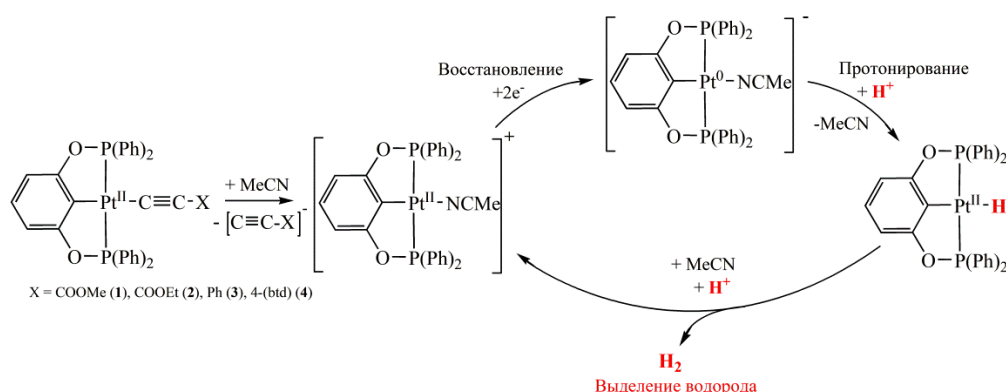


Рисунок 2. Механизм ЭВП в присутствии пинчерных комплексов 1-4

Показано, что ключевой стадией в этой схеме является кислотно-инициируемое элиминирование терминального лиганда X с образованием интермедиата $[(^{\text{Ph}}\text{POCOR}^{\text{Ph}})\text{Pt}^{\text{II}}(\text{NCMe})]^+$, который непосредственно участвует в электрокаталитическом цикле восстановления протонов до водорода.

Таким, образом, пинчерные комплексы платины (II) с терминальными алкильными лигандами могут выступать в качестве прекатализаторов электровосстановления протонов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект FWES-2021-0012).

Список литературы

1. Serrano-Becerr J. M., Morales-Morales D. Applications in Catalysis and Organic Transformations Mediated by Platinum Group PCP and PNP Aromatic-Based Pincer Complexes: Recent Advances // Current Organic Synthesis. 2009. Vol. 6(2). P. 169–192.
2. Jayaprakash H. Mn(I) phosphine-amino-phosphinites: a highly modular class of pincer complexes for enantioselective transfer hydrogenation of aryl-alkyl ketones // Dalton Transactions. 2021. Vol. 50(40). P. 14115–14119.
3. Lawrence M. A.W., Thompson C., Lorraine S. C. Pincer complexes in photo- and electro-catalytic hydrogen evolution (HER) and carbon dioxide reduction reactions (CO₂RR) // Inorganica Chimica Acta. 2024. Vol. 560. P. 121829.

УДК 666.9-127

РАЗРАБОТКА КЕРАМИКИ С УПРАВЛЯЕМОЙ ПОРИСТОСТЬЮ НА ОСНОВЕ НАНОВОЛОКНА ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

А. С. Демьянов^{1,2}

Научный руководитель С. С. Добросмыслов^{1,2}

Кандидат технических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Волокнистая керамика представляет собой относительно новый класс материалов, нашедший применение в разнообразных промышленных секторах. Её востребованность обусловлена сочетанием исключительных характеристик, включая устойчивость к высоким температурам, значительную механическую прочность, стойкость к химическим воздействиям, малый вес, гибкость и хорошие диэлектрические свойства [1].

Этот материал демонстрирует широкий спектр потенциальных применений в различных отраслях, таких как строительство, авиационно-космическая промышленность, энергетика и металлургия. В аэрокосмической отрасли волокнистая керамика используется для разработки теплозащитных покрытий и компонентов, способных функционировать в условиях экстремальных температур и механических нагрузок. В энергетике она применяется в качестве теплоизоляции и в конструкциях, работающих в агрессивных средах, например, в газовых турбинах [3].

В металлургической промышленности она используется для производства фильтров и деталей, устойчивых к коррозии расплавленными металлами. Одной из ключевых особенностей является её высокая эффективность в фильтрации. Это обусловлено развитой пористой структурой и большой площадью поверхности. Благодаря этому, керамика эффективно задерживает частицы, оказывая при этом минимальное сопротивление потоку. Кроме того, материалы устойчивы к химически агрессивным средам, легко восстанавливаются и могут быть адаптированы для решения конкретных задач фильтрации.

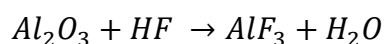
γ - Al_2O_3 обладает высокой пористостью, значительной удельной поверхностью, а также термической стабильностью. В промышленности γ - Al_2O_3 используется в качестве адсорбента, катализатора и носителя катализаторов в таких отраслях как нефтехимия и экология, кроме этого, γ - Al_2O_3 эффективно показывает себя в процессах очистки [5].

Научными сотрудниками ФИЦ КНЦ СО РАН разработана методика получения наноразмерного нановолокна γ - Al_2O_3 направленным окислением алюминия из его расплава. Данная методика позволяет формировать наноразмерные волокна с достаточно малым диаметром (5-50 нм) и длиной

порядка (l) 1 см, образуя при этом переплетённые пучки оксида алюминия. Они характеризуются уникальными свойствами, такими как малый диаметр (d) и высокое аспектное соотношение ($l/d > 1000$), что превосходит имеющиеся на данный момент аналоги [6].

Плавиковая кислота позволяет нарушать структуру керамики на основе оксида алюминия [7], параллельно с этим проводя химическое травление поверхности керамики. Этот эффект приводит к снижению энергии активации фазового перехода из γ - в α , а также к интенсификации керамических процессов. Следовательно, плавиковая кислота может выступать в качестве минерализатора при спекании оксида алюминия, что приводит к снижению температуры получения, улучшению физико-механических свойств и повышению однородности микроструктуры, что в свою очередь улучшает эксплуатационные характеристики керамических изделий [7].

При обработке γ - Al_2O_3 плавиковой кислотой происходит образование на поверхности частиц фторида алюминия (AlF_3) в результате химической реакции:



Согласно проведенным термодинамическим расчетам, образовавшийся фторид алюминия полностью разлагается при температуре 700 °С, следовательно, данная температура при обжиге была выбрана в качестве начальной [7]. При температуре 1000 °С начинается фазовый переход из γ - Al_2O_3 в κ - Al_2O_3 , что приводит к разрушению волокнистой структуры материала. Исходя из этого температура 1000°С была выбрана в качестве максимальной [7]. Промежуточные температуры обжига были взяты с интервалом в 100°С. После обработки нановолокна оксида алюминия плавиковой кислотой и обжига данного материала были получены микрофотографии структуры волокнистой керамики, приведенные на рисунке.

Как видно из рисунка, структура волокон не нарушена для керамики, находящейся в γ -форме, т.е. при обжиге на температурах 700-800°С. При температуре 900°С в керамическом материале начинает преобладать α - Al_2O_3 , на микрофотографии можно наблюдать образование гексагональных пластин. Разрушение волокнистой структуры происходит в несколько этапов. Сначала образуются аморфные конгломераты, которые постепенно переходят в пластины гексагональной формы. Для керамического материала, термообработанного при температуре 1000 °С, наблюдается расслоение гексагональных пластин, что объясняется значительным преобладанием α - Al_2O_3 .

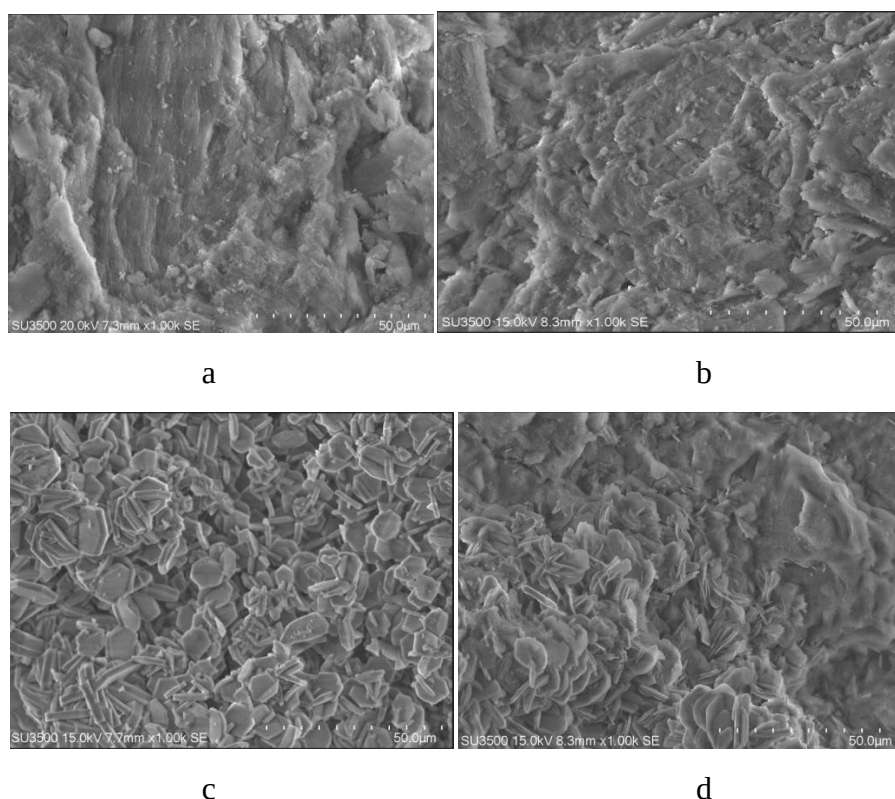


Рисунок. Микрофотографии, полученные при обработке нановолокна оксида алюминия плавиковой кислотой, обожженные при различных температурах: (a) – 700 °C; (b) – 800 °C; (c) – 900 °C; (d) – 1000 °C

Список литературы

1. Baldus P. Ceramic Fibers for Matrix Composites in High-Temperature Engine Applications. / P. Baldus, M. Jansen, D. Sporn // Science. 1999. 285. P. 699–703. DOI: 10.1126/science.285.5428.699.
2. Saruhan B. Oxide-Based Fiber-Reinforced Ceramic-Matrix Composites: Principles and Materials / B. Saruhan // Springer Science & Business Media. 2003.
3. Hevorkian E.S. Foamy Ceramic Filters and New Possibilities of Their Applications / E.S. Hevorkian, V.P. Nerubatskyi, R.V. Vovk, T. Szumiata, J.N. Latosińska // Ceram. Int. – 2024. – 50. – P. 6961-6968. DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.01.012.
4. Dobrosmyslov S.S. Investigation of the Effect of Nanoscale Alumina Fiber on the Heat Resistance of Refractory Concrete / S.S. Dobrosmyslov, M.M. Simunin, A.S. Voronin, Y.V. Fadeev, V.E. Zadov, G.E. Nagibin, S.V. Khartov // Refract. Ind. Ceram. 2021. 61. P. 704–708. DOI: 10.1007/s11148-021-00585-7.
5. Peng S. Effect of Halide Mineralizers on Monodisperse Spherical Zircon Powders. / S. Peng, H. Yang, Z. Chen, Q. Huang, X. Xia, Z. Wang, B. Lei // J. Am. Ceram. Soc. 2021. 104. P. 2849–2859. DOI: 10.1111/jace.17781.
6. Damoah L.N.W. AlF_3 Reactive Al_2O_3 Foam Filter for the Removal

of Dissolved Impurities from Molten Aluminum: Preliminary Results. / L.N.W. Damoah, L. Zhang // Acta Mater. 2011. 59. P. 896–913. DOI: 10.1016/j.actamat.2010.10.052.

7. Demyanov A.S. Investigation of the influence of hydrofluoric acid and sintering temperature on the sintering processes and phase formation in alumina nanofiber-based ceramics / A.S. Demyanov, S.S. Dobrosmyslov, G.E. Nagibin, A.S. Voronin, M.M. Simunin, A.A. Kyylar, M. Molokeev, M.A. Perykova, S.V. Khartov // Engineering, Technology & Applied Science Research. 2025. P. 12.

УДК 574*581.9*579.2

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗ СОЛОМЫ ПШЕНИЦЫ

В. С. Емельянова¹

Научный руководитель Н. В. Гарынцева²

Кандидат химических наук

¹*Сибирский федеральный университет*

Гемицеллюлозы - являются вторым по распространенности после целлюлозы природным полисахаридом. Они представляют собой гетерополисахариды с неупорядоченной полимерной структурой, состоящие из остатков пентоз и гексоз [1]. Согласно прогнозам, рынок гемицеллюлозы будет расти с совокупным годовым темпом примерно на 8,5% до 2028 года [2]. Это связано с многочисленными востребованными свойствами, которыми они обладают. В пищевой промышленности гемицеллюлозы применяют в качестве стабилизатора и эмульгатора при производстве соусов и выпечки. Фармацевтический сектор использует гемицеллюлозы в лекарственных препаратах из-за их хорошей биосовместимости и способности улучшать растворимость лекарственных средств, а также благодаря антиоксидантным, антимикробным и антикоагулянтным свойствам. Состав и свойства гемицеллюлоз в значительной степени зависят от природы растительного сырья и способов их получения.

Отходы растительного происхождения обладают уникальным потенциалом для получения гемицеллюлоз и производства на их основе ценных химических веществ. В РФ крупнотоннажным лигноцеллюлозным отходом является солома пшеницы, которая ежегодно накапливается в объемах свыше 200 млн. т. [3]. Ранее было показано, что из соломы пшеницы с использованием

метода пероксидной делигнификации можно получать целлюлозу с характеристиками, аналогичными промышленной микрокристаллической целлюлозы [3]. Побочным продуктом данного процесса являются гемицеллюлозы, содержащиеся в отработанном реакционном растворе. Состав и строений гемицеллюлоз соломы пшеницы, выделенных в процессе пероксидной делигнификации, ранее изучены не были.

Целью работы являлось выделение гемицеллюлоз из соломы пшеницы с использованием метода пероксидной делигнификации в среде «уксусная кислота-вода» в присутствии катализатора TiO_2 , анализ полученных образцов физико-химическими методами, изучение их антиоксидантной активности.

Из реакционного раствора, полученного после пероксидной делигнификации соломы пшеницы, методом дробного осаждения были выделены две фракции гемицеллюлоз: спиртовая (этанол) и ацетоновая. Оба образца гемицеллюлоз представляют собой мелкодисперсные порошки светло-желтого цвета, хорошо растворимые в воде. Выход спиртовой фракции гемицеллюлоз составил 11,5 %, ацетоновой фракции гемицеллюлоз – 4,3 % от массы исходной навески соломы пшеницы.

Относительное содержание моносахаридов, входящих в состав гемицеллюлоз соломы пшеницы представлено в таблице.

Таблица

Относительное содержание моносахаридов в гидролизатах гемицеллюлоз, выделенных из соломы пшеницы (по данным газовой хроматографии)

Образец	Содержание моносахаридов в гидролизатах, отн. %				
	Манноза	Глюкоза	Галактоза	Ксилоза	Арабиноза
спиртовая фракция гемицеллюлоз	0,3	11,8	2,9	80,7	4,3
ацетоновая фракция гемицеллюлоз	0,4	16,2	3,0	78,5	2,0

На ИК-спектрах обоих образцов гемицеллюлоз присутствуют полосы поглощения, характерные для нецеллюлозных полисахаридов, а также полосы поглощения при 1727 см^{-1} ($-\text{C}=\text{O}$), 1373 см^{-1} ($-\text{C}-\text{CH}_3$), 1242 см^{-1} ($-\text{C}-\text{O}-$), указывающие на присутствие ацетильных групп в выделенных образцах гемицеллюлоз. Это свидетельствует о том, что метод пероксидной делигнификации позволяет сохранять ацетильные группы в составе гемицеллюлоз, наличие которых характерно для природных гемицеллюлоз. Рассчитанные по данным ИК спектроскопии значения степени ацетилирования выделенных гемицеллюлоз составляют 0,20 и 0,27 для спиртовой и ацетоновой

фракций соответственно. Для нативных гемицеллюлоз травянистого происхождения значение степени ацетилирования находится в пределах 0,2- 0,4.

Дробное осаждение позволяет получать фракции гемицеллюлоз, различающиеся по молекулярной массе. Значение средневесовой молекулярной массы спиртовой фракции гемицеллюлоз (M_w) в 2,3 раза больше значения M_w для ацетоновой фракции гемицеллюлоз и составляют 6546 г/моль и 2815 г/моль соответственно. Оба образца выделенных гемицеллюлоз имеют высокую полидисперсность, которая составила для спиртовой и ацетоновой фракции 4,54 и 3,88, соответственно.

Термические свойства образцов гемицеллюлоз были изучены методом термического анализа. Согласно данным ДТА, термическая деструкция обоих образцов гемицеллюлоз имеет схожий характер и протекает в три этапа.

На первом этапе наблюдаемая до 100 °С потеря массы образцами обусловлена удалением адсорбционной воды. На втором этапе термической деструкции в интервале температур (200 – 310 °С) происходит интенсивное разложение полисахаридов, сопровождающееся разрывом гликозидных и С–С связей в моносахаридных звеньях, реакциями отщепления уксусной кислоты (реакция термического β -элиминирования). Третий этап потери массы (350-500 °С) происходит при невысокой и постоянной скорости.

Антиоксидантная активность, определенная ферро-/феррицианидным спектрофотометрическим методом для спиртовой фракции, составила 58,5 мг/г, для ацетоновой фракции 88,8 мг/г в пересчете на аскорбиновую кислоту.

Список литературы

1. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 620 с.
2. Verified market reports, 2015: Hemicellulose Market Insights, 2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/hemicellulose-market-size-and-forecast/> [дата обращения 02.04.2023].
3. Делигнификация соломы пшеницы смесью уксусной кислоты и пероксида водорода в присутствии сернокислого катализатора/ Б.Н. Кузнецов, В.Г. Данилов, И.Г. Судакова, О.В. Яценкова, Н.В. Гарынцева //Химия растительного сырья. 2009. №4. С. 39-44.

УДК 54-162.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ $\text{BaMg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Al}_{10}\text{O}_{17}:\text{Cr}^{3+}$ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АГРОФОТОНИКЕ

А. О. Золотов¹

Научный руководитель М. С. Молокеев^{1,2}

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Современные тепличные комплексы активно развиваются, внедряя инновационные технологии для увеличения урожайности и точного контроля условий выращивания растений. Одним из ключевых факторов, способствующих росту и развитию сельскохозяйственных культур, является свет, а ближний инфракрасный (NIR) диапазон играет особую роль в фотосинтезе и регуляции физиологических процессов растений. Для создания эффективных источников NIR-излучения перспективны светодиоды на основе люминофоров (pc-LED), обладающие высокой энергоэффективностью и гибкостью спектра.

Целями данной работы было изучение влияния изовалентного замещения $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ на кристаллическую структуру, оптические свойства и термическую стабильность люминесцентного материала на основе алюминатов бария $\text{BaMg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Al}_{10}\text{O}_{17}$ (BZA), активированных ионами хрома (Cr^{3+}).

Объектом исследований выступила серия фосфоров $\text{BaMg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Al}_{10}\text{O}_{17}:0,2\text{Cr}^{3+}$ ($x = 0; 1$). При $x = 1$ – BZA:0,2 Cr^{3+} , при $x = 0$ – ВМА:0,2 Cr^{3+} синтезированных твердофазным методом при температуре 1500 °С. Методика исследования веществ включала в себя применение различных методов, таких как, рентгеноструктурный анализ (XRD, дифрактометр AERIS-1004X), фотолюминесцентная спектроскопия (спектрофлуориметр F-4700), измерение квантового выхода (спектрофлуориметр FLS1000).

В настоящей работе рентгеноструктурные исследования синтезированных образцов проводились для оценки уровня примесей, определения степени допирования матрицы ионами Cr^{3+} , для чего требовались точные координаты атомов. Чтобы убедиться в точности протокола синтеза, была приготовлена серия порошков с различными концентрациями Cr^{3+} – ВМА:0,2 Cr^{3+} и BZA:0,2 Cr^{3+} . Уточнение их структур методом Ритвельда прошло успешно, о чем свидетельствуют идеальные разностные кривые и низкие значения R-факторов.

Эти данные подтверждают как высокое качество порошков, так и достоверность определенных структур (Рисунок 1).

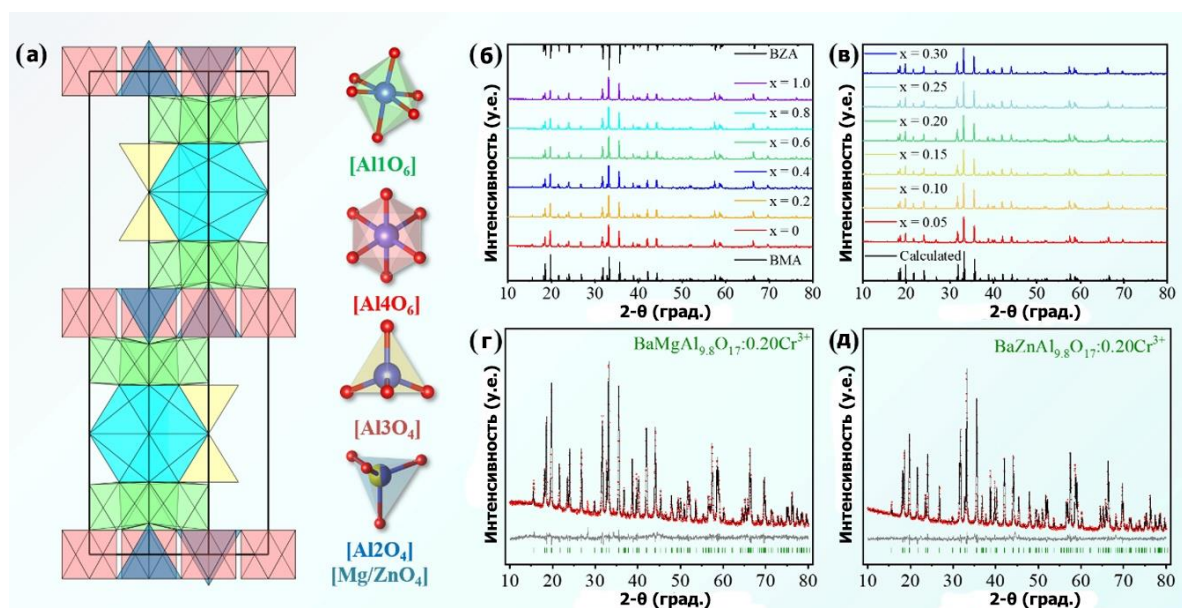


Рисунок 1. (а) Диаграмма кристаллической структуры BZA и BMA; (б-в) Рентгеновские дифракционные картины BZA и BMA; (г-д) Разностные рентгенограммы исследуемых порошков, полученные методом Ритвельда

Наблюдаемая линейная зависимость параметров элементарной ячейки (Рисунок 2) от концентрации Cr^{3+} подтвердила соответствие целевых составов реальным, что свидетельствует о воспроизводимости методики синтеза. Так же, на рисунке (Рисунок 2) отчетливо видно, что при допировании более крупным ионом Zn элементарная ячейка сжимается в объеме, что аномально, но подтверждается поведением других параметров ячеек.

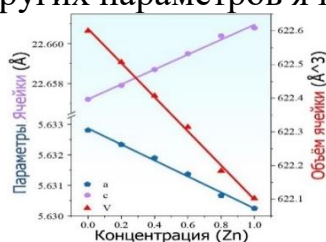


Рисунок 2. Диаграмма зависимости параметров элементарной ячейки от концентрации

Ранее в люминофорах $BaMg_{1-x}Zn_xAl_{10}O_{17}:Cr^{3+}$ было обнаружено аномальное тепловое сжатие кристаллической решетки [1]. В настоящей работе это также подтверждено, но еще и была выявлена связь между уплотнением кристаллической структуры и улучшением интенсивности люминесценции (рост составил 67%), а также, улучшением термической стабильности (с 69% до 76% при 150 °C). Изучение квантового выхода показало, что внутренняя/внешняя

квантовая эффективность (IQE/EQE) BZA: $0,2Cr^{3+}$ достигает 95% и 52,73% соответственно.

В заключение, в ходе нашей работы, было установлено, что замещение $Mg^{2+} \rightarrow Zn^{2+}$ приводит к уплотнению структуры, что представлено на рисунке (Рисунок 2). Аномальные изменения объёма, были нами объяснены увеличением ковалентности Zn – O связей, а также, данные изменения привели к росту интенсивности люминесценции, термической стабильности и квантовой эффективности. Улучшение люминесцентных свойств, связано с тем, что ионы Cr^{3+} занимают октаэдрические позиции, а при высокой концентрации образуют пары $Cr^{3+} - Cr^{3+}$, что расширяет спектр излучения. На основе вышеперечисленного, сделано предположение, что люминофор BZA: $0,2Cr^{3+}$ перспективен для применения в LED-системах, применение которых предполагается в сельском хозяйстве в области освещения растений.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию состава для повышения эффективности в конкретных спектральных диапазонах.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 24-43-00006.

Список литературы

1. You L. et al. Broadband near-infrared phosphor BaMgAl₁₀O₁₇: Cr³⁺ realized by crystallographic site engineering //Chemical Engineering Journal. – 2021. – Т. 417. – С. 129224.

2. Nötzold D. et al. Structure and optical properties under VUV/UV excitation of Eu²⁺ doped Alkaline Earth Aluminate Phosphors //Physica status solidi (a). – 2006. – Т. 203. – №. 5. – С. 919-929.

УДК 546.07

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ KI–H₂SO₄–H₂O

А. С. Князева¹, А. Е. Кроликов¹

Научный руководитель С. В. Сайкова¹

Доктор химических наук, профессор

¹*Сибирский Федеральный университет*

В течение последних десятилетий ультразвуковое воздействие успешно применяется для интенсификации и инициирования химических реакций. Акустическое (ультразвуковое) поле – перспективный метод, обеспечивающий

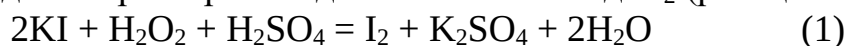
повышение эффективности, экологичности и экономичности производственных процессов.

Ключевым механизмом действия ультразвука в химических процессах является кавитация – процесс образования пузырьков или каверн, заполненных паром или газом. Ключевым механизмом действия ультразвука в химических процессах является кавитация – процесс образования пузырьков или каверн, заполненных паром или газом, возникающая при пропускании через жидкость акустической волны [1]. Схлопывание пузырьков в последнюю фазу кавитации вызывает появление ударных волн и микроструй, а также повышение температуры и давления внутри каверны инициируя и ускоряя химические реакции [2, 3].

Акустическая кавитация в водных растворах приводит к диссоциации воды с появлением свободных радикалов, которые могут образовывать такие сильные окислители как H_2O_2 [3, 4].

Контроль количества образующейся H_2O_2 позволяет исследовать влияние параметров ультразвуковой обработки на протекание химических процессов.

В данной работе с этой целью использовали модельную систему, содержащую KI и разбавленный раствор H_2SO_4 . Образующийся в ходе кавитации пероксид водорода вступает в реакцию с иодидом калия в присутствии серной кислоты, в ходе которой происходит окисление KI до I_2 (реакция 1).



Концентрация I_2 связана с количеством образующейся H_2O_2 . Йод, благодаря высокой поляризуемости и межмолекулярным и радикальным взаимодействиям, в присутствии иодид-ионов частично растворяется в воде с образованием I_3^- [3].

Цель работы – исследование влияния параметров ультразвуковой обработки на степень протекания сонохимических процессов на примере модельного раствора, содержащего KI и H_2SO_4 .

В работе были использованы следующие реактивы: KI, (х.ч., имп., ГОСТ 4232–34), H_2SO_4 , (стандарт-титр $\text{C}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.05$ моль/л), дистиллированная вода.

Спектрофотометрический анализ осуществлялся на спектрофотометре TUV6U (Silab, Китай). Для измерения образец полученного раствора (1 мл) переносили в кварцевую кювету ($l = 1$ см) и измеряли оптическую плотность при длине волны 350 нм, что соответствует максимуму поглощения ионов I_3^- [3].

Концентрация ионов I_3^- определялась с помощью градуировочного графика, построенного последовательным разбавлением стандартного раствора иода концентрацией 0,05 моль/л.

Исследование проводилось методом математического планирования и обработки результатов ДФЭ 2^{7-4} . В качестве независимых переменных выбрали следующие факторы, уровни варьирования которых приведены в таблице: X_1 –

количество растворенных в пробе газов; X_2 – материал сосуда для УЗ – обработки; X_3 – высота сосуда от дна ультразвуковой ванны, см.; X_4 – pH раствора; X_5 – температура воды, наполняемой ультразвуковую ванну, °C; X_6 – частота УЗ, кГц; X_7 – объем раствора, мл.

Таблица

Значения независимых переменных

Уровни варьирования	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Верхний	Газированная вода	Толстое стекло	3	5	75	68	80
Нижний	Дистиллированная вода	Пластик	0	1	50	40	40

При реализации дробно-факторного эксперимента провели две серии по 8 опытов, по результатам которых определили средние значения частных откликов, оценили ошибку воспроизводимости (дисперсию) каждого опыта и значения коэффициентов уравнения регрессии.

В результате эксперимента получили уравнение регрессии, описывающее зависимость оптической плотности растворов I_3^- при ультразвуковой обработке от исследованных факторов: $d = 0,0013 - 0,0010X_1 + 0,0007X_2 + 0,0006X_3 - 0,0008X_4 - 0,0007X_5 + 0,0007X_6 - 0,0007X_7$. Анализ линейной математической модели показал, что влияние на интенсивность сонохимического процесса оказывают все факторы.

Высокая концентрация газов увеличивает коалесценцию пузырьков и отражение волн, поэтому эффективность сонохимического процесса выше в негазированной воде. Повышение температуры усиливает кавитацию, влияя на вязкость, поверхностное натяжение, растворимость и скорость диффузии газов, а также давление паров жидкости, но приближение к точке кипения снижает её интенсивность из-за перехода от жидкостной к паровой кавитации, поэтому ультразвук оказывает большее воздействие на систему при температуре 50°C. Непосредственный контакт реакционного сосуда с дном ультразвуковой ванны снижает интенсивность сонохимической реакции вследствие гашения генерируемых ультразвуковых волн, максимальная интенсивность – на расстоянии 3 см. Стекло эффективнее пластика для передачи ультразвука из-за меньших потерь энергии. Кислотность увеличивает окислительные свойства H_2O_2 , максимум при pH 1. Более высокая интенсивность сонохимической реакции при 68 кГц по сравнению с 40 кГц может быть обусловлена резонансными явлениями в системе, образованием большего количества мелких кавитационных пузырьков или меньшим поглощением ультразвука средой на данной частоте. Меньший объем раствора увеличивает плотность энергии и снижает потери на поглощение и рассеяние. Система $KI-H_2SO_4-H_2O$ – удобная модель для изучения сонохимии.

Список литературы

1. Hinman J.J., Suslick K.S. Nanostructured Materials Synthesis Using Ultrasound // Topics in Current Chemistry. 2017. V. 375. P. 1–36.
2. Pflieger R., Nikitenko S.I., Cairos C. et al. Sonochemistry, in: Characterization of Cavitation Bubbles and Sonoluminescence // Ultrasound and Sonochemistry. 2019. V. 3. P. 61–71.
3. Kohno M., Mokudai T., Ozawa T. et al. Free radical formation from sonolysis of water in the presence of different gases // Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition. 2011. V. 49. P. 96–101.
4. Викулин П.Д., Викулина В.Б. Влияние ультразвука на изменение рН воды // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 4. С. 3–6.

УДК 546.16:631.452

ОЧИСТКА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ ОТ ФТОРА

С. С. Коваленко¹

Научный руководитель Е. Ю. Подшибякина¹

Профессор-консультант

¹*Сибирский федеральный университет*

Высокая химическая активность токсичных форм водорастворимого фтора обуславливает наибольшую опасность загрязнения почв. Известно, что фторидные соединения могут вступать в реакцию с органическими и неорганическими почвенными компонентами. Вследствие этого происходит диспергирование почвы с изменением ее физико-химических свойств, что приводит к снижению плодородия. В 2023 году ФГБУ ГС АС «Хакасская» был проведен мониторинг состояния почвенного покрова в зоне действия алюминиевого завода. Установлено, что, например, в южном направлении на расстоянии до 5,0 км содержание водорастворимого фтора в санитарно-защитной зоне завода колеблется от 7,85 до 33,71 мг/кг почвы, что составляет 0,8 – 3,4 ПДК [1].

Цель работы – использование электрокинетического метода для очистки почвы от фтора.

В основе метода лежат процессы электромиграции и электроосмоса, которые протекают при наложении электрического поля постоянного тока на участок грунта с загрязнениями. Объектом исследования служили пробы почвы, взятые с территории промплощадки АО «РУСАЛ Саяногорск». Проведены электрокинетические эксперименты по обработке почвы в течение

от 10 до 48 ч и разности потенциалов 24–48 В при проливе воды с имитацией осадков 300 мл. Установлено, что в результате обработки в течение 10 ч при разности потенциалов 48 В содержание фтора в экспериментальном образце почвы снизилось с 9 до 3 мг/кг. Показано также, что наибольшее влияние на снижение содержания растворимых соединений фтора оказывают напряженность электрического поля, длительность процесса и дисперсность почвы.

Список литературы

1. Куцаков А. Л. Водорастворимый фтор как лимитирующий фактор для плодородия почв санитарно-защитной зоны Саяногорского алюминиевого завода / А. Л. Куцаков, А. Н. Кадычegov // Вестник Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова. 2023. № 4 (46). С. 21–23.

УДК: 543.442

РЕНТГЕНОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТАВА РУД И КОНЦЕНТРАТОВ ОЛИМПИАДИНСКОГО ГОК

Е. О. Коржова¹, М. В. Носков¹, Д. В. Хлыстов¹, Д. Е. Андреев¹

Научный руководитель И. С. Якимов¹

Доктор физико-математических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Для золотоизвлекательного производства аналитический контроль состава и качества технологических продуктов играет ключевую роль на всех этапах производственного цикла. Эффективность применяемых технологий во многом определяется не только химическим составом руд и концентратов флотации, но и их минерально-фазовыми характеристиками, включая распределение золота между минеральными формами.

Для золотосульфидных руд Олимпиадинского месторождения и продуктов их обогащения свойственна ассоциация золота с сульфидными фазами, такими как пирротин, арсенопирит и пирит. Часть минеральных фаз являются нестехиометрическими твердыми растворами с различными дефектами кристаллической структуры. Кроме того, пирротины в пробах встречаются в двух полиморфных модификациях: моноклинной и гексагональной, для каждой из которых требуются разные режимы переработки [1]. Характеристические пики данных модификаций на дифрактограмме располагаются на близких углах 2 θ и частично перекрывают друг друга. Сложная структура сульфидных фаз

особенно усложняет минерально-фазовый анализ концентратов, которые суммарно могут содержать 50 масс. % и более сульфидов.

Учитывая сложность минерального состава золотосульфидного сырья, в лаборатории РМИиА СФУ было разработано специализированное программно-методическое обеспечение (ПМО) для автоматизированного количественного рентгенофазового (КРФА) анализ руд ОМ. В ходе эксплуатации установлено, что методика показывает высокую воспроизводимость и сопоставимость результатов фазового анализа образцов руд с данными элементного состава, полученными независимым рентгенспектральным методом (РСА) [2]. Однако методика рассчитана на анализ руд с содержанием сульфидов 5-10 масс. %, для которых особенности пирротинов незначительно влияют на результат анализа. Поэтому для контроля состава концентратов были изучены особенности строения сульфидных минералов и внесены корректировки в алгоритмы авто-КРФА.

ПМО включает автоматизированную рентгенофазовую идентификацию (ФИ) на проблемно-ориентированном языке программирования в программе

ИПС РФА [3], и последующий авто-КРФА путем уточнения атомно-кристаллических структур в ПО метода Ритвельда (рис.). Предварительная ФИ необходима для создания достоверной выборки эталонов фаз пробы, по которым в дальнейшем проводится уточнение структур. Это позволяет увеличить точность и сократить время КРФА в ПО метода Ритвельда. ФИ проводится с помощью языка поисковых запросов (БД2) к специальной базе данных эталонных спектров фаз (БД1). Учитывая близость пиков на спектрах моноклинного и гексагонального пирротинов запросы в БД2 для этих фаз в пробах концентратов проводятся только по сильнейшим и уникальным (неперекрытым) линиям спектров. Это сводит к минимуму ошибки в определении концентраций отдельных модификаций и повышает адекватность выбора шаблонов на уточнение в ПО метода Ритвельда (БД3). Также была расширена база данных эталонов атомных структур фаз (БД4).

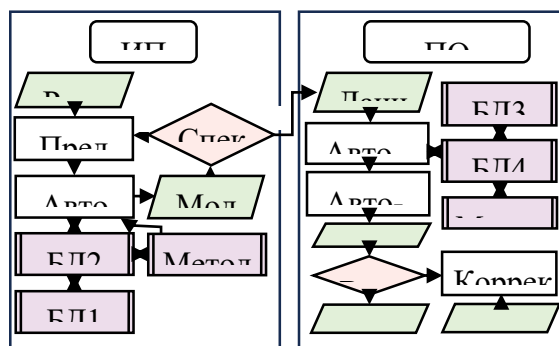


Рисунок. Схема автоматизированного ПМО для КРФА руд и концентратов ОГОК

Дальнейшей целью являлось адаптировать методику для анализа дифрактограмм, снятых на дифрактометре не с кобальтовой, а с медной рентгеновской трубкой. Так как в случае выхода из строя рентгеновская трубка с медным анодом является более доступным вариантом. В связи с сильным не дифракционным рассеянием медного рентгеновского излучения атомами железа в пробе такая трубка может использоваться для снятия дифрактограмм проб с ограниченным предельным содержанием железа.

Для оценки воспроизводимости результатов авто-КРФА для образцов с содержанием железа до 5 масс. % был проведен сравнительный анализ 10 дифрактограмм рабочих проб, снятых на дифрактометрах с Co и Cu рентгеновской трубками. Сравнение проводилось с данными элементного анализа, полученными независимым рентгеноспектральным методом (таблица).

Таблица

Сравнение разницы результатов КРФА образцов ОГОК в пересчете на элементы с результатами РСА для Co и Cu трубок

Параметры	Основные элементы проб								
	Al	As	Ca	K	Mg	Na	S	Fe	Ti
	Разница элементного состава Авто-КРФА и РСА образцов для Co трубки								
Ср. знач	-0,9	0,1	-0,3	0,1	0,2	-0,4	0,3	1,9	-0,5
СКО	1,2	0,3	0,7	0,7	0,5	0,9	0,4	1,0	0,5
Параметры	Разница элементного состава Авто-КРФА и РСА образцов для Cu трубки								
	Al	As	Ca	K	Mg	Na	S	Fe	Ti
	Разница элементного состава Авто-КРФА и РСА образцов для Cu трубки								
Ср. знач	-0,9	0,2	0,0	-0,3	0,2	-0,4	0,2	1,5	-0,1
СКО	0,9	0,2	0,6	0,4	0,2	0,6	0,3	0,4	0,2

Полученный основной фазовый состав 10-и тестовых образцов для съемок на разных анодах ОГОК воспроизводится: средние ошибки и СКО на медном излучении не превышают таковых на кобальтовом. Обнаружилось наличие ряда неидентифицированных фаз, таких как микролин, диксит, гипс, фармакоседерит, пармосидеирит, бассанит и фторапатит, которых не было ранее в пробах ОГОК. Вероятно, это связано не с методами концентрирования, а с изменением локализации добычи руды.

Вывод: после донстройки системы авто-КРФА отклонение элементного состава по авто-КРФА для Co и Cu трубок практически идентично, среднее отклонение по основным фазам в среднем составило 0,3 масс. %, а СКО всего 0,5 масс. %. Выявлено систематическое занижение железа по авто-КРФА.

Работа выполнена в рамках государственного задания на науку ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», номер проекта FSRZ-2021-0010 и с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наукоемкие методы исследования и анализа новых материалов, наноматериалов и минерального сырья» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

Список литературы

1. Veblen, D. R. Polysomatism and polysomatic series: a review and applications // American Mineralogist. 1991. № 76 P. 801-826.
2. Якимов, И. С. Автоматизированная система рентгенофазового анализа минерально-фазового состава руд и технологических продуктов / И. С. Якимов, А. Н. Залого, П. С. Дубинин // Металлургия цветных, редких и благородных металлов : сборник докладов XVI международной конференции. Красноярск. 2023. С. 250-257.
3. Якимов, И.С. Проблемно-ориентированный язык запросов и система рентгенофазовой идентификации существенно многофазных материалов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. №11. С. 32-37.

УДК 541.138: 547.484.451

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ГИДРИРОВАНИЕ ЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПРИСУТСТВИИ СОЛЕЙ СВИНЦА НА ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОДАХ

Н. Д. Кузин^{1,2}

Научный руководитель Д. В. Зимонин^{1,2}

Кандидат химических наук, доцент

Научный руководитель Г. В. Бурмакина¹

Доктор химических наук, главный научный сотрудник

¹Сибирский федеральный университет

Актуальность изучения возобновляемого растительного сырья в современном мире становится всё более очевидной, особенно на фоне резкого сокращения запасов угля, нефти и газа. В этой связи особый интерес представляет лигноцеллюлозная биомасса, одним из основных продуктов переработки которой является левулиновая кислота (ЛК). Наличие двух реакционноспособных центров в ее молекуле обеспечивает многообразие дальнейших синтетических превращений ЛК с образованием продуктов с высокой добавленной стоимостью - полимеров, фармацевтических препаратов, ароматизаторов, растворителей, пластификаторов и др. [1], а также производства жидкого биотоплива.

Большинство методов конверсии левулиновой кислоты основаны на гомогенных и гетерогенных каталитических процессах гидрирования. Альтернативным путем переработки ЛК является электрохимический способ, который имеет ряд преимуществ: мягкие условия, высокая селективность,

сравнительно высокие скорости конверсии, которые легко контролировать при помощи плотности тока и потенциала.

Электрохимическое восстановление ЛК на различных электродных материалах (Pt, Rh, Cu, Ni, СУ, С, Al, Cd, Co, Bi, Pd, In, Zn, Fe, Pb) в водных средах приводит преимущественно к образованию γ -валеролактона (ГВЛ) и валериановой кислоты (ВК), конверсия и селективность которых зависит от природы электродного материала [1]. Установлено, что наиболее эффективным из всех изученных электродов при восстановлении ЛК до ВК является свинцовый. Предложена схема электрохимического восстановления ЛК в водных растворах (рис.1) [1]. Сделано предположение, что более полное восстановление ЛК до ВК может происходить через образование промежуточного металлоорганического соединения. Ранее [2] нами показано, что для детального изучения механизма электрохимического гидрирования левулиновой кислоты необходимо использование протон-дефицитных органических сред в отсутствие и с добавлением доноров протонов.

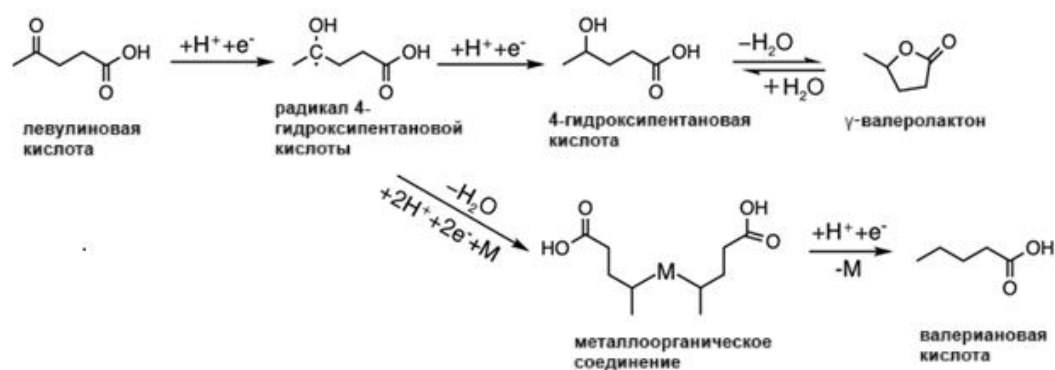


Рисунок 1. Электрохимическое восстановление ЛК до ВК и ГВЛ [1]

В настоящей работе методами циклической вольтамперометрии (ЦВА), электролиза при контролируемом потенциале (ЭКП) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) изучен процесс электрохимического восстановления ЛК до ВК на СУ и Pb электродах в неводной среде в присутствии доноров протонов с добавлением солей свинца. В качестве растворителя использовали ацетонитрил, позволяющий проводить исследования в более широкой рабочей области потенциалов.

Ранее в работе [2] нами изучено электровосстановление ЛК до ВК и/или ГВЛ на различных электродах в ацетонитриле в присутствии доноров протонов ($\text{HBF}_4 \cdot \text{Et}_2\text{O}$). Показано, что на свинцовом электроде можно селективно получить ВК, в то время как на СУ электроде образуется только ГВЛ.

В работе [3] оптимизированы условия конверсии ЛК до ВК на Pb электроде. Установлено, что максимальное прогнозируемое значение выхода ВК 50,4 % (с конверсией ЛК 70,7%) в изученной области факторного

пространства достигается при соответствующих значениях переменных факторов: соотношение ЛК/ $\text{HBF}_4 = 1/2$, продолжительность $t_3 = 3$ часа, потенциал электролиза $E_3 = -1,09$ В.

Для подтверждения образования промежуточного комплекса металла с органическим субстратом проведены дальнейшие электрохимические исследования гидрирования ЛК на СУ электроде в присутствии солей свинца (рис. 2). Как видно из рис.2, в отличие от исходных растворов, в растворе ЛК с ацетатом свинца появляется новая волна ($E_{1/2} = -1,04$ В) на СУ электроде (рис. 2в), при этом наблюдается уменьшение волн восстановления катионов свинца и ЛК. Такое поведение свидетельствует о взаимодействии Pb^{2+} с ЛК и образованием комплексного соединения - левулината свинца, на поверхности рабочего электрода. При обратном сканировании потенциала на ЦВА появляется волна окисления ($E_{1/2} = -0,65$ В) (рис. 2г), значение $E_{1/2}$ которого близко к окислению металлического свинца. Таким образом, гидрирование ЛК в ацетонитриле в присутствии доноров протонов с добавлением Pb^{2+} протекает с образованием промежуточного комплекса свинца, который при значительно отрицательных потенциалах восстанавливается с распадом до $\text{Pb}(0)$, а обратном сканировании потенциала – окисляется $\text{Pb}(0)$ до Pb^{2+} .

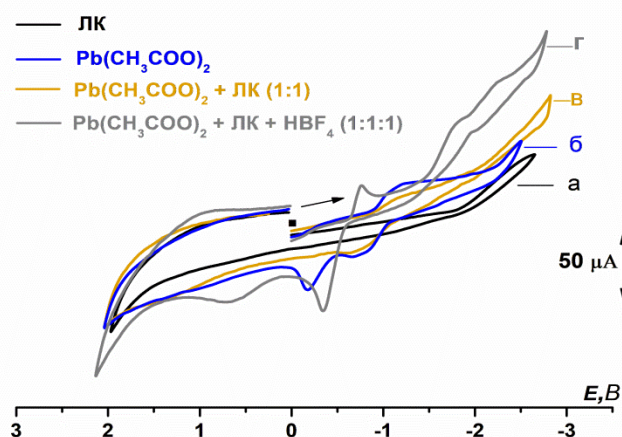


Рисунок 2. ЦВА левулиновой кислоты в присутствии ацетата свинца и протонов (СУ, С = 4 мМ в MeCN, 0.1 MEt_4NBF_4 , $V = 25$ мВ/с)

Анализ продуктов ЭКП гидрирования ЛК на СУ электроде методом ВЭЖХ показал, что добавление катионов свинца к раствору ЛК и доноров протонов в ацетонитриле значительно увеличивает конверсию ЛК и выход целевых продуктов.

Таким образом, полученные результаты подтверждают предложенный ранее механизм гидрирования ЛК, что более полное восстановление ЛК до ВК на свинцовом электроде может протекать через образование металлоорганического интермедиата на поверхности электрода.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект FWES-2021-0012). Автор выражает благодарность за проведение исследований продуктов гидрирования ЛК методом ВЭЖХ Сычеву В.В.

Список литературы

1. Bisselink R. J. M., Crockatt M., Zijlstra M., Bakker I. J., Goetheer E., Slaghek T. M., van Es D. S. Identification of more benign cathode materials for the electrochemical reduction of levulinic acid to valeric acid // ChemElectroChem.2019. Vol. 6(13). P. 3285–3290
2. Burmakina G. V., Zimonin D. V., Kenova T. A., Verpekin V. V., Sychev V. V., Zos'ko N. A., Taran O. P. Effect of cathode material on electrochemical reduction of levulinic acid to γ -valerolactone and valeric acid in aqueous and organic media. Current Research in Green and Sustainable Chemistry.2023, Vol. 7, Article 100379.
3. Zimonin D. V., Kuzin N. D., Lykova A. I., Masharova D. A., Burmakina G.V. Optimization of the process of electrochemical conversion of levulinic acid to valeric acid on a lead electrode in acetonitrile. Journal of Siberian Federal University. Chemistry, 2024, 17(3), 429–437.

УДК 547.992.3:547.556.3

АЗОСОЧЕТАНИЕ ЭТАНОЛЛИГНИНА СОСНЫ С ДИАЗОНИЕВЫМИ СОЛЯМИ АМИНОБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ: СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ

А. А. Михейкина^{1,2}

Научный руководитель В. А. Голубков^{1,2}

¹*Сибирский федеральный университет*

Общемировыми тенденциями в промышленной экологии является разработка процессов и методов, которые снижают негативное воздействие на окружающую среду за счет использования отходов сельскохозяйственных и лесоперерабатывающих производств в качестве сырья [1], что является актуальным, в том числе и для экологической и экономической повестки на территории Красноярского края. Ежегодный валовый прирост растительной биомассы значительно превышает годовые потребности человечества в топливе

и химических продуктах [2]. Растения участвуют в процессе секвестрации углерода из атмосферы, что делает применение их в качестве сырья углероднейтральным, улучшая экологические показатели процессов по сравнению с применением ископаемого сырья.

История химической переработки лигноцеллюлозной биомассы показывает, что среди её главных компонентов утилизация лигнина является наиболее сложной проблемой, и в настоящее время она разрабатывается достаточно активно [3]. Одними из экологически чистых и эффективных способов переработки нативного лигнина являются органосольвентные методы делигнификации – его выделение из растительной биомассы с помощью органических растворителей при повышенных температуре и давлении [4].

Расширение сфер применения лигнина, этого явно недоиспользованного ресурса, возможно с помощью ряда методов химической модификации. Ароматические мономерные звенья лигнина пригодны для дальнейшей функционализации [5], а с разумным выбором заместителей, которые создают новые свойства, можно получать материалы с высокой добавленной стоимостью. Одной из наиболее интересных реакций модификации лигнина является азосочетание. Целью настоящей работы явилось синтез, установление состава и структуры этаноллигнина сосны, модифицированного реакцией азосочетания с диазониевыми солями аминобензойных кислот.

В результате органосольвентной варки получен этаноллигнин сосны обыкновенной, его выход составил 5,8 % от массы сырья, что соответствует 21,5 % от лигнина Класона. Производные этаноллигнина сосны были получены путём реакции азосочетания с диазониевыми солями аминобензойных кислот (орто, мета и пара изомеры). Использовались как «прямой», так и «обратный» методы диазотирования аминов. Получены четыре образца бордово-коричневого цвета, выход составил 100-150 % на массу исходного лигнина. На основании элементного состава и стандартных представлений о структуре лигнина определена степень замещения: на 3 фенилпропановых единицы приходится 1 азогруппа (рис. 1).

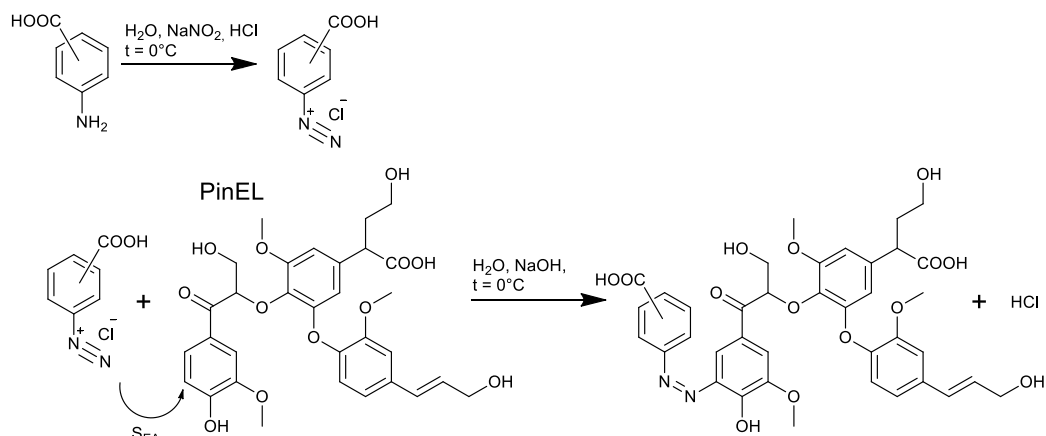


Рисунок 1. Схема реакций диазотирования аминокислот и их азосочетания с лигнином

Структура полимеров исследована методом ЯМР-спектроскопии (рис. 2). Соотнесение химических сдвигов в спектрах ^{13}C и ^1H позволяет подтвердить успешную модификацию в реакции азосочетания и предполагаемую структуру азопроизводных. Групповой состав полученных образцов подтверждён ИК-спектроскопией, гельпроникающая хроматография также показала увеличение молекулярных масс полимеров.

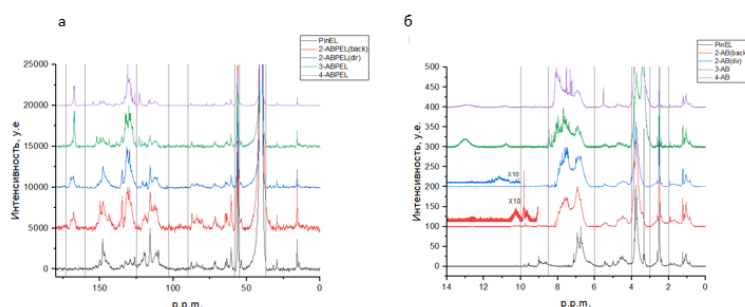


Рисунок 2. Результаты ЯМР исследования этаноллигнина сосны обыкновенной и его модификаций (а - ^{13}C , б - ^1H)

Благодаря карбоксильным группам ожидается возможность лучшего растворения азопроизводных лигнина в водных средах и улучшение биологической активности. Нами была изучена антиоксидантная активность с помощью модельного стабильного радикала дифенилпикрилгидразила (ДФПГ), который при восстановлении антиоксидантом образует нейтральный дифенилпикрилгидразин желтого цвета [6]. Исходный лигнин обладает высокой эффективностью поглощения ДФПГ радикалов, незначительно уступая витамину С. Модификация незначительно влияет на активность. Наиболее высокую антиоксидантную активность показал образец лигнина, модифицированный прямым методом 2-аминобензойной кислотой.

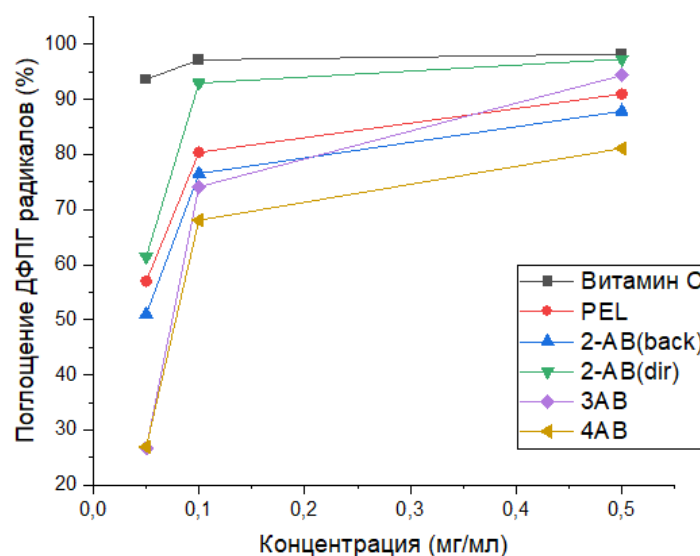


Рисунок 3. Результаты исследования антиоксидантной активности

Список литературы

1. Patel, B. Energy balance, GHG emission and economy for cultivation of high biomass varieties of bamboo, sorghum and pearl millet as energy crops at marginal ecologies of Gujarat state in India / B. Patel, A. Patel, B. Gami, P. Patel // Renewable Energy.- Elsevier- 2020.- Vol. 148, № 6.- P. 816-823.
2. Naik, S. N. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review / S. N. Naik, V. V Goud, P. K. Rout, A. K. Dalai // Renewable and sustainable energy reviews.- 2010.- Vol. 48, № 2.- P. 578-597.
3. Tarabanko, V. E. Catalytic Conversion of Lignins for Valuable Chemicals / V.E. Tarabanko // Catalysts.- MDPI- 2021.- Vol. 11, № 10.- 1254 p.
4. Kuznetsov, B. N. Green catalytic processing of native and organosolv lignins / B. N. Kuznetsov, N. V. Chesnokov, I. G. Sudakova, N. V. Garyntseva, S. A. Kuznetsova, Yu.N. Malyar, V. A. Yakovlev, L. Djakovitch // Catalysis Today.- 2018.- Vol. 309, № 11.- P. 18-30.
5. Kazzaz, E. Fatehi, Grafting strategies for hydroxy groups of lignin for producing materials / E. Kazzaz, H. Feizi, P. Fatehi // Green Chemistry.-2019.- Vol. 21, № 21.- P. 5714-5752.
6. Behrendorff J. B. Y. H., Vickers C. E., Chrysanthopoulos P., Nielsen L. K. 2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl as a screening tool for recombinant monoterpene biosynthesis // Microbial Cell Factories. – 2013. – T. 12, № 1. – C. 76.

УДК544.77.03

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ ОТ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕННОСТИ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

С. Э. Олифер¹, А. С. Ким¹

Научный руководитель. Т. К. Тимиргалиева¹

Кандидат педагогических наук, доцент

Научный руководитель Н. И. Косарев¹

Доктор физико-математических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Ферромагнитная жидкость (ФМЖ) – это устойчивый коллоидный раствор, в котором наночастицы Fe_3O_4 распределены в дисперсионной среде. Существует множество вариаций применения ФМЖ в различных сферах: от медицины до различных отраслей промышленности. В том числе представляет интерес извлечение катионов металлов из растворов, в частности катионов халькофильных металлов из технологических растворов [1].

Процесс получения ФМЖ состоит из 2 стадий: получение магнитных частиц и стабилизации их в жидкости-носителе. Магнитные частицы синтезируются методами соосаждения, термического разложения, химического восстановления и др. [2]. Наиболее простой и распространенный метод синтеза магнитных частиц включает в себя соосаждение солей Fe^{2+} и Fe^{3+} с использованием аммиака. Далее осадок подвергается магнитной декантации до $\text{pH}=9$, центрифугируется (образец А, в отличие от образца Б), нагревается на водяной бане при 70-80 градусов в течении 30 минут, параллельно добавляется стабилизатор (олеиновая кислота) и переносится в жидкость – носитель (керосин).

В настоящее время понятие «качество ФМЖ» и его критерии не определены. Безусловно, данное понятие зависит от области применения магнитной жидкости. С нашей точки зрения, при использовании функционализированных магнитных наночастиц для извлечения металлов из технологических растворов и кондиционирования промышленных сточных вод, целесообразно учитывать диаметр ферромагнитных частиц и объемную долю твёрдой фазы магнитной жидкости.

Для определения параметров магнитных жидкостей можно использовать результаты измерения зависимости силы вязкого трения от величины напряженности внешнего магнитного поля путем нахождения минимума функционала [3]:

$$\eta_{theor}(H_i, d, \varphi) = \eta_0 \left(1 + \varphi \frac{\xi - \text{th}\xi}{\xi + \text{th}\xi} \right)$$

$$\xi = \frac{\mu_0 M_s V(d)}{kT}$$

$$F = \eta_0 S \frac{v}{l}$$

$$S(d, \varphi) = \sum_{i=1}^n [\eta_{theor}(H_i, d, \varphi) - \eta_{exp}(H_i)]^2$$

$$M_s = \frac{B}{\mu_0} - H_i$$

где:

H_i – напряженность магнитного поля,

d – диаметр частиц,

φ – объемная доля твердой фазы,

η_0 – эффективная вязкость,

μ_0 – магнитная постоянная,

M_s – намагниченность насыщения,

$V(d)$ – эффективный объем жидкости,

k – постоянная Больцмана,

T – температура

B – магнитная индукция.

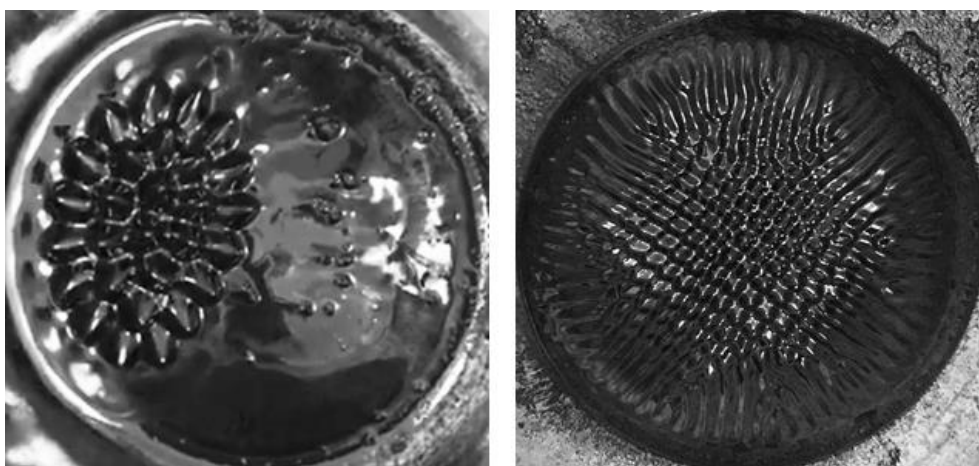


Рисунок 1. Сравнительный вид «шипов», образованных образцом ФМЖ А при различном воздействии магнитного поля

Одной из качественных характеристик ФМЖ является влияние на нее магнитных воздействий и последующее образование «шипов» (рис.1),

другой характеристикой является её вязкость, которая зависит от дисперсной фазы, концентрации дисперсной среды и, в частности, воздействия напряженности магнитного поля на нее (рис.2). Экспериментальным путем было доказано, что образование «шипов» не является показателем качественно синтезированной ФМЖ. При изменении напряженности, действующей на эталонную ФМЖ, значение вязкого трения изменяется в узком интервале, вероятно, из-за высокой дисперсности и малого диаметра ее частиц. Образец ФМЖ Б имеет схожее влияние на магнитные воздействия с эталоном, но разное значение вязкого трения. Образец ФМЖ А обладает схожими с эталоном магнитными свойствами и значением вязкого трения.

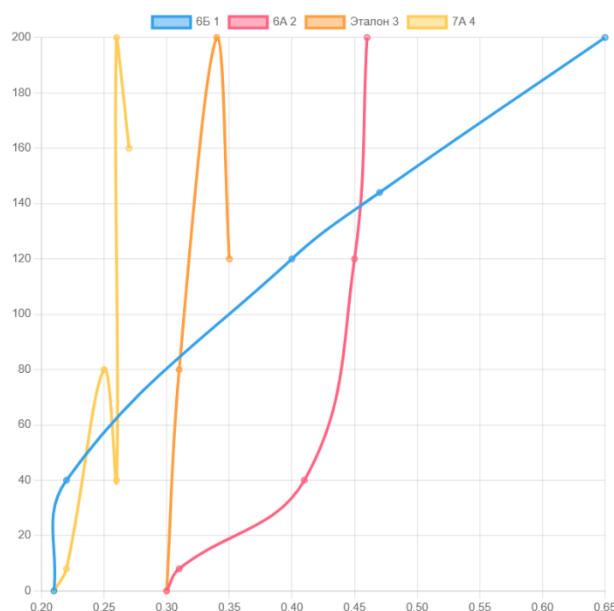


Рисунок 2. Зависимость скорости движения груза в ФМЖ от силы тока

Таким образом, результаты измерения зависимости силы вязкого трения от величины напряженности внешнего магнитного поля позволяют определить такие параметры ФМЖ, как диаметр частиц и объемную долю твердой фазы, что, в свою очередь, является одним из критериев оценивания качества синтезированной магнитной жидкости.

Список литературы

1. Брагин В. И. Исследование функционализированных магнитных наносорбентов для извлечения меди из растворов / В.И. Брагин, И.И. Бакшеева, А. А. Плотникова, Е. А. Бурдакова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2023. № 2. С. 134–143.
2. Novopashin S. A. Thermophysics and Aeromechanics. / S. A. Novopashin, M. A. Serebryakova, S. Y. Khmel // 2015. Т. 22. № 4. С. 397–412.
3. Патент № SU 1684640 A1, 15.10.1991. RU 2183826 C1, 20.06.2002.

Способ определения диаметра ферромагнитных частиц и объемной доли твердой фазы магнитной жидкости : № 2016101419, 2016.01.19 : заявл. 2016.01.19 : опубл. 2017.02.28 / Усанов Дмитрий Александрович – 10 с.

УДК 543.442:004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЛИТОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

И. А. Пинаев¹, М. В. Носков¹, Д. В. Хлыстов¹

Научный руководитель А. Н. Залого¹

Кандидат физико-математических наук

¹*Сибирский федеральный университет*

В условиях современного алюминиевого производства, где требования к качеству и эффективности постоянно растут, применение новых технологий анализа становится критически важным. Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой перспективный инструмент для автоматизации

и оптимизации процессов рентгенофазового анализа (РФА), что может значительно повысить точность и скорость анализа.

Цель данной работы – исследовать возможности применения искусственных нейронных сетей для улучшения процессов рентгенофазового анализа в алюминиевом производстве, а также оценить их влияние на качество анализа и оптимизацию производственных процессов. В этой публикации описан первый этап работы – генерация данных для обучения ИНС.

Количественный рентгенофазовый анализ (РФА) основан на следующих принципах: 1) порошковая дифракционная картина является уникальной характеристикой кристаллического вещества; 2) дифракционный спектр от смеси фаз представляет собой сумму их индивидуальных спектров с интенсивностями, пропорциональными массовым долям фаз.

Искусственные нейронные сети – это вычислительные модели, основанные на принципах работы человеческого мозга. Основные компоненты нейронной сети включают: нейроны – основные единицы обработки информации; весовые коэффициенты – определяют степень влияния сигнала одних нейронов на другие; функция активации – определяет форму сигнала между нейронами.

Существует несколько архитектур нейронных сетей: однослойный персептрон – простейшая форма, подходит для бинарной классификации; многослойный персептрон (MLP) – состоит из нескольких слоев и может решать

более сложные задачи; сверточные нейронные сети (CNN) – входные данные «сворачиваются» до меньшей размерности и эти свёртки подаются на входной слой MLP, используются для анализа изображений; рекуррентные нейронные сети (RNN) – предназначены для обработки последовательных данных (например, текста, числовых данных), они имеют циклические связи между нейронами, что позволяет сохранять информацию о предыдущих шагах; нейросети-трансформеры — основаны на механизме внимания (attention), который позволяет модели фокусироваться на ключевых частях входных данных, что делает их особенно эффективными для задач обработки естественного языка (NLP), таких как машинный перевод или генерация текста.

Применение ИНС в РФА предлагает значительные преимущества: автоматизация процесса анализа, увеличение точности результатов за счёт учёта неочевидных влияющих факторов, эффективная обработка больших объемов данных, адаптивность к изменениям в данных [1]. Несмотря на преимущества, применение ИНС сталкивается с рядом проблем: необходимость больших объемов размеченных данных; высокие требования к вычислительным ресурсам для обучения сложных моделей; сложность интерпретации результатов из-за "черного ящика" модели.

Для обучения нейронной сети прежде всего необходимо подготовить обучающие данные. В нашем случае – это должно быть большое количество дифрактограмм смесей, которые максимально похожи на экспериментальные, и для каждой из которых мы точно знаем фазовый состав. Причём таких дифрактограмм должно быть несколько десятков тысяч. Поэтому было принято решение использовать не реальные экспериментальные данные, а написать программу-генератор на языке Python. Для моделирования дифрактограмм были использованы структурные модели 11 фаз.

Генерация данных для обучения была основана на подходе метода Ритвельда. В частности, алгоритм генерации получился таким:

- 1) из структурной базы данных взяты данные о кристаллических структурах фаз, которые вероятно встретить при анализе фазового состава электролитов алюминиевого производства;

- 2) по этим моделям было проведено уточнение профильных и структурных параметров фаз для набора стандартных образцов алюминиевого электролита;

- 3) на основе этого уточнения для каждого уточняемого параметра был установлен диапазон варьирования этого параметра в реальных образцах;

- 4) каждый из таких диапазонов был расширен ещё на 10% от величины этого диапазона в каждую сторону.

- 5) для каждого нового образца взять случайные значения уточняемых параметров и передать в программу метода Ритвельда для генерации.

- 6) пронормировать все интенсивности полученной дифрактограммы к 1.

На этом этапе мы столкнулись с двумя сложностями: 1) метод Ритвельда генерирует лишь пики кристаллических фаз, но не фоновую линию; 2) если массовую долю каждой фазы генерировать как случайное число, полученное по равномерному распределению в диапазоне от 0 до 1, а потом все значения пронормировать так, чтобы сумма массовых долей всех 11 фаз составляла бы 100%, то окажется, что в большинстве образцов массовая доля каждой фазы находится около значения $1/11$ – то есть почти не будет образцов с очень маленькими или очень большими содержаниями фаз.

Для разрешения первой проблемы в генератор дифрактограмм было добавлено моделирование флуктуаций фона дифрактограммы: к каждой точке профиля добавляется случайное значение, полученное по нормальному распределению с $\sigma = 0.003$.

Для решения второй проблемы были добавлены другие варианты генерации случайных чисел. В таблице приведён перечень алгоритмов генерации случайных чисел, которые были использованы для генерации массовых долей фаз. Указаны также доли их использования в создании набора обучающих данных. На рисунке показан пример сгенерированных данных в сравнении с экспериментальной дифрактограммой с такими же массовыми долями фаз. Rwr фактор их схожести = 5,5%.

Таблица

Перечень алгоритмов генерации случайных чисел, которые были использованы для генерации массовых долей фаз

Название алгоритма	Равномерное распределение	Распределение Дирихле	Логнормальное распределение	Распределение Парето
Особенности	Числа генерируются в диапазоне [0,1] с равной вероятностью.	Многомерное распределение с суммой величин = 1, можно варьировать "плоскость" или "остроту" распределения.	Генерируются числа с правосторонней асимметрией. Логарифм значений имеет нормальное распределение.	Характеризуется «тяжёлым хвостом»: большинство значений малы, но есть редкие экстремальные выбросы.
Доля использ.	3%	68%	20%	9%

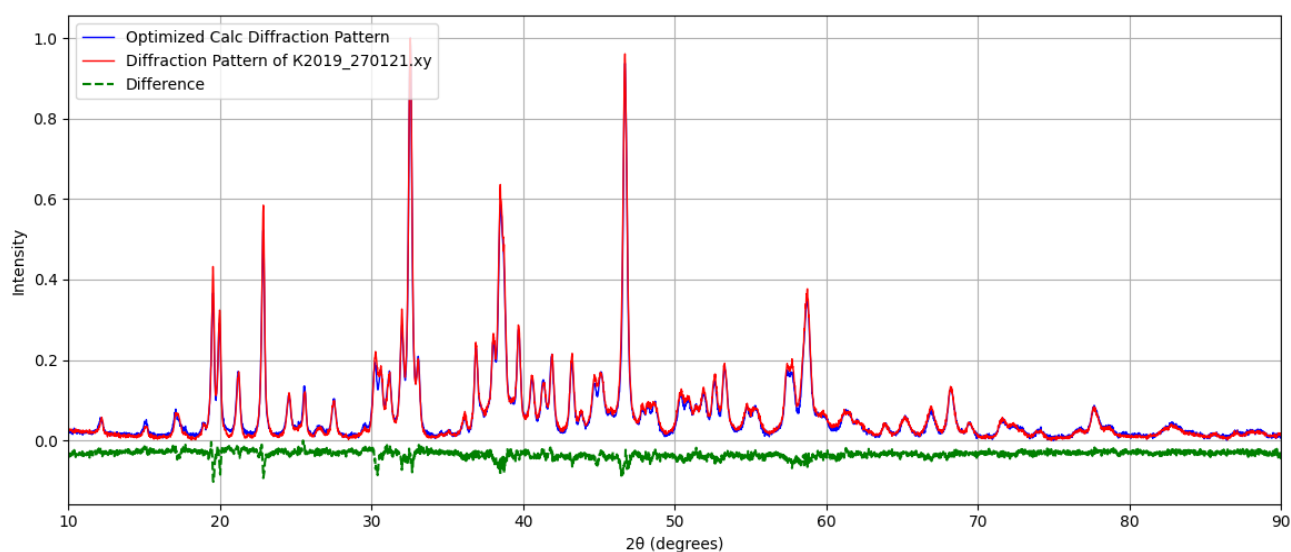


Рисунок. Сравнение сгенерированной дифрактограммы (синий цвет) с экспериментальной дифрактограммой (красный цвет) с одинаковыми массовыми долями фаз. Зелёная линия – разность между ними. Rwp фактор их схожести = 5,5%.

Описанным методом сгенерировано 100 000 дифрактограмм. На следующем этапе мы планируем обучить с их помощью нейронную сеть, затем оценить качество предсказания ёю фазового состава реальных дифрактограмм.

Работа выполнена в рамках государственного задания на науку ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», номер проекта FSRZ-2020-0013.

Список литературы

1. Jaimie Greasley et al. Exploring supervised machine learning for multi-phase identification and quantification from powder X-ray diffraction spectra / J Mater Sci (2023). 58, 5334–5348.

УДК 661*183*6+661*183*6

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ ЦЕОЛИТОПОДОБНЫХ ЦИРКОНОСИЛИКАТОВ И ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ

А. Н. Попова¹, Е. А. Кутихина², О. М. Шаронова²

Научный руководитель Т. А. Верещагина^{1,2}

Доктор химических наук

¹Сибирский федеральный университет

В настоящее время значительно возросла потребность в отечественных конкурентоспособных недорогостоящих неорганических сорбентах, способных эффективно очищать различные жидкие особоопасные отходы от тяжелых и радиоактивных металлов. При выборе сорбционного материала необходимо учитывать устойчивость сорбента в водных средах (химическую, механическую, радиационную), а также такие факторы, как простота получения сорбента, доступность и стоимость используемых для синтеза материалов. Актуальность разработки синтетических аналогов природных микропористых цирконосиликатов, обладающих ионообменными свойствами, обусловлена высокой эффективностью сорбционных технологий на основе этих соединений, позволяющих решить проблемы очистки особоопасных отходов атомных и химико-металлургических предприятий [1].

В процессе сжигания угля на предприятиях тепловой энергетики ежегодно образуется около 750 млн. т. летучих зол [2]. В частности, в Красноярском крае, на территории которого расположен один из крупнейших в мире Канско-Ачинский угольный бассейн, летучая зола (ЛЗ) находится среди приоритетных загрязняющих примесей региона [3]. Сокращение объемов зольных отходов становится возможным за счёт вовлечения её в переработку для получения материалов с улучшенными свойствами, в том числе в качестве связующего в производстве современных композиционных цементосодержащих материалов [4]. Применение ЛЗ в качестве связующего компонента при производстве инженерной формы сорбентов не изучено, что представляет несомненный интерес.

Целью работы является получение гранулированной формы сорбента на основе композиции микропористых цирконосиликатов и высококальциевой летучей золы, как техногенного связующего, эффективного в отношении сорбции из водных сред катионов тяжелых и радиоактивных металлов (на примере Pb^{2+} , Cs^{+} как имитатора радионуклида ^{137}Cs).

Синтез цирконосиликатов проводили путём гидротермальной обработки реакционной смеси $Na_2SiO_3-ZrOCl_2-NaOH(KOH)-H_2O$ в автоклаве (Beluga,

Premex AG, Швейцария) при 200°C в течение 120 часов, после чего осуществляли смешивание продукта синтеза с летучей золой и водой в заданном соотношении с образованием пластической массы, гранулирование массы методом экструзии и сушку полученных гранул при комнатной температуре в течение заданного времени (20–30 суток). Количество техногенного связующего составляет 20–30 мас. %.

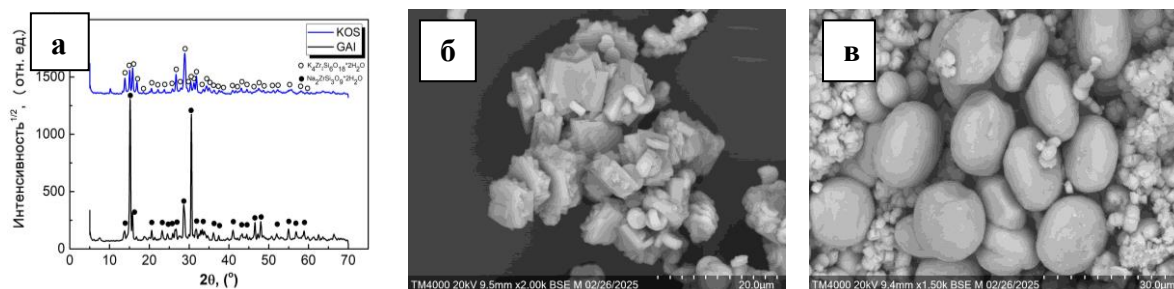


Рисунок 1. Дифрактограммы (а) и РЭМ снимки продуктов синтеза в системе $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{--ZrOCl}_2\text{--NaOH(KOH)--H}_2\text{O}$: гейдоннеит $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (GAI) (б), костылевит $\text{K}_4\text{Zr}_2\text{Si}_6\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (KOS) (в)

По данным рентгенофазового анализа (рисунок 1а), образцы представляют собой монофазный гейдоннеит, $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (GAI) (ортормб., пр. гр. P21nb) (ICDD 01-012-8668), и монофазный костылевит, $\text{K}_4\text{Zr}_2\text{Si}_6\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (KOS) (моноклин., пр. гр. P21/a) (ICDD 00-037-0459).

На рисунке 1 представлены РЭМ снимки продуктов гидротермального синтеза, из которых видно, что образец гейдоннеита (рисунок 1б) представляет собой гранулированный материал размером 2–4 мкм с однородной пластинчатой микроструктурой, а образец костылевита (рисунок в) – смесь гранул округлой неправильной формы размером до 12 мкм.

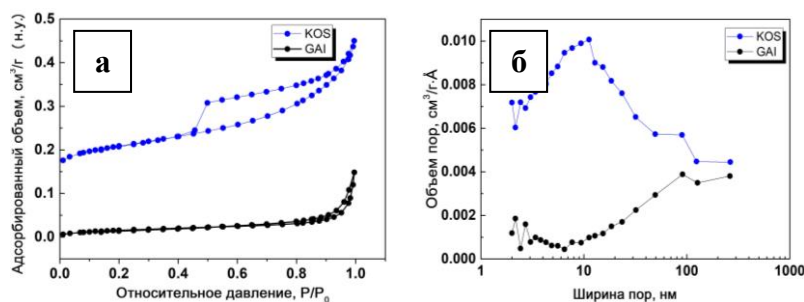


Рисунок 2. Изотермы адсорбции-десорбции азота для образца GAI и KOS (а) и распределение объёма пор по ширине, рассчитанное по адсорбционной ветви (б)

По данным низкотемпературной адсорбции азота (рисунок 2а) полученные образцы можно охарактеризовать как мезопористые с удельной площадью поверхности 1,3 м²/г – для гейдоннеита и 6,7 м²/г – для костылевита. Анализ распределения пор по размеру (рисунок 2б) показал, что для костылевита наблюдается ярко выраженный максимум при ширине пор 10 нм.

Результаты сорбционных экспериментов представлены в таблице. Для синтезированных образцов наблюдается достаточно высокий коэффициент распределения ($\sim 10^4$ – 10^5 мл/г) и эффективность сорбции Cs^+ и Pb^{2+} – 97–99%.

Таблица

Предельная сорбционная ёмкость ($A_{\max}$) в отношении Cs^+ и Pb^{2+} , коэффициент распределения (K_D) и эффективность сорбции для цирконосиликатных сорбентов

Образец	Катионы	$A_{\max}$, ммоль/г	K_D , мл/г	R, %
GAI	Cs^+	1,56	$2,7 \cdot 10^4$	97,5
	Pb^{2+}	1,85	$2,0 \cdot 10^4$	99,9
KOS	Cs^+	1,8	$3,8 \cdot 10^4$	99,2
	Pb^{2+}	1,9	$2,0 \cdot 10^5$	99,9

Был осуществлен подбор состава и условий отверждения композиции «цирконосиликат-летучая зола-вода» с получением гранулированных сорбентов. На основе цирконосиликатов двух типов (GAI и KOS) были получены гранулированные сорбенты с летучей золой в качестве связующего (рисунок 3).



Рисунок 3. Фотографии гранулированных сорбентов со связующим на основе летучей золы: 20% ЛЗ-KOS (а), 30% ЛЗ-KOS (б), 30% ЛЗ-GAI (в)

Таким образом, были получены гранулированные сорбенты на основе микропористых цирконосиликатов и техногенного связующего на основе высококальциевой летучей золы, полученной при сжигании бурого угля, добываемого в Канско-Ачинском угольном бассейне и сжигаемого на Красноярской ТЭЦ-2. Высокий коэффициент распределения для синтезированных образцов ($\sim 10^4$ – 10^5 мл/г) указывает на возможность их использования для очистки водных сред от катионов тяжелых и радиоактивных металлов (Pb^{2+} , $^{137}\text{Cs}^+$).

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект № FWES 2021–0013) с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

Список литературы

1. Чуканов Н. В. и др. Кристаллохимия, свойства и синтез микропористых силикатов, содержащих переходные элементы // Успехи химии. 2004. Т. 73. № 3. С. 227–246.
2. Yao Z. T. et al. A comprehensive review on the applications of coal fly ash // Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 141. P. 105–121.
3. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2023 году» [Электронный ресурс]. URL: http://www.mpr.krskstate.ru/dat/bin/art_attach/28086_2024.06.28.pdf [дата обращения 14.04.2025]
4. Pranav S., et al. Alternative materials for wearing course of concrete pavements: A critical review // Constr. Build. Mater. 2020. Vol. 236. P. 117609.

УДК 577.114.083

ГИДРОЛИЗ КСИЛАНА С ПОЛУЧЕНИЕМ КСИЛООЛИГОСАХАРИДОВ НА ТВЕРДОМ КИСЛОТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ Zr-Al-SBA-15 И ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ

Е. Н. Семке^{1,2}, Ю. А. Троцкий²

Научный руководитель Ю. Н. Маляр^{1,2}

Кандидат химических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Наблюдается рост интереса к экологическим способам потребления ресурсов, и одним из способов такого потребления является переработка растительной биомассы. Биомасса представлена тремя компонентами: лигнином, целлюлозой и гемицеллюлозой.

Ксилан, относящийся к группе гемицеллюлоз, обычно имеет структуру с основной цепью, состоящей исключительно из β -1-4-связанных звеньев ксилозы [1]. Получают его в основном с помощью экстракции щелочью, с ДМСО или водой под давлением [2,3]. Модифицированные формы ксилана обладают потенциалом для широкого применения в медицине, в роли гидрогелей и средств доставки лекарств, в качестве эмульгирующих добавок в пищевой промышленности, а также в виде покрытий и пленок [4].

Отдельной формой ксилана являются ксилоолигосахариды (КОС), состоящие из нескольких звеньев ксилозы, соединенных β -(1 $\rightarrow$ 4)-гликозидными связями. Они проявили себя как перспективные пребиотики, способствующие росту полезных бактерий в кишечнике [5]. Помимо пребиотических свойств, КОС проявляют также антиоксидантные, противоопухолевые и иммуномодулирующие свойства [6].

Традиционно КОС получают тремя методами гидролиза: кислотным, ферментативным, автогидролизом [7]. Эти методы имеют свои недостатки, такие как малый выход продуктов гидролиза, неэффективность, коррозия оборудования, сложность разделения реакционной смеси и большие затраты на производство. В последнее время набирает популярность применение твердых кислотных катализаторов для получения олигосахаридов, которые, в свою очередь, являются эффективными, гетерогенными и легко отделяемыми. В данной работе используется твердокислотный катализатор Zr-Al-SBA-15, который является эффективным в водной реакционной среде за счет своей

развитой пористой поверхности, а также наличию на поверхности кислотных центров за счет включения оксидов циркония и алюминия [8].

Целью работы является получение целевых продуктов – ксилоолигосахаридов с длиной цепи 2-10 из ксилана на твердом кислотном катализаторе Zr-Al-SBA-15, а также возможность их фракционирования на хроматографической колонке, заполненной активированным углем и водой в качестве элюента.

На рисунке 1 представлен снимок со сканирующего электронного микроскопа катализатора Zr-Al-SBA-15. Подтверждено, что материалу типа SBA-15 присуща упорядоченная канальная структура с сохранением исходной матрицы независимо от введения легирующих добавок.

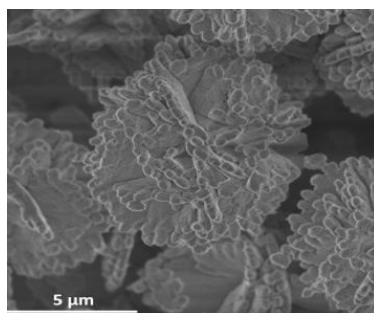


Рисунок 1. Фотография СЭМ катализатора Zr-Al-SBA-15

Чтобы оценить эффективность синтезированного катализатора были проведены эксперименты автоклавного гидролиза с вариацией температуры в диапазоне 110-150 °С и времени 30 – 360 минут. В результате проведенных исследований были установлены оптимальные условия для гидролиза: 130 °С при 60 мин процесса. При указанных параметрах выход ксилоолигосахаридов достигает максимальных значений (до 30 массовых %). Другие температуры оказались недостаточно эффективными, так же как и недопированный катализатор (рисунок 2).

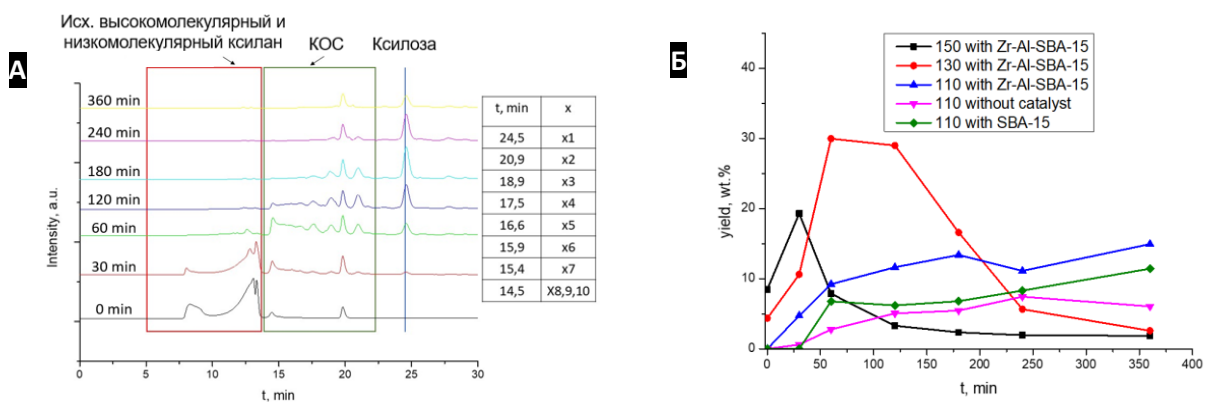


Рисунок 2. А - Хроматограммы продуктов гидролиза ксилана при 130 °С;

Б - Общий массовый выход ксилоолигосахаридов

В ходе работы была также изучена возможность фракционирования продуктов гидролиза. Исходя из полученных данных, в первую очередь вымываются молекулы с большой молекулярной массой, представленные исходным ксиланом, затем олигомерная фракция с числом звеньев 2-10 и после мономер – ксилоза (рисунок 3).

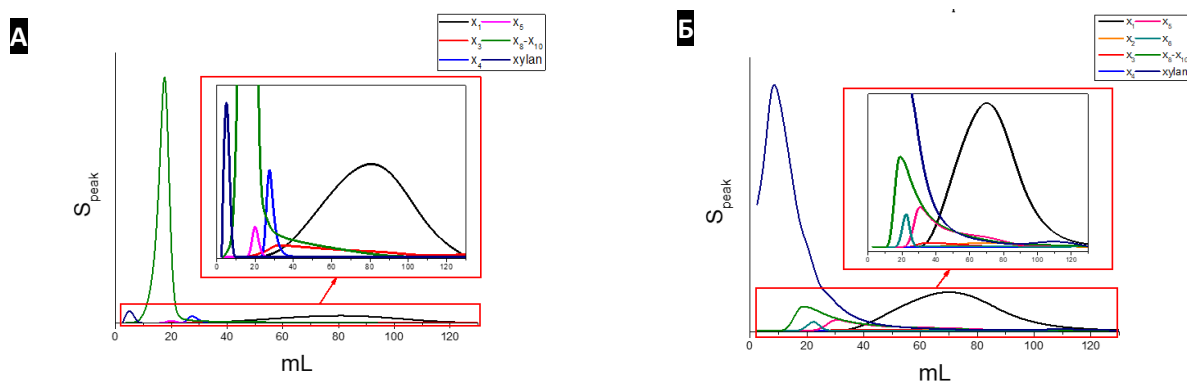


Рисунок 3. Кривые элюирования продуктов гидролиза ксилана: А – при 110 °С без катализатора; Б – при 110 °С с твердокислотным катализатором Zr-Al-SBA-15

Таким образом, изучен процесс гидролиза ксилана на твердом кислотном катализаторе Zr-Al-SBA-15, который проявил достаточную эффективность для получения КОС, выявлены оптимальные условия гидролиза: 130 °С при 60 мин. Проведено фракционирование продуктов гидролиза некаталитического и каталитического процесса путем разделения на колонке с сорбентом. Удалось разделить олигомерную фракцию и мономер. При усовершенствовании данный метод перспективен для производства в промышленном масштабе.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 22-73-10212, <https://rscf.ru/en/project/22-73-10212/>.

Список литературы

1. Hsieh Y. S., Harris P. J. Xylans of red and green algae: what is known about their structures and how they are synthesized? // *Polymers*. 2019. Vol. 11, P. 354.
2. Fractionation of DMSO-Extracted and NaOH-Extracted Hemicelluloses by Gradient Ethanol Precipitation from **Neosinocalamus affinis** / G. Fu, P. Yue, Y. Hu et. all // *International Journal of Polymer Science*. 2018. Vol. 2018, No. 1. P. 9587042.
3. BIOREFINERY. Pressurized hot water extraction of acetylated xylan from birch sawdust / P. Kilpeläinen, K. Leppänen, P. Spetz et. all // *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 2012. Vol. 27, No. 4. P. 680–688.
4. Konduri M. K., Fatehi P. Synthesis and Characterization of Carboxymethylated Xylan and Its Application as a Dispersant // *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 146. P. 26–35.
5. Prebiotic dietary fiber and gut health: Comparing the In Vitro Fermentations

of Beta-Glucan, Inulin and Xylooligosaccharide / J.L.Carlson, J.M. Erickson, J.M. Hess et. all // *Nutrients*. 2017. Vol. 9, No. 12. P. 1361.

6. Preparation of xylooligosaccharides from rice husks and their structural characterization, antioxidant activity, and probiotic properties / S. Tian, Z. Yang, F. Yan et. all // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 271. P. 132575.

7. Preparation and nutritional properties of xylooligosaccharide from agricultural and forestry byproducts: A comprehensive review/ Yan F., Tian S., Du K. et. all // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Art. no. 977548.

8. Conversion of cellulose to lactic acid using $ZrO_2-Al_2O_3$ catalysts / P. Wattanapaphawong, O. Sato, K. Sato et. all // *Catalysts*. 2017.

УДК 547.556.31

АЗОСОЧЕТАНИЕ ВАНИЛИНА С ДИАЗОНИЕВЫМИ СОЛЯМИ АМИНОБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ

А. С. Танаева¹

Научный руководитель В. А. Голубков^{1,2}

¹*Сибирский федеральный университет*

Растительная биомасса является перспективным сырьём, способным в будущем заменить ископаемые углеводороды в процессах крупнотоннажного химического синтеза [1, 2]. Развивающимся в настоящее время способом переработки лигнина является его каталитическое окисление молекулярным кислородом для получения оксиальдегидов, в основном ванилина. Он является ценным сырьем для фармацевтической, пищевой и парфюмерной промышленности [3]. Поиск новых способов применения такой молекулы-платформы, получаемой в процессах переработки растительного сырья, разработка синтетических путей её модификации является актуальной задачей. Азосоединения на основе ванилина могут быть использованы в качестве антибиотиков, противоопухолевых и анти-ВИЧ препаратов, индикаторов кислотности среды, фотоактивных молекул. Целью настоящей работы является синтез и исследование продуктов азосочетания ванилина с диазониевыми солями аминобензойных кислот.

Для получения диазониевых солей (2) аминобензойных кислот (1), смешивали аминобензойную кислоту с HCl концентрированной и с водой. Раствор охлаждали до 0 °С на ледяной бане и добавляли к нему охлажденный

до 0 °С раствор NaNO_2 , разбавленный водой. Данная реакция изображена на рисунке 1.

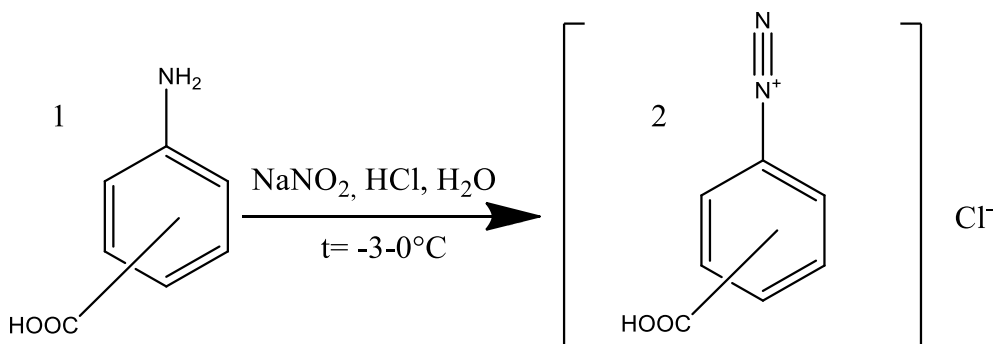


Рисунок 1. Схема получения диазониевых солей

Ванилин (3) растворяли в NaOH . Раствор охлаждали до 0 °С, при этом наблюдалось полное выпадение ванилина. Затем, к щелочному раствору ванилина постепенно по каплям добавляли раствор соли диазония при интенсивном перемешивании и температуре $\sim 0^\circ\text{C}$ (рисунок 2). Реакционную смесь оставляли на 0,5 ч на бане со льдом и на 1 ч при комнатной температуре.

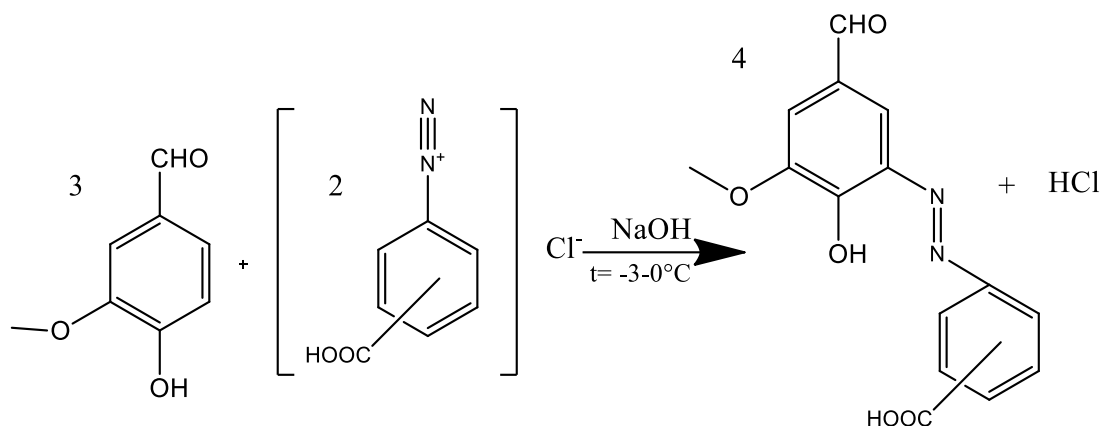


Рисунок 2. Схема реакции азосочетания ванилина с диазониевой солью

Затем реакционную смесь подкисляли, выпавшие хлопья сырых продуктов азосочетания (4) фильтровали на воронке Бюхнера, промывали чистой водой. Затем сушили, перетирали полученный порошок и, промывая большим количеством воды, фильтровали и снова сушили.

Очистку сырого продукта проводили путём перекристаллизации этанолом. Навеску вещества растворяли в этаноле при нагревании до кипения, затем продукт осаждали водой. Выпавший осадок, фильтровали, сушили и растирали в ступке. После выделения и высушивания получили порошки тёмно-красного, коричневого цвета.

Чистота выделенных продуктов подтверждена методом тонкослойной хроматографии, газовой хроматографии с масс-спектрометрией и высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией, примеси не обнаружены. Методом ВЭЖХ-МС с ионизацией электроспреем обнаружен основной пик отрицательного иона m/z 299 ($M^- - H$), соответствующего данным молекулам с диссоциированной карбоксильной группой. Названия, обозначения, выход и температуры плавления продуктов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Температуры плавления полученных азосоединений

Название продукта / Обозначение	Выход, %	Температура плавления, °С
4-гидрокси-3-метокси-5-(2-карбоксифенил) диазенилбензальдегид / 2-AB	30	240-243
4-гидрокси-3-метокси-5-(3-карбоксифенил) диазенилбензальдегид / 3-AB	36	237-240
4-гидрокси-3-метокси-5-(4-карбоксифенил) диазенилбензальдегид / 4-AB	56	>250

Рассчитанные данные элементного состава схожи с экспериментальными и подтверждают структуру полученных соединений (таблица 2).

Для изучения структуры и группового состава образцы исследованы методом ИК-спектроскопии (рисунок 3). В результате исследования методом ИК-спектроскопии подтверждена структура и состав функциональных групп полученных соединений. Смещение сигналов гидроксильных групп ($3500-2500\text{ см}^{-1}$) в область меньших волновых чисел вероятно связано с наличием сильных внутри- и межмолекулярных взаимодействий. Это согласуется с высокой температурой плавления веществ (240 и более °С).

Таблица 2

Элементный состав полученных азосоединений

Образец	Содержание, мас. %			
	N	C	H	O (по разнице)
2-AB	9,35	60,03	3,89	26,73
3-AB	9,04	60,05	3,86	27,05
4-AB	8,19	60,86	3,93	27,02
Рассчитанно	9,33	60,00	4,03	26,64

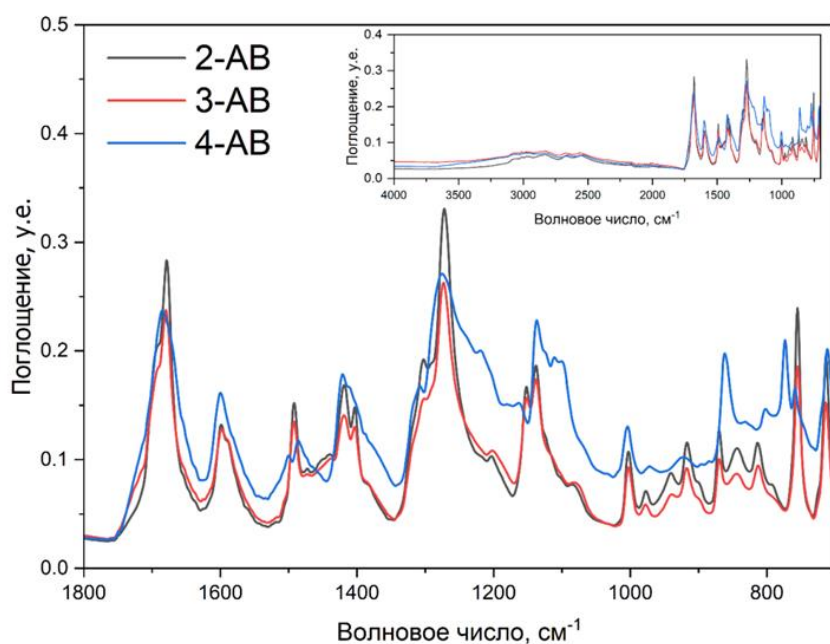


Рисунок 3. ИК-спектры полученных соединений

Таким образом, в ходе исследования были получены новые азосоединения. Доказана чистота продуктов, определены температуры плавления, подтверждён элементный состав, методом ВЭЖХ-МС доказана структура и молекулярная масса соединений, методом ИК-спектроскопии групповой состав. В дальнейшем планируется подтвердить структуру методом ЯМР-спектроскопии.

Список литературы

1. The path forward for biofuels and biomaterials / A. J. Ragauskas, C. K. Williams, B. H. Davison, G. Britovsek, J. Cairney, C. A. Eckert, Jr W. J. Frederick, J. P. Hallett, D. J. Leak, C. L. Liotta // Science. 2006. Vol. 311. № 5760. P. 484-489.
2. When Will 5-Hydroxymethylfurfural, the “Sleeping Giant” of Sustainable Chemistry, Awaken? / K. I. Galkin, V. P. Ananikov // ChemSusChem. 2019. Vol. 12. № 13. P. 2976-2982.
3. Influence of mass transfer and acid prehydrolysis on the process of flax shives catalytic oxidation into vanillin and pulp / V. E. Tarabanko, D. O. Vigul, K. L. Kaygorodov, Y. Kosivtsov, N. Tarabanko, Y. V. Chelbina // Biomass Conversion and Biorefinery. 2022. № 13. P. 1-11.

УДК 543.054:543.426:546.23

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ 4,5-ПИАЗОСЕЛЕНОЛА И ЕГО ЭКСТРАКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

В. М. Черкашин¹

Научный руководитель В. Н. Лосев¹

Доктор химических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Пиазоселенолы – органические соединения, продукты взаимодействия Se (IV) с ароматическими орто-диаминами, содержащие селенодиазольный пятичленный цикл. Пиазоселенолы способны извлекаться из водных растворов малополярными растворителями и обращено фазовыми сорбентами. Продукт взаимодействия Se (IV) с 2,3-диаминонафталином – 4,5-пиазоселенол – обладает интенсивной люминесценцией в водных растворах и органических растворителях [1,2]. Возможность закрепления 4,5-пиазоселенола на поверхности твердых носителей [3,4] позволяет создать люминесцентные твердотельные чувствительные элементы, изменяющие свои спектрально-люминесцентные характеристики в зависимости от свойств окружающей среды, например полярности растворителя. В качестве органического разбавителя для экстракции Se(IV) с 2,3-диаминонафталином наиболее широко используется гексан, в котором 4,5-пиазоселенол люминесцирует желто-зеленым светом [5]. В литературе отсутствует сведения о люминесценции 4,5- пиазоселенола в органических разбавителях различной природы.

Целью настоящей работы является определение оптимальных условий образования 4,5-пиазоселенола в водном растворе и его спектрально-люминесцентных характеристик в различных органических разбавителях.

Исходный раствор Se (IV) с концентрацией 1 г/л готовили растворением навески коммерческого препарата H_2SeO_3 . Растворы с меньшими концентрациями ионов селена готовили разбавлением исходного раствора. Для создания необходимого значения pH использовали растворы HCl, HNO_3 и NaOH квалификации ос.ч. В качестве реагента использовали 2,3-диаминонафталин (ДАН) (Sigma-Aldrich, Германия). Исходный 0,1%-ный раствор ДАН готовили растворением его точной навески в 0,05 М HCl. Концентрацию селена в растворах определяли масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) на приборе Xseries II (Thermo Scientific, США). Спектры возбуждения люминесценции и люминесценции водных растворов и органических экстрактов регистрировали

на спектрофлуориметре Cary Eclipse (Varian, Австралия) в стандартных кварцевых кюветах (10 мм x 10 мм). Растворы нагревали в термостате UTU-2 (Horyzont, Польша). Деионизованную воду ($18,1 \text{ M}\Omega \text{ см}^{-1}$) получали на установке Barnstead E-pure D4642-33 (Barnstead International, США).

Для определения оптимальных условий образования 4,5-пиазоселенола в градуированную пробирку вместимостью 15 мл вводили 1 мкг Se(IV), добавляли хлороводородную кислоту до ее концентрации в диапазоне 0,01 - 1 М, вводили раствор ДАН до его концентрации в диапазоне 0,001 – 0,1%, добавляли воду до 10 мл. Пробирки закрывали пробками и помещали в термостат, нагретый до 50 или 95 $^{\circ}\text{C}$, и выдерживали в течение 5-30 мин.

Пробирки вынимали из термостата, охлаждали до комнатной температуры, переносили в делительную воронку. Добавляли 10 мл гексана и встряхивали в течение 10 мин. После расслоения фаз водную фазу сливали, аликвоту органической фазы помещали в кварцевую кювету, облучали светом с длиной волны 377 нм и измеряли интенсивность люминесценции при 557 нм.

В широком диапазоне концентраций реагента 0,005 % до 0,1% и хлороводородной кислоты (от 0,01 до 1 М) наблюдается максимальная интенсивность люминесценции комплекса Se (IV) с 2,3-диаминонафталином в органической фазе – гексане, что свидетельствует о полноте образования 4,5-пиазоселенола и его количественной экстракции органическим разбавителем. Степень извлечения селена, по данным масс-спектрометрического анализа, составила 99%. Для достижения максимальной интенсивности люминесценции 4,5-пиазоселенола время выдерживания реакционной смеси при 50 $^{\circ}\text{C}$ составляет 10 мин и при 90 $^{\circ}\text{C}$ - 5 мин.

Спектр люминесценции 4,5-пиазоселенола в гексане представляет собой широкую структурированную полосу с максимумами при 517 нм, 560 нм и 535 нм. Спектр возбуждения люминесценции представляет полосу с интенсивным максимумом при 377 нм и менее интенсивными максимумами при 360 и 365 нм и слабовыраженным максимумом при 300 нм. При замене гексана на гептан не наблюдается изменений в спектрах возбуждения люминесценции и люминесценции 4,5-пиазоселенола: их форма, положение максимумов и интенсивность остаются без изменений. Использование в качестве экстрагентов бензола, толуола и четыреххлористого углерода приводит к изменению спектров люминесценции 4,5-пиазоселенола, которые представляют собой широкие бесструктурную полосы с максимумами при 545 нм в бензоле и толуоле и при 560 нм в CHCl_3 (рисунок). Несмотря на изменение формы спектров люминесценции 4,5-пиазоселенола, интенсивность их полос в гексане, гептане, бензоле, толуоле и четыреххлористом углероде, обладающих примерно одинаковой полярностью, практически одинакова. Спектры возбуждения люминесценции 4,5-пиазоселенола в бензоле, толуоле и четыреххлористом углероде идентичны его спектрам возбуждения

люминесценции в гексане (рисунок). Значительные изменения в спектрах возбуждения люминесценции и люминесценции 4,5-пиазоселенола наблюдаются при использовании в качестве экстрагентов полярных органических разбавителей - изоамилового и изобутилового спирта. Максимум спектра его люминесценции в этих экстрагентах расположен при 600 нм (рисунок), а интенсивность люминесценции в изоамиловом спирте в 4 раза, а в изобутиловом спирте в 7 раз ниже, чем в гексане. Как видно из рисунка, с увеличением полярности органического разбавителя происходит сдвиг спектров люминесценции и его максимума в длинноволновую область (батохромный сдвиг), что позволяет использовать 4,5-пиазоселенол как соединение, чувствительное к полярности раствора.

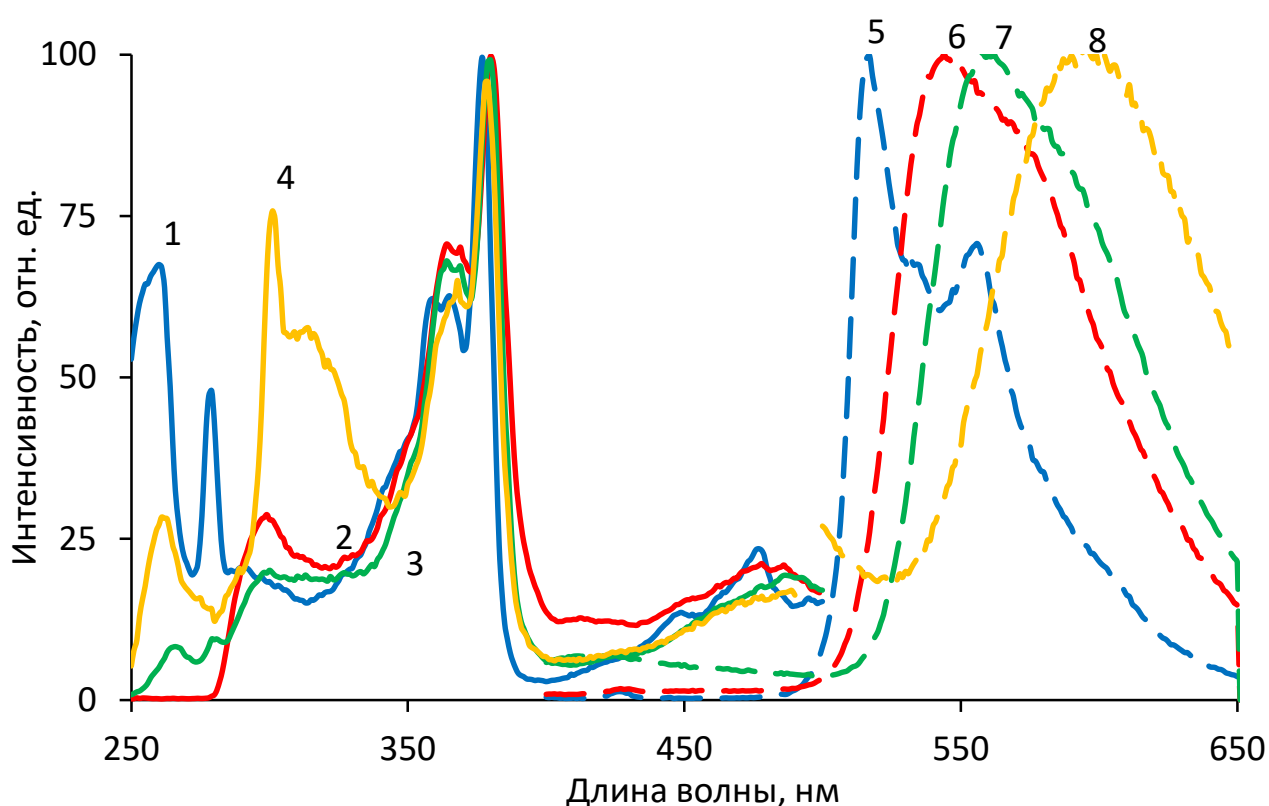


Рисунок. Нормированные спектры возбуждения люминесценции (1-4) и люминесценции (5-8) 4,5-пиазоселенола в гексане (1,4), толуоле (2,6), хлороформе (3,7), изобутаноле (4,8)

Список литературы

1. Lott P. F., Cukor P., Moriber G., Solga J. 2,3-Diaminonaphthalene as a Reagent for the Determination of Milligram to Submicrogram Amounts of Selenium // *Analytical Chemistry*. 1963. V. 35. № 9. P. 1159–1163.
2. Harrison I., Littlejohn D., Fell G.S. Improved Molecular Fluorescence Method for the Determination of Selenium in Biological Samples // *Analyst*. 1996. V. 121. P. 1641-1646.

3. Serra A.M., Estelaa J.M., Coulomb B., Boudenne J.L., Cerdà V. Solid phase extraction – Multisyringe flow injection system for the spectrophotometric determination of selenium with 2,3-diaminonaphthalene // *Talanta*. 2010. V. 81. P. 572–577.

4. Depecker G., Branger C., Margaillan A., Pigot T., Blanc S., Robert-Peillard F., Coulomb B., Boudenne J.-L. Synthesis and applications of XAD-4-DAN chelate resin for the separation and determination of Se(IV) // *Reactive and Functional Polymers*. 2009. V. 69. № 12. P. 877–883.

5. Parker C.A., Harvey L.G. Luminescence of some Piazselenols. A New Fluorimetric Reagent for Selenium // *Analyst*. 1962. V. 87. P. 558-565.

УДК 666.313

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПЛАВЛЕНОГО КВАРЦА

М. И Шендрик¹, П. В. Мухин¹

Научный руководитель Н. С. Симонова¹

Кандидат технических наук

Научный руководитель М. Н. Васильева¹

Кандидат химических наук

¹*Сибирский федеральный университет*

Технология нанесения покрытий является одним из основных направлений развития современного производства. Покрытия позволяют решить две основные задачи. Первая – изменение физико–химических свойств исходных поверхностей изделий, обеспечивающих заданные условия эксплуатации, вторая – восстановление свойств поверхностей изделий, нарушенных во время эксплуатации. Использование покрытий позволяет значительно повысить характеристики изделий.

Покрытия на основе диоксида кремния имеют множество применений благодаря таким свойствам, как высокая термическая стабильность, химическая инертность, гидрофобность и прозрачность. Например, их применяют для получения антибликовых покрытий на различных устройствах, для создания гидрофобных поверхностей, для покрытия изделий, работающих при высоких температурах.

Химические методы получения покрытий довольно разнообразны. Это объясняется специфическими приемами формирования покрытий, применением различного ассортимента пленкообразующих веществ,

различающихся по химическому составу и физико-химическим свойствам [1, 2]. Одним из перспективных методов является золь-гель технология.

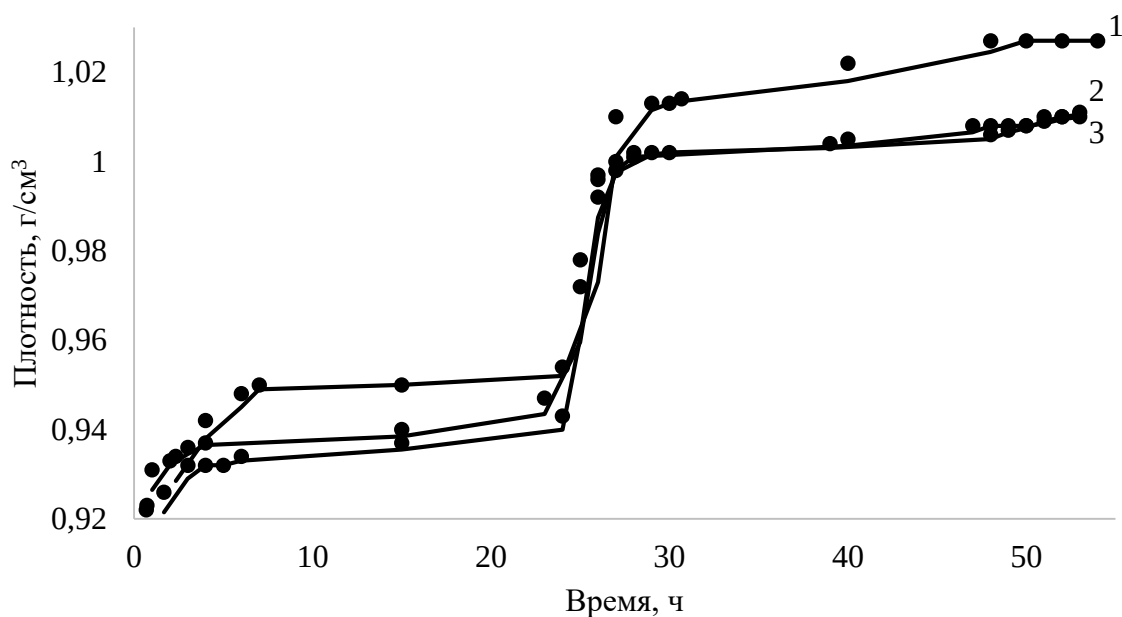
В золь-гель технологии основным является вещество, которое при определенных условиях образует полимерные структуры, из которых будет формироваться золь. В качестве основного вещества используются практически любые гидролизующиеся соединения [3].

Однако, проблемы получения разнообразных материалов на основе диоксида кремния с заданными эксплуатационными характеристиками, еще далеки от своего окончательного разрешения.

В связи с этим целью работы явилась разработка технологических режимов нанесения покрытий на основе диоксида кремния высокой чистоты, синтезированного золь-гель методом.

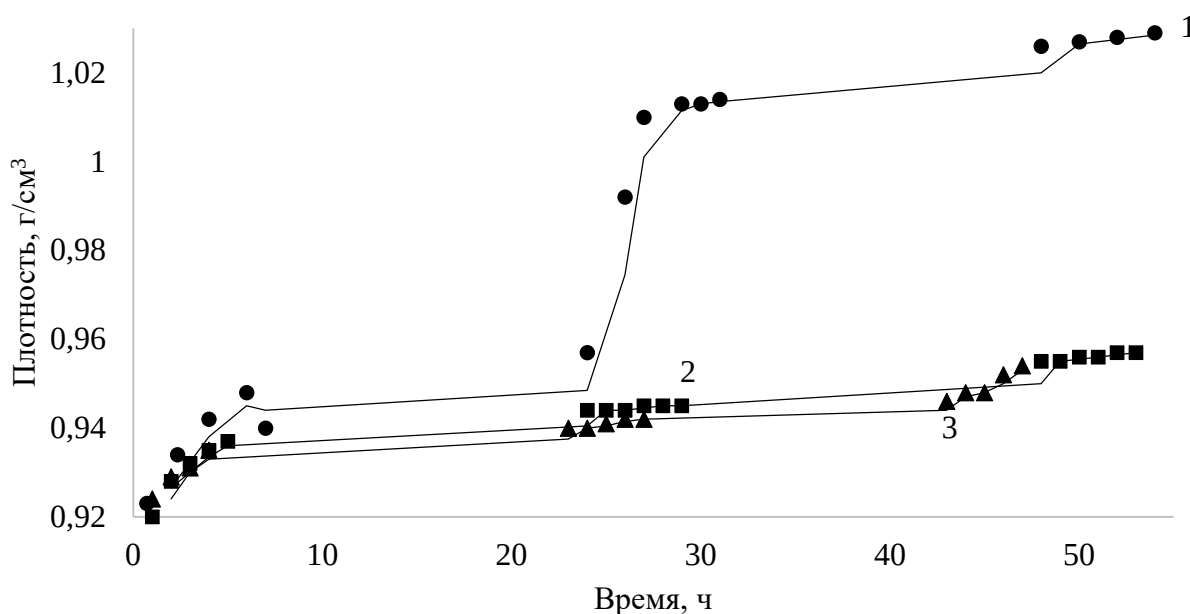
Тонкопленочные покрытия получали золь-гель методом путем проведения гидролиза этилового эфира ортокремневой кислоты, а также с добавлением нановолокон оксида алюминия или оксида титана.

На рисунках 1–2 показано влияние содержания нановолокон и оксида титана на изменение плотности пленкообразующего раствора с течением времени.



1 – чистый раствор, 2 – 1 мл, 3 – 2 мл

Рисунок 1. Изменение плотности пленкообразующего раствора с течением времени при введении нановолокон Al_2O_3



1 – чистый раствор, 2 – 1 масс. %, 3 – 2 масс. %

Рисунок 2. Изменение плотности пленкообразующего раствора с течением времени при введении нановолокон TiO₂

Исходя из представленных зависимостей свойств золя SiO₂, золь – гель процесс можно разбить на несколько этапов. На начальном этапе в течение 7 ч для чистого раствора, 4-6 ч для системы с 1 мл нановолокн, 7 ч для систем с 2 мл нановолокн, для систем с частицами диоксида титана 7 ч, на кривых наблюдалось увеличение исследуемых параметров вследствие формирования мицелл, составляющих золь. На следующем этапе свойства золя переставали изменяться и оставались стабильными в течение 17 ч, для системы с 1 мл нановолокн – 18-20 ч, для систем с 2 мл нановолокн – 25 ч для систем с частицами диоксида титана 17 ч. При выдержке золя при комнатной температуре в течение приблизительно 24-25 ч плотность золя резко возрастала, что свидетельствует о нарушении агрегативной и седиментационной устойчивости вследствие протекания процесса гелеобразования. Золь – гель переход осуществлялся в течение 7 ч. Таким образом, в течение 30 ч после образования золя завершается золь - гель переход.

В системе с частицами диоксида титана в течение 7 ч протекает формирование мицелл, далее исследуемые параметры изменялись не значительно. Плёнкообразующий раствор оставался стабильным в течение 55 ч после образования золя.

Полученные плёнкообразующие растворы использовали для нанесения комбинированных покрытий на подложки из плавленого кварца. Предложенный метод заключается в нанесении трех слоев покрытия. Первый

и третий слой получали из золя SiO_2 , промежуточный слой получали из золя SiO_2 с добавлением нановолокон Al_2O_3 или нанодисперсного порошка TiO_2 .

Прочность покрытий достигается за счёт нановолокон Al_2O_3 , которые связывают два слоя диоксида кремния между собой. Частицы золя TiO_2 малого размера, имеющие положительный заряд, притягиваются к большим противоположно заряженным частицам диоксида кремния, образуя на его поверхности оболочку, что также способствует хорошему сцеплению слоев покрытий.

Список литературы

1. Суйковская Н. В. Тонкопленочные неорганические наносистемы / Н. В. Суйковская, В. В. Козик. Томск: Томский государственный университет, 2012. 134 с.
2. Борило Л. П. Тонкопленочные неорганические наносистемы / Л.П. Борило, В.В. Козик. Томск: Томский государственный университет 2012. 134 с.
3. Кондратенко В. С. Золь–гель технология нанесения покрытий / В.С. Кондратенко, А. Н. Кобыш, В. А. Картацева // Оптические технологии, материалы и системы: Сборник докладов Российской научно–технической конференции с международным участием. 2020. 105 с.
4. Шабанова, Н. А. Основы золь – гель технологии нанодисперсного кремнезема: монография / Н. А. Шабанова, П. Д. Саркисов. М: ИКЦ «Академкнига». 2004. 208 с.

УДК 666.9*13; 666.9*124

РАЗРАБОТКА ГИДРОФОБНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВЕРМИКУЛИТА

Г. В. Шмидт¹

Научный руководитель М. М. Симунин¹

Кандидат технических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Вермикулит — это природный минерал из группы слюд, который обладает слоистой структурой. Он состоит в основном из гидратированных силикатов алюминия, магния и железа. Химическая формула вермикулита выглядит таким образом $(\text{Mg}^{+2}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_3 [(\text{AlSi})_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, что указывает на присутствие оксидов магния, алюминия, кремния и железа, а также на 4 молекулы воды в составе исследуемого минерала. Обычно применение вермикулита производится

в водных смесях и суспензиях. Коллоидную стабильность пластин слюды, в этом случае обеспечивают гидроксильные группы переводя гидрофильно-липофильный баланс частиц в полярную сторону. Известные механические и сорбционные свойства вермикулита важно применять в лиофильных составах на основе масел или жидких неполярных растворителей. Для этого требуется сместить гидрофильно-липофильный баланс частиц в неполярную сторону посредством гидрофобизации поверхности частиц. Целью работы являлась разработка гидрофобной добавки для покрытий на основе вермикулита.

Гидрофобность материалов во многом определяется свойствами и структурой поверхностного слоя. Считается, что создание гидрофобной поверхности материала возможно, за счет применения силанов с заданными функциональными группами, которые обеспечивают водо- и грязеотталкивающие свойства. В работе, в качестве гидрофобизатора использовался полиметилгидридсилан (ПМГС), посредством его гидролиза по водороду на ОН-группах и остаточной воды на поверхности слюды. Был проведён эксперимент по гидрофобизации вермикулита. На каждые 5 г молотой слюды вспученного вермикулита [1] взяли по 1 мл ПМГС (полиметилгидросилана). Слюду просушили при температуре 250 С в течение 2 часов. Подготовили 1% раствор ПМГС (1 мл ПМГС на 100 мл петролейного эфира) и добавили по 100 мл раствора на 5 г слюды в каждую часть сразу после отжига. Слюду, не охлаждая вынули из шкафа, пересыпали каждую часть в отдельный стакан под вытяжкой после чего залили раствором ПМГС в петролейном эфире и тщательно перемешали. Процесс гидрофобизации сопровождается выделением водорода (что мы наблюдали в виде пузырьков на поверхности раствора). На следующий день смесь была высушена при 80 С.

Провели исследование, используя оптическую электронную микроскопию для изучения морфологии поверхности вермикулита до гидрофобизации суспензии вспученного вермикулита в слюде смешав с водой и льняным маслом, добавляя ПАВ [2] похожие по своей структуре на касторовое масло. Льняное масло благодаря альфа-линоленовой кислоте полимеризуется по двойным связям формируя целостное покрытие на поверхности. Заметили явление – абберация света, она в зависимости от толщины слюды и её положения в оптической плотности микроскопа, а также от угла попадания света на саму слюду. [3]

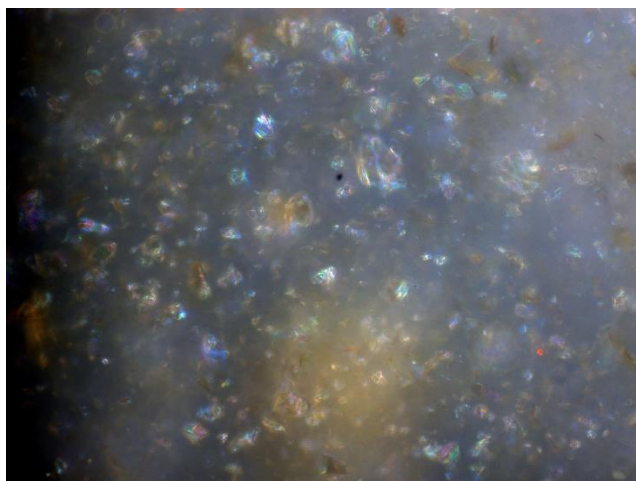


Рисунок 1. Аберрация света на чешуйках вермикулита

Для подтверждения того, что удалось гидрофобизировать добавку, мы использовали синхронный термический анализ. Синхронный термический анализ – это метод, сочетающий методы инфракрасной спектроскопии, дифференциального термического анализа и термогравиметрического анализа при одном измерении при нагреве образца до заданной температуры в заданной среде (в нашем случае в атмосферных условиях).

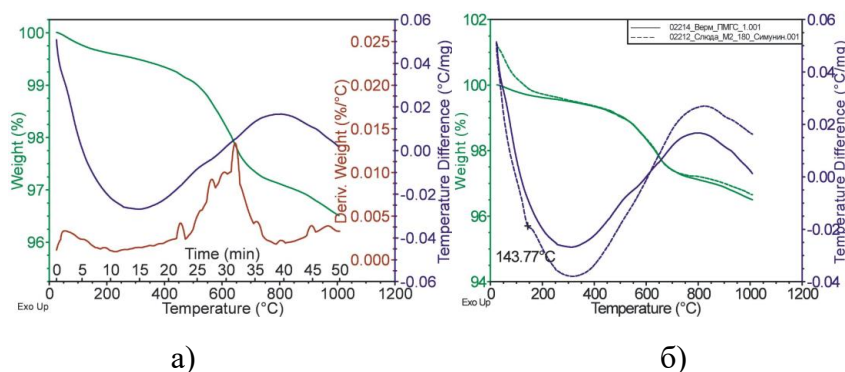


Рисунок 2. Графики синхронного термического анализа

На рисунке 2 а виден характерный пик удаления адсорбата начинающийся при 60 °С, а также многосоставной пик с 500 до 800 °С разложения кристаллогидратов [4]. Удаление воды происходит неоднородно из-за разных энергий связи на поверхности материала и между пластинами слюды.

На рисунка 2 б убыль массы в вермикулите наблюдается до 200 °С, что можно объяснить удалением физически связанной воды. Масса референса убывает на 1,5 %, а гидрофобизированный вермикулит имеет убыль массы ~0,3 %. Меньшее количество полярных групп на поверхности аккумулирует меньшее количество полярного адсорбата воды и CO_2 из атмосферы.

В пять раз меньшая убыль массы гидрофобизированного вермикулита качественно указывает на успешно прошедшую гидрофобизацию.

Список литературы

1. Бакиров Ж. А. Синтез антикоррозионных гибридных покрытий на основе вермикулита / Ж. А. Бакиров, С. Д. Халикова, Х. С. Бекназаров // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 5(98). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13621>
2. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение: перевод с английского / К. Р. Ланге ; науч. ред. Л. П. Зайченко. Санкт-Петербург: Профессия. 2007. 239 с. ISBN 5-93913-068-2
3. Вермикулит вспученный ГОСТ 12865— 67 Издание официальное. Государственный строительный комитет СССР. Москва. 12.04. 1967 г.
4. Народы Сибири и Дальнего Востока с древних времен до наших дней: материалы IX Сибирского исторического форума, Красноярск, 14-16 сентября 2022 г. / Сибирский федеральный университет, Гуманитарный институт ; гл. ред. Н. И. Дроздов. Красноярск: СФУ. 2022 (2022-09-13). 1649 с. ISBN 978-5-7638-4737.

УДК 669.1*546.62*546.882

МОДИФИЦИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НИОБИЙ-СОДЕРЖАЩЕЙ ЛИГАТУРОЙ

К. Р. Яныгина¹, А. В. Фаткулин¹, О. В. Юшкова¹

Научный руководитель В. П. Жереб¹

Доктор химических наук, профессор

Научный руководитель А. И. Безруких¹

Кандидат технических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В начале 1950-х годов Холл [1] и Петч [2] эмпирически продемонстрировали, что уменьшение размера зерна металла может привести к резкому увеличению прочности и, как позже было показано [3], других эксплуатационных характеристик конструкционных материалов. С тех пор, как было предложено уравнение Холла–Петча [3], модифицирование микроструктуры, направленное на измельчение зерна, стало одним из перспективных направлений упрочнения металлов и сплавов, а связанные с ним исследования способов и механизмов модифицирования остаются актуальными проблемами материаловедения.

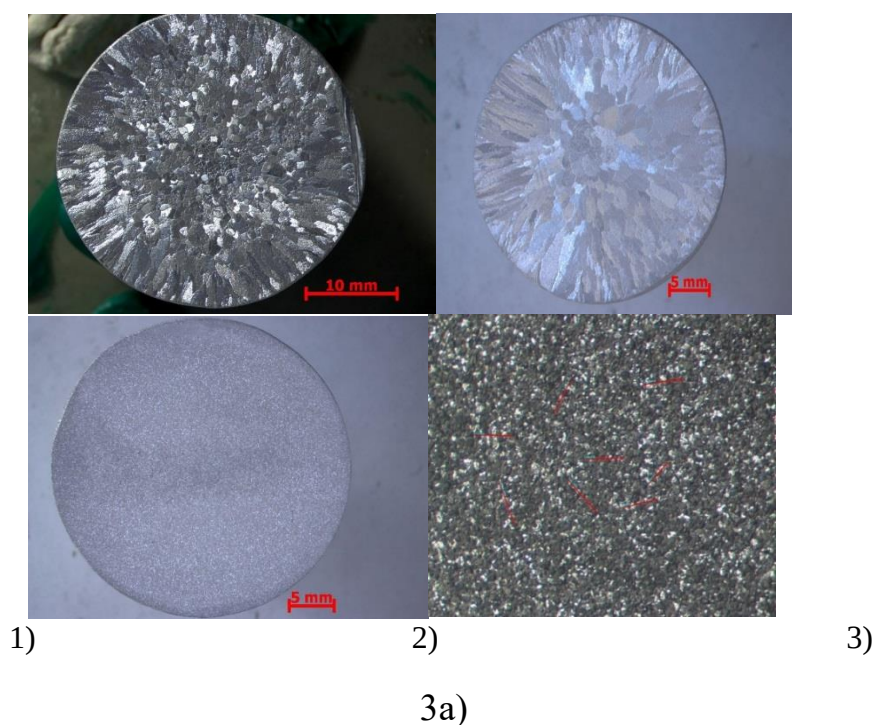


Рисунок. Микроструктура образца А85 по результатам Alcan-теста
(номер фотографии соответствуют номеру образца в таблице)

Таблица

Оценка величины зерна по результатам Alcan-теста

Номер образца	Состав образца	Средняя ширина зоны Столбчатых кристаллов, мм	Средний размер равноосных кристаллов, мм
1	Al (A85)	8.7	$1.43 \approx \pm 0.19$
2	Al + 0,3(1)% Nb + 1%Ti	5.9	$0.53 \approx \pm 0.06$
3	Al + 1,3(2)% Nb + 3%Ti	—	$0.036 \approx \pm 0,005$

Измельчение микроструктуры алюминиевых сплавов является наиболее перспективным средством улучшения широкого спектра их потребительских свойств. Модификаторы для алюминиевых сплавов, применяемые в настоящее время, в частности – Al-Ti-B, при всех несомненных достоинствах, имеют существенные ограничения, связанные с "отравления" этого модификатора кремнием, а также с плохо прогнозируемыми последствиями накопления диборида титана в расплаве при его промышленном применении в литейных силуминах.

В нашем исследовании [4] было показано, что для управления микроструктурой и свойствами таких сплавов могут быть использованы сплавы

Al - Ti - Nb, содержащие в расплавленном состоянии низкие концентрации высокотемпературных частиц интерметаллида Al_3Nb . На рисунке и в таблице представлены результаты Alcan-теста, которые позволяют выбрать оптимальный состав ниобий-содержащего модификатора.

Обсуждение различных моделей механизма модифицирования микроструктуры алюминиевых сплавов цирконий- и ниобий-содержащими лигатурами, выполненное в [5], позволяет предположить, что обнаруженный нами в микроструктуре модифицированного А85 интерметаллид Al_3Nb являются мощными гетерогенными измельчителем зерен Al за счет облегчения зародышеобразования в процессе кристаллизации легированного расплава из-за близости параметров их кристаллических структур, т.е. за счет фактора структурно-размерного соответствия.

Список литературы

1. Hall E. O. The deformation and ageing of mild steel: III discussion of results // Proceedings of the Physical Society. Section B. 1951. V. 64. №. 9. P. 747.
2. Petch N. J. The cleavage strength of polycrystals // J. Iron Steel Inst. 1953. V. 174. P. 25-28.
3. Cordero Z. C., Knight B. E., Schuh C. A. Six decades of the Hall–Petch effect—a survey of grain-size strengthening studies on pure metals // International Materials Reviews. 2016. V. 61. №. 8. P. 495-512.
4. Модифицирование алюминия сплавами системы Al-Ti-Nb / О. В. Юшкова, А. И. Безруких, В. П. Жереб [и др.] // Литейщик России. 2022. №. 1. С. 29-31.
5. Crystallographic study of Al_3Zr and Al_3Nb as grain refiners for Al alloys / W. Feng, Q. Dong, Z.L. Liu [et al.] // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2014. V. 24. №. 7. P. 2034-2040.

УДК 676.032.14,547.455

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКАТИОННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ АРАБИНОГАЛАКТАНА

М. В. Середа¹

¹© Середа М.В., 2025

Научный руководитель Ю. Н. Маляр^{1,2}

Кандидат химических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Растительные полисахариды являются наиболее перспективной группой веществ за счет их широкой распространенности, биодоступности, биоразлагаемости, нетоксичности [1], а также возможности их участия в реакциях комплексообразования [2]. Одним из уникальных гетерополисахаридов является арабиногалактан лиственницы (*Larix sibirica* L.) [3], который обладает рядом полезных свойств за счет своей сильно разветвлённой структуры. Данный полисахарид является источником растворимых диетических волокон и клетчатки [4], а также обладает противоаллергическим [5], иммуномодулирующим [6] и противовоспалительным действием [7], совокупность данных свойств открывает перспективы для использования арабиногалактана в системах доставки лекарственных веществ.

Существенным ограничением данного направления является неупорядоченная структура полисахарида и ограниченное количество функциональных групп, способствующих связыванию биологически активных веществ. Данная проблема может быть решена посредством химической модификации арабиногалактана, что, несомненно, повлечет за собой улучшение комплексообразующих свойств полисахарида.

Одним из перспективных способов модификации в химии полимеров является кватернизация [8]. Этот процесс заключается в химической модификации полисахаридов путем введения кватернарных аммониевых групп, которые имеют положительно заряженный азот, образующий четыре связи. Такой тип химической модификации арабиногалактана может привести к улучшению его адгезионных свойств, к усилению способности связываться с другими веществами. За счет того, что четвертичный аммоний, встраиваемый в полисахарид в ходе процесса, является заряженной группой, которая способна активно взаимодействовать с другими функциональными группами, возрастает способность арабиногалактана вступать в межмолекулярные взаимодействия с другими материалами, например, с полианионами. Модифицированный арабиногалактан может найти применение в создании новых форм лекарственных препаратов, в качестве средств доставки активных компонентов, антимикробных и ранозаживляющих покрытий, а также как компоненты биodeградируемых пластиков и упаковочных материалов.

Целью нашей работы являлась функционализация арабиногалактана лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) системой на основе СНРТАС.

Объектом исследований служил арабиногалактан лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.)

В целях оптимизации процесса функционализации получения кватернизированных производных варьировалась продолжительность процесса и влияние pH среды на выход и степень замещения полисахарида. Методом ГПХ установлено, что при увеличении там продолжительности от 2 до 72 часов происходит деструкция основной цепи полисахарида, с ростом молекулярной массы. Степень замещения растет при продолжительности процесса от 2 до 30 часов, при дальнейшем увеличении продолжительности процесса, степень замещения снижается, результаты представлены на рисунке. При изменении pH с 11 до 12 усиливается процесс деполимеризации, увеличения степени замещения не происходит, pH=10 является недостаточной, так как не происходит активации замыкания колец хлоргидриновой группы, что сопровождается низким выходом целевого продукта. Было установлено оптимальное время продолжительности процесса- 30 часов, синтезированный при данных условиях образец имел максимальную степень замещения - 19,2%, он был исследован методами ИК, ПМР.

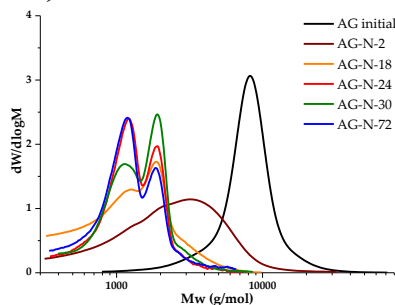


Рисунок. Молекулярно-массовое распределение образцов нативного АГ и кватернизированных АГ при различной продолжительности процесса.

По результатам ИК-спектроскопии в кватернизированных образцах появляется характеристичный пик (1481 см^{-1}), интенсивность которого растет с увеличением продолжительности процесса, что соответствует С-Н симметричному колебанию метильных групп четвертичных аммониевых заместителей. Кроме того, можно также заметить присутствие небольшой полосы при 1410 см^{-1} благодаря наличию валентных колебаний С-N.

В ходе анализа методом ПМР в спектрах исходного и модифицированного арабиногалактана обнаружен характеристичный сигнал 3,24 ppm, соответствующий метильным группам у азота, что свидетельствует о встраивании четвертичных аммонийных групп в структуру арабиногалактана.

Таким образом, оптимизирован процесс кватернизации арабиногалактана с помощью СНРТАС. В оптимальных условиях при pH 12, продолжительности

30 часов, 50°C был получен образец со степенью замещения 19,2%. Физико-химическими методами установлен состав и строение данного производного.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 22–73-10212.

Список литературы

1. Sytchev I., Kalinkina O., Lacksaeva E. Biological activity of the vegetable polysaccharides // IP Pavlov Russian Medical Biological Herald. 2009. Vol.17. P. 143–148.
2. Куликова В. В., Барыбина Л.И., Оботурова Н. П., Дацко, В. А. Комплексообразование концентрата сывороточных белков молока с анионными полисахаридами. Пищевая промышленность, 2014. 62-65 с.
3. Santos L.A.d. Natural Polymeric Biomaterials: Processing and Properties. 2014.
4. Медведева Е., Бабкин В., Остроухова Л. Арабиногалактан лиственницы свойства и перспективы использования (обзор). // Химия растительного сырья. 2003. 27-37 с.
5. Решетник Е.И., Уточкина Е. А., Пакусина А.П., Исследование возможности обогащения кисломолочных продуктов пищевой добавкой «Лавитол-арабиногалактан». Техника и технология пищевых производств. 2010. 3-7 с.
6. Huang W., Xie Y., Guo T., Dai W., Nan L., Wang Q., Liu Y., Lan W., Wang Z., Huang L. A new perspective on structural characterisation and immunomodulatory activity of arabinogalactan in *Larix kaempferi* from Qinling Mountains. // International Journal of Biological Macromolecules 2024. Vol.7. P.265.
7. Антонова Г., Усов А. Структура арабиногалактана древесины лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.). Биоорганическая химия. 1984. 1664-1669 с.
8. Ren J., Sun R., Liu C., Chao Z., Luo W. Two-step preparation and thermal characterization of cationic 2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride hemicellulose polymers from sugarcane bagasse // Polymer Degradation and Stability. 2006. Vol. 91. P. 2579-2587.

УДК 543.442:621.384.6

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО АНАЛИЗА ПО ДИФРАКТОГРАММАМ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М. А. Душкин, М. В. Носков, Д. В. Хлыстов

Научный руководитель А. Н. Залого

Кандидат физико-математических наук

Сибирский федеральный университет

В 2023 г. была разработана 1-я версия экспериментальной системы автоматизированного ПО «СПААР РФА», значительно ускоряющая время анализа фазового состава по сериям дифрактограмм СИ. Однако, КРФА покрытий по корундовым числам фаз в этой версии полуколичественный, т.к. плохо учитывает уширения и сдвиги пиков, и текстуру фаз, свойственные фазам покрытий, а также не обладает достаточной степенью автоматизации для выполнения анализа рентгенограмм в ходе экспериментов на СИ, которые могли бы обеспечивать онлайн контроль режимов нанесения покрытий. Для компенсации этих факторов необходима интеграция в разработанную систему ПО подходящей программы метода Ритвельда и создание ПО для автоматизации при ее использовании. Метод Ритвельда позволяет уточнять параметры кристаллической решетки, размеры ОКР, микронапряжения и текстуру фаз, и выполнять более точный количественный РФА [1]. В экспериментах *in situ* это позволяет определять по сериям дифрактограмм СИ зависимости указанных параметров от времени, температуры и т.п., и изучать процессы синтеза и трансформации фаз.

В ходе работы проведена интеграция в экспериментальную систему метода Ритвельда и добавлена функция автоматического КРФА анализа по методу Ритвельда для последовательных съёмок в ходе проведения эксперимента. В связи с изменениями система была переименована в ПО «СПААР РФА+». Тестирование проводилось на дифрактограммах СИ, полученных в экспериментах *in situ* по изучению нанесения многослойных покрытий Ti-Cr-N. Было установлено, что метод Ритвельда позволяет уточнять параметры кристаллической решетки, текстуру, размеры ОКР, микронапряжения (в фазах, имеющих на дифрактограмме СИ несколько пиков), и выполнять более точный количественный РФА. Затем система была испытана на автоматическом онлайн анализе в повторном эксперименте *in situ* по нанесению многослойных покрытий Ti-Cr-N на ВЭПП-3 в центре СИ ИЯФ СО РАН [2].

Далее опишем анализ многослойных покрытий Ti-Cr-N по сериям дифрактограмм СИ. На первом этапе по порошковым дифрактограммам СИ «пристрелочного» эксперимента была проведена фазовая идентификация всех возможных фаз [3] и составлен шаблон для уточнения по методу Ритвельда структур, которые могут образоваться в ходе эксперимента.

На рисунке 1 показан пример настройки уточнения для одной из данных фаз этого эксперимента - для фазы $(\text{Ti}_{0.5}\text{Cr}_{0.5})\text{N}$, в которой заполняемость атомной

позиции Ti/Cr настроена так, чтобы одним параметром уточнялось их соотношение в границах 0,1-0,9, при этом суммарная заполняемость остаётся равной 1. Рисунок 2 показывает вид окна онлайн анализа в процессе нанесения покрытия Ti-Cr-N. Про каждую фазу, которые найдены в анализируемы образцах, программа показывает такие данные: массовую долю фазы (ячейки с зелёной заливкой), объём ячейки ($\text{\AA}^3$), размеры ОКР (нм), микронапряжения (%).

Cell params: Set min-max 0.5% Set 1.0%

	Value	Min	Max
a	@ 4.205	4.14	4.30
b	4.205		
c	4.205		
alpha	90		
beta	90		
gamma	90		

Pseudo-Voigt Scherrer

	Value	Min	Max
CS	@ 150	14	50
Strain	@ 0.01	0.001	0.05

User params (for atoms): Add param Delete selected

	Value	Min	Max
occTi	0.5	0,1	0,9

Atoms: Add atom Delete selected Set coords refined Set coords unrefined Set coord. bounds +/- 0.02 Set Basis refined Set Basis unrefined

	Type	X	X_min	X_max	Y	Y_min	Y_max	Z	Z_min	Z_max	Occup	Occ_min	Occ_max	Beq	Beq_
N1	N-3	0.5			0.5			0.5			1			1	
Ti1	Ti+3	0			0			0			=occTi			1	
Cr1	Cr	0			0			0			=1-occTi			1	

Рисунок 1 – Элементы интерфейса программы TorasShell с настройками фазы $(\text{Ti}_{0.5}\text{Cr}_{0.5})\text{N}$. Показана установка для уточнения заполняемости одной атомной позиции двумя разными атомами через совместный параметр occTi

ExperimentForm

L = 1.54056 Выбрать... Шаблон: TiCrN_v5-3.tshx Выбрать... Папка с обр.: D:\Temp\111\ ☐ Удалять обр. Пуск Стоп

#	Rwp	Fe	Vol.	SC	Strain	Austenit	Vol.	SC	Strain	Cr7C3	Vol.	SC	Strain	FeC0.05	Vol.	SC	Strain	Ti2N	Vol.	SC	Strain	Cr0
1	7	50.6	24.1	25	0.3	18.8	47.5	30	0.1	19.8	380.1	36	0	10	23.6	79	0.3	0.4	153.4	20	0.2	0
2	7	49.2	24.1	25	0.3	19.1	47.6	29	0.1	18.2	380.8	39	0	12.3	23.7	82	0.3	0.2	154.5	20	0.2	0
3	7	50.1	24.1	25	0.3	18.8	47.6	27	0.1	19.7	380.8	40	0	9.7	23.6	99	0.3	0.2	157	21	0.2	0
4	6.9	51.9	24.1	25	0.3	18.7	47.6	28	0.1	19.2	380.8	38	0	8.5	23.6	88	0.3	0.1	157	20	0.2	0
5	7	47.8	24.1	25	0.3	19	47.6	30	0.1	18.6	381.8	45	0	12.7	23.7	75	0.3	0.3	154.4	20	0.2	0
6	7	46.8	24.1	25	0.3	19.1	47.6	29	0.1	18.1	381.3	41	0	13.7	23.7	62	0.29	0.1	157	21	0.2	0
7	7.1	48.7	24.1	25	0.3	18.9	47.6	29	0.1	19	381.2	35	0	12	23.7	69	0.29	0.1	155.5	20	0.2	0.1
8	6.9	50	24.1	25	0.3	18.7	47.6	30	0.1	18.5	380.7	40	0	11.9	23.7	71	0.29	0.5	153.4	20	0.2	0
9	7.1	48.4	24.1	25	0.3	18.6	47.6	28	0.1	17.8	380.6	36	0	13.4	23.7	63	0.3	0.1	157	20	0.2	0
10	7.2	55.7	24.1	25	0.3	19.3	47.6	27	0.1	18.6	381.3	38	0	5.3	23.5	92	0.16	0.1	157	20	0.2	0

Рисунок 2 – Окно онлайн анализа потока дифрактограмм СИ в процессе анализа покрытий системы Ti-Cr-N

В таблице приведён перечень фаз, которые были включены в шаблон для уточнения. Рисунок 3 показывает 3D вид для серии рентгенограмм «рабочего» эксперимента по нанесению покрытий Ti-Cr-N. Голубые рамки показывают наиболее информативные образцы, по которым осуществлялась фазовая идентификация и затем настройка шаблона для уточнения.

Таблица

Фазы для уточнения фазового состава серии покрытий Ti-Cr-N: первые четыре – фазы подложки, последующие 4 – фазы покрытия.

Хим.формула	e	e	$C_{0.055}Fe_{1.945}$	Cr_7C_3	Ti_2N	$(Ti_{0.68}Cr_{0.32})N_{0.15}$	$iN_{0.5}$	$(Cr_{0.5}Ti_{0.5})N$
Гр.симметрии	m-3m	m-3m	I4/mmm	Pmcm	I41/amd	Fm-3m	m-3m	Fm-3m
Объём яч., Å ³	4,04	8,8	24,01	386,36	151,58	74,78	4,82	74,35

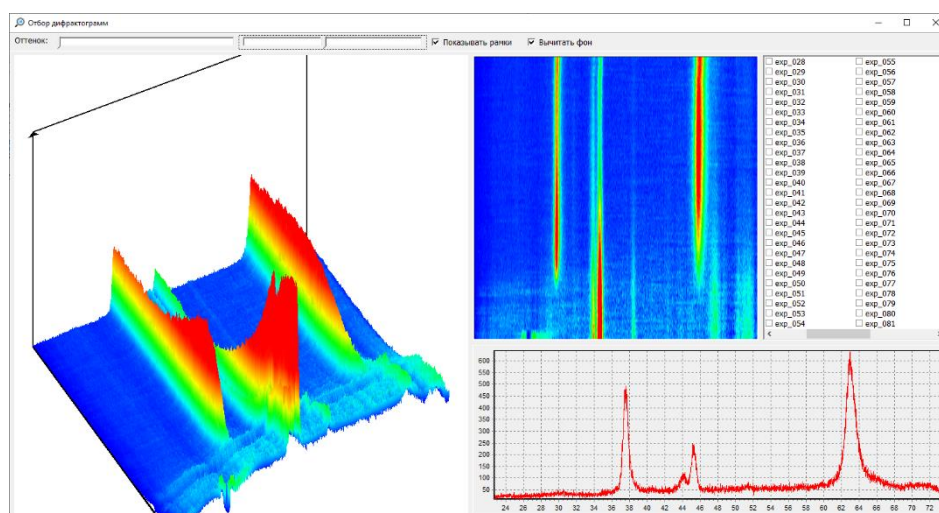


Рисунок 3 – Сравнение и выбор на анализ рентгенограмм СИ при нанесении покрытия Ti-Cr-N в ходе «рабочего» эксперимента.

В заключении следует отметить, что система ПО «СПААР РФА+» в ходе испытания автоматического онлайн анализа отработала успешно, скорость анализа одного образца составила около 5 секунд. Результаты автоматического анализа хорошо совпадают с результатами интерактивного метода Ритвельда, полученными при настройке шаблонов. Испытания показали применимость системы для использования в экспериментах *in situ* с целью оперативного анализа состояния системы и внесения корректировок в процесс напыления.

Работа выполнена в рамках государственного задания на науку ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», номер проекта FSRZ-2020-0013.

Список литературы

1. Шмаков А. Н. Комплексная диагностика структуры материалов рентгенодифракционными методами на синхротронном излучении: автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук: 02.00.04 / Шмаков Александр Николаевич. Новосибирск. 2015. 43 с.

2. Зубавичус Я. В. Мягкая рентгеновская синхротронная спектроскопия биоорганических материалов, воды и водных растворов: дис. д-ра физ.-матем. наук: 01.04.01 / Зубавичус Ян Витаутасович. Москва. 2012. 302 с.

3. Якимов И. С. Метод кластерной рентгенофазовой идентификации многофазных материалов. // Контроль. Диагностика. 2010. № 7. С. 12–17.

УДК 621.37

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ



А. Левенцов, В. Хвостова¹

Научный руководитель Я. В. Казанцев

Сибирский федеральный университет

Керамические материалы на основе титаната бария эффективно используются в качестве диэлектрических резонаторов в высокочастотных СВЧ-системах, так как обладают необходимой для этого диэлектрической проницаемостью $\epsilon \approx 80$, минимально возможным температурным коэффициентом $10^{-6} \text{ град}^{-1}$ и малыми потерями $\text{tg}\delta \leq 10^{-3}$.

Целью работы является получение и исследование свойств керамики $\text{Ba}_{6-3x}(\text{Sm}_{0,2}\text{Nd}_{0,8})_{8+2x}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$, где $x = 2/3$.

Синтез проводился методом твердофазного синтеза с использованием стехиометрической смеси BaCO_3 , TiO_2 , оксидов самария и неодима при температуре 1100°C в среде воздуха в течение 4 ч. Синтезированное соединение измельчали в планетарной мельнице «Pulverisette 5/2» (Fritsch) до получения порошка со средним размером частиц $0,2\text{--}0,3 \text{ мкм}$. В порошок добавляли 10 %-й раствор поливинилового спирта, гранулировали полученную керамическую массу перетиранием через сито с размером ячейки 315 мкм , а далее производили формование экспериментальных образцов диаметром 20 мм на прессе ПЛГ-20 (Lab Tools, Россия) при давлении от 200 до 250 МПа. Отформованные образцы подвергали отжигу при температуре 1400°C .

На рисунке 1 представлен экспериментальный образец керамики.

¹ © Левенцов А., Хвостова. В. 2025

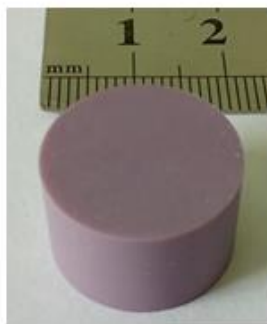


Рисунок 1. Экспериментальный образец керамики

Диэлектрическая проницаемость образца составляет 80, тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta = 4,0 \cdot 10^{-4}$, добротность $Q = 1880$ (частота 2,62 ГГц).

Работа выполнена в рамках государственного задания на науку Сибирского федерального университета, проект № FSRZ-2020-0013.

Управление развитием территорий и проблемы рационального природопользования

УДК 364.42

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ ПОСОБИЙ СЕМЬЯМ С ДЕТЬМИ В РОССИИ

А. И. Зельцер¹,

Научный руководитель Е. Н. Почекутова¹,

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время в Российской Федерации наблюдается острое демографическое напряжение, обусловленное не только исторически низкими показателями рождаемости, но и трансформацией общественных установок относительно семейных ценностей и деторождения. В этих условиях государственная политика активно использует инструментарий денежных выплат семьям с детьми как один из механизмов стимулирования демографических процессов и повышения социальной поддержки населения.

Одним из основных нормативных правовых актов, который регулирует установление пособий для семей с детьми, является Федеральный закон от 19.05.1995 № 81-ФЗ «О государственных пособиях гражданам, имеющим детей». Федеральный закон устанавливает единую систему государственных пособий гражданам, имеющим детей, в связи с их рождением, которая обеспечивает гарантированную государством материальную поддержку материнства и детства.

Необходимо учитывать, что система государственных выплат семьям с детьми характеризуется многоуровневостью, включающей как федеральные, так и региональные меры поддержки. Вместе с тем анализ показывает существенную территориальную неоднородность в обеспечении социальных гарантий данной категории граждан, обусловленную значительной дифференциацией в уровне развития регионов России.

В целом по России охват населения региональными выплатами составляет около 52 %, однако в некоторых регионах он превышает 70 %, например, в Республике Алтай, Республике Башкортостан, Ярославской области. Самые низкие показатели охвата демонстрируют Рязанская, Ивановская, Воронежская, Костромская области, Республика Адыгея и Республика Северная Осетия-Алания. При этом доля региональных выплат в денежном доходе населения практически во всех этих регионах очень низкая [2]. В такой ситуации сложно говорить об эффективности установления пособий для семей с детьми, поэтому необходимо обеспечить меры по ее повышению.

В структуре консолидированных расходов региональных бюджетов в 2023 г. доля статей, направленных на реализацию мер в интересах детей, составила приблизительно 26 % (5,8 трлн руб.). Региональные расходы на одного ребенка в целом по России составили 189,7 тыс. руб. в год (в 2022 г. – 166,1 тыс. рублей), а вместе с федеральными расходами – 285 тыс. руб. в год. В 29 субъектах РФ этот показатель оказался выше среднероссийского [3].

Несмотря на значительные объемы расходов, необходимо отметить, что существенную долю данных затрат составляет материнский капитал. Мер региональной социальной поддержки много, уровень выплат детям нельзя признать оптимальным, поскольку в ряде регионов размер выплат характеризуется явной недостаточностью и не обеспечивает достойного уровня поддержки семей с детьми, а также демонстрирует региональное неравенство.

Одной из мер поддержки семей с детьми является ежемесячное пособие на ребенка, размер базовой выплаты которого варьируется от 90 до 6000 рублей в регионах России. По данным официальной статистики за 2022 год установлено: самые высокие значения данного пособия наблюдаются в г. Москва, Московской области, Республике Коми, г. Санкт-Петербург. В 17 регионах страны размер выплат не превышает даже 200 рублей. Также важно отметить, что и достаточно развитые регионы, например, Красноярский край, Татарстан и Свердловская, Иркутская, Тюменская области не могут похвастаться достойным уровнем данной выплаты. Тревожным сигналом является практически полное отсутствие роста выплат за период 2020-2022 гг. Такая ситуация требует корректировки со стороны государства для обеспечения равных условий поддержки семей с детьми на всей территории страны.

На наш взгляд, наиболее эффективным методом регулирования установления пособий для семей с детьми в субъектах Российской Федерации могут выступить региональные стандарты, это поможет снизить уровень дифференциации между регионами, обеспечить достойный размер выплат. Важно, чтобы данные стандарты были разработаны с учетом потребностей населения. Также важно учитывать территориальную специфику, демографию и состояние ключевых сфер (медицина, образование, занятость), влияющих на благополучие семей с детьми.

Анализ региональных особенностей установления пособий семьям с детьми демонстрирует значительную дифференциацию в подходах к социальной поддержке на уровне субъектов Российской Федерации. Несмотря на наличие федерального законодательного базиса, регионы обладают определенной самостоятельностью в установлении дополнительных мер поддержки, что приводит к неравномерности их объемов и охвата. В некоторых регионах размер пособий и выплат оказывается недостаточным для обеспечения достойного уровня жизни семей с детьми, тогда как другие субъекты реализуют более масштабные программы помощи.

Список литературы

1. Российская Федерация. Законы. О государственных пособиях гражданам, имеющим детей: Федеральный закон № 81-ФЗ : ред. от 29.10.2024: [принят Государственной думой 26 апреля 1995 года: одобрен Советом Федерации 4 мая 1995 года]. – Текст: непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2024. – № 45, ст. 6698.

2. Диколенко, Л. А. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ И ПОДДЕРЖКИ СЕМЕЙ С ДЕТЬМИ В РОССИИ [Текст] / Л. А. Диколенко // Экономика и социум. — 2021. — № 12(91). — С. 15.

3. Центр социальной сферы НИФИ Детский бюджет / Центр социальной сферы НИФИ [Электронный ресурс] // nifi.ru: [сайт]. — URL: <https://www.nifi.ru/ru/activity/research-projects/detskij-byudzhet> (дата обращения: 12.04.2025)

УДК 331.146.2:330.564.2

ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ РАСХОДЫ КАК ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А. А. Момот¹,

Научный руководитель Е. Н. Почекутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Конкурентоспособность региона – это комплексная характеристика, отражающая способность территории эффективно использовать свои ресурсы и потенциал для достижения устойчивого социально-экономического развития, улучшения качества жизни населения и привлечения внешних инвестиций. На уровне региона или страны конкурентоспособность означает способность привлекать население и инвестиции; обеспечивать высокий уровень жизни, а также социальную и экономическую стабильность [1].

К первичным факторам, определяющим привлекательность региона для населения, были отнесены доходы и расходы населения. В условиях мобильности трудовых ресурсов люди стремятся к оптимальному соотношению между перспективами карьерного роста и уровнем жизни. В связи с тем, что население выбирает регионы, в которых их профессиональное развитие не будет затруднено или приостановлено, то оно ориентируется на размеры своих

потенциальных доходов от профессиональной деятельности, сопоставляя их с размерами потенциальных расходов в выбранном регионе.

В ходе исследования и анализа данных были выявлены наиболее и наименее привлекательные направления для миграции населения, а также рассмотрены соответствующие данным направлениям значения показателей доходов и расходов. К основной статье доходов населения относится заработная плата. В данной работе для исследования был использован такой показатель, как среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников по полному кругу организаций в целом по экономике по субъектам Российской Федерации, которая является показателем, который отражает средний уровень оплаты труда работников в организациях, для расчета которого необходимо знание следующих составляющих: среднее количество рабочих дней в периоде, среднее ежедневное количество отработанных часов и среднемесячная заработная плата одного человека [2]. Для анализа расходов был взят такой показатель, как потребительские расходы, включающие расходы физических лиц на покупку товаров и оплату услуг, а также платежи за товары (работы, услуги), зарубежным поставщикам за безналичный и наличный расчет [3].

В результате исследования данных, было выявлено, что в субъектах с наибольшим миграционным приростом заработные платы, а также потребительские расходы принимают свои максимальные значения (таблица 1).

Таблица 1

**Потребительские расходы и доходы населения в регионах РФ
с наибольшим положительным миграционным приростом**

Наименование субъекта РФ	Миграционный прирост, человек	Заработная плата, рублей	Потребительские расходы, рублей	Доля доходов, отводимых на расходы, %
Московская область	81305	83195	50139	56,2
г. Москва	41006	138882	78051	60,3
Краснодарский край	32496	58256	54117	92,9
Тюменская область	26526	105981	44894	42,4
Ленинградская область	23099	68105	38583	56,7
Ростовская область	9912	52100	41526	79,7
г. Санкт-Петербург	9785	96232	59969	62,3
Красноярский край	9656	81056	36883	45,5
Республика Татарстан	8085	61894	42009	67,9
Калининградская область	6227	54739	36496	66,7
г. Севастополь	5034	47638	33896	71,2

По итогам проведения сопоставительного и сравнительного анализов, было выявлено, что доля потребительских расходов от суммы заработной платы во всех субъектах выборки приблизительно равны. Для субъектов с наибольшим миграционным оттоком населения также могут быть характерны высокие значения показателей заработной платы и потребительских расходов (таблица 2).

**Потребительские расходы и доходы населения в регионах РФ
с наименьшим отрицательным миграционным приростом**

Наименование субъекта РФ	Миграционный прирост, человек	Заработная плата, рублей	Потребительские расходы, рублей	Доля доходов, отводимых на расходы, %
Иркутская область	-6051	74257	32201	43,4
Республика Дагестан	-5311	39054	32046	82,1
Омская область	-5145	55227	32541	58,9
Забайкальский край	-4902	69830	30826	44,1
Томская область	-4860	67744	31494	46,5
Чеченская Республика	-4594	37589	25262	67,2
Белгородская область	-3649	54495	35281	64,7
Оренбургская область	-3605	53119	28738	54,1
Владимирская область	-3588	53286	29346	55,1
Кемеровская область	-3490	67239	29138	43,3

Таким образом, проведенное исследование показало, что размеры доходов и расходов не являются ведущими факторами, влияющими на привлекательность субъектов для населения. Наряду с экономическими показателями, значительное влияние оказывают такие факторы, как уровень жизни (включая доступность жилья, качество образования и здравоохранения, развитость инфраструктуры), экологическая обстановка, социальная стабильность и безопасность.

Список литературы

1. Блинова, Е.Ю., Быструшкин, А.Ю. Конкурентоспособность Хабаровского края и региональная политика, 2022 [Электронный ресурс]. URL: https://amgpgu.ru/upload/iblock/34b/blinova_e_yu_bystrushkin_a_yu_konkurentosposobnost_khabarovskogo_kraya_i_regionalnaya_politika.pdf [дата обращения 16.04.2025];
2. Федеральная служба государственной статистики: Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников по полному кругу организаций в целом по экономике по субъектам Российской Федерации с 2018 года, рублей [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries [дата обращения: 16.04.2025];
3. Федеральная служба государственной статистики: Денежные доходы и расходы населения [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13270>; [дата обращения 16.04.2025]

УДК 330.1

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНАХ ГОРОДА КРАСНОЯРСК НА ЦЕНЫ НЕДВИЖИМОСТИ

Е. А. Воронина¹, К. А. Багирян¹,

Научный руководитель Р. В. Гордеев¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В последние годы экологические проблемы в городе Красноярск все чаще обсуждают в средствах массовой информации, а также на государственном уровне. На загрязнение воздуха влияет множество факторов, основным из которых является наличие крупных промышленных предприятий в регионе, в том числе АО “РУСАЛ Красноярск”, ООО “Красноярский цемент”, АО “Енисейская ТГК”, АО “Красноярский завод синтетического каучука”, ООО “КраМЗ”, ОАО “Красноярский завод цветных металлов имени В.Н. Гулидова”, ООО “Литейно-Прессовый Завод “Сегал”, АО “Сибагропромстрой”, АО “Красноярский электровагоноремонтный завод”, АО “НПП Радиосвязь”, АО “Асфальтобетонный завод”, которые выделяют достаточно большое количество выбросов в воздух, но при этом являются значимыми для региона и страны [1].

Существенное влияние на качество воздуха влияет также деятельность ТЭЦ, которая поставляет в воздух оксиды азота, сернистый ангидрид, ванадий, пыль и золу, которая содержит оксид кремния и соединения мышьяка, ванадия,

ртути и свинца. Вследствие этих выбросов страдает не только качество воздуха, но здоровье населения. Также на уровень загрязнения влияет количество автотранспорта: выхлопные газы от него приводят к накоплению вредных веществ в воздухе.

Стоит отметить, значительная часть частного сектора города использует угольное отопление в холодное время года, что приводит к выбросам в воздух оксида азота и серы и наносит вред здоровью человека. На качество воздуха влияют также климатические условия, характерные для такого типа местности. Отсутствие ветров в зимнее время года в сочетании с низкой температурой воздуха способствуют накоплению загрязняющих веществ в атмосфере, что приводит к ухудшению качества воздуха, а также негативно сказывается на здоровье людей. Жаркое лето и наличие ветров может способствовать распространению лесных пожаров на территории Сибири. В Красноярске реализуется национальный проект, направленный на улучшение экологической обстановки и снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, а именно Федеральная программа “Чистый воздух”.

Необходимо добавить, что в городе начинает появляться экологически чистый автотранспорт: закуплены электробусы, а также устанавливаются общественные зарядные станции для автомобилей. Данная проблема обсуждается не только властями, но и жителями, так для обозначения режима НМУ (Неблагоприятные метеорологические условия) в средствах массовой информации часто используется такое понятие как “Черное небо”. В 2024 году в городе был введен режим “Черного неба” в течение 39 дней [2].

Эта проблема является предметом дискуссий в академической среде. Некоторые эксперты связывают отток населения из региона с состоянием окружающей среды, предполагая, что экологические факторы могут являться важным критерием выбора места жительства для некоторой части населения [3]. Специалисты также указывают на взаимосвязь между состоянием окружающей среды и лесными пожарами: пожары приводят к выбросам сажи, оксидов азота и серы, а также парниковых газов, что, в свою очередь, усугубляет экологическую проблему [4].

Целью нашего исследования является изучение того, как экологические условия в Красноярске влияют на стоимость недвижимости путем анализа экологической ситуации в разных районах города. При выявлении зависимости между экологическими факторами и стоимостью на недвижимость, мы использовали метод наименьших квадратов для построения регрессионной модели. В нашей работе зависимой переменной являлась цена на квартиру, а независимыми переменными были общие характеристики дома, такие как количество комнат, площадь, этаж и этажность дома, год постройки, наличие балкона. В дополнение к общим характеристикам дома мы использовали показатели загрязнения воздуха, были взяты: концентрация $PM_{2.5}$ в $мкг/м^3$,

концентрация PM_{10} в $мкг/м^3$, индекс качества воздуха AQI, доля среднесуточного ПДК. Качество воздуха считается допустимым при данных значениях показателей: $PM_{2.5} \leq 25$ $мкг/м^3$, $PM_{10} \leq 45$ $мкг/м^3$, $Instant\ AQI \leq 50$, $PDK_{ср} = 35$ $мкг/м^3$ [5].

Городской сайт мониторинга воздуха Красноярска, содержащий открытую базу данных из разных систем экологического наблюдения, послужил источником информации о загрязнении атмосферы, а данные о характеристике квартир были взяты с сайта N1.RU Красноярск, который является федеральным ресурсом для продажи недвижимости в городе Красноярск. Для исследования было отобрано случайным образом около 600 квартир по всему городу [6].

Согласно предварительным результатам моделирования, была найдена взаимосвязь между ценами на недвижимость в различных районах г. Красноярск с показателями качества воздуха, что указывает на высокий уровень значимости проблемы для населения. К ограничениям полученных результатов можно отнести отсутствие данных о расстоянии от объектов недвижимости до конкретных предприятий-загрязнителей. В рамках дальнейшей работы планируется увеличение объема выборки и расширение перечня переменных, отражающих экологическую обстановку в городе. Завершая, стоит сказать, что в Красноярске цена недвижимости тесно связана с экологией района: чем благоприятнее условия, тем выше стоимость жилья.

Список литературы

1. Комплексный план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в г. Красноярске [Электронный ресурс]. URL: <https://rulaws.ru/acts/Kompleksnyy-plan-meropriyatiy-po-snizheniyu-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosfernyy-vozduh-v-g.-Kra-solt-cuidgid/> [дата обращения: 10.04.2025].

2. Оповещение о наступлении НМУ в 2024 году на территории города [Электронный ресурс]. URL: <https://www.admkrsk.ru/citytoday/ecology/Pages/nmu2024.aspx> [дата обращения: 11.04.2025].

3. Пыжев А.И., Шарафутдинов Р.А., Зандер Е.В. Экологические последствия развития крупных промышленных городов в ресурсных регионах (на примере Красноярска) // 2021. - С. 40-53.

4. Зиязов Д. С. Влияние природных пожаров на качество воздуха в городе Красноярске // Инклюзивное развитие ресурсных регионов: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2024. – Гл. 7.3. – С. 351-359.

5. Система мониторинга воздуха г. Красноярска [Электронный ресурс]. URL: <https://air.krasn.ru/help.html?2> [дата обращения: 24.03.2025].

6. Продажа недвижимости [Электронный ресурс]. URL: <https://krasnoyarsk.n1.ru/> [дата обращения: 24.11.2024].

УДК 332.1

ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Н. Т. Бавуу¹

Научный руководитель Е. Н. Почекутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

На сегодняшний день вопросы строительства и модернизации транспортной, энергетической и социальной инфраструктуры являются актуальными не только для красноярских властей, но и бизнеса, который планирует развиваться в регионе. Любой крупный девелоперский проект предполагает создание объектов инфраструктуры. Но из-за больших сроков окупаемости подобных объектов их финансирование бизнесу в одиночку не потянуть. Подобные вопросы, по опыту многих регионов и государств, решаются при поддержке государства. В свою очередь, развитая инфраструктура в значительной степени повышает инвестиционную привлекательность территории и, как следствие, обуславливает устойчивый рост доходов населения и местных бюджетов. Формирование и развитие экономического потенциала страны достигается путем государственного регулирования, осуществляемого в рамках избранной властью социально-экономической политики, включающей курс действий для осуществления социальных программ, поддержания доходов, уровня жизни населения, обеспечения занятости, поддержки разных сфер жизни.

Министерство экономического развития Российской Федерации рассчитывает ежегодный рейтинг субъектов по уровню развития сферы ГЧП на основании утвержденной методики расчета показателя «Уровень развития государственно-частного партнерства (ГЧП) в субъекте Российской Федерации» за первый 2019 и последующие годы.

Можно проследить как ежегодных лидеров, так и «разовых». Данное явление можно объяснить тем, что некоторые регионы осуществляет масштабные мероприятия, для которых необходима новая инфраструктура, требующая большой объем вложений. Так, например, к 2019 году был завершен огромный пласт работ по строительству и обновлению инфраструктуры для универсиады в Красноярске, возможно, данные построенные спортивные объекты подняли город на 15 место на тот момент. Однако механизм ГЧП более развит там, где проекты создаются на постоянной основе, без перебоев, например, в городах федерального значения, также выделяются такие субъекты

как Пермский край, Нижегородская и Самарская области. Согласно рейтингу, приведенному на сайте, ниже составлен топ-15 за 2019-2023 годы (Таблица).

Таблица

Уровень развития государственно-частного партнерства (ГЧП) в субъекте Российской Федерации» за первый 2019 и последующие годы (топ-15)

	2019	2020	2021	2022	2023
1	Самарская область	Московская область	Московская область	Нижегородская область	г. Москва
2	г. Москва	Республика Саха (Якутия)	г. Москва	Хабаровский край	Нижегородская область
3	Московская область	г. Москва	Республика Карелия	Омская область	г. Санкт-Петербург
4	Нижегородская область	г. Санкт-Петербург	Мурманская область	Республика Татарстан	Ленинградская область
5	Пермский край	Ямало-Ненецкий АО	г. Санкт-Петербург	Пермский край	Пермский край
6	Ханты-Мансийский АО – Югра	Тульская область	Республика Татарстан	Республика Башкортостан	Московская область
7	Свердловская область	Самарская область	Новосибирская область	Краснодарский край	Самарская область
8	Тамбовская область	Ханты-Мансийский АО – Югра	Нижегородская область	Белгородская область	Республика Саха (Якутия)
9	Иркутская область	Омская область	Челябинская область	Ямало-Ненецкий АО	Сахалинская область
10	Новосибирская область	Волгоградская область	Республика Саха (Якутия)	г. Санкт-Петербург	Республика Татарстан

Лидерами рейтинга становятся регионы, ранее не входившие в топ-5. Таких результатов позволяет достичь успешная работа по запуску и последующей реализации крупных проектов ГЧП местными властями. Есть надежды, что результаты рейтинга ГЧП будут стимулировать представителей органов государственной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления активнее проводить работу по привлечению инвестиций в проекты ГЧП для создания благоприятной среды для жизни граждан и ведения бизнеса.

В РФ в последние годы вопрос о реализации ГЧП активно обсуждается как на федеральном уровне, так и на региональном. Основные сферы:

- транспорт (автомобильные дороги, общественный транспорт, авиация и водный транспорт);

- ЖКХ (тепло- и водоснабжение, обращение с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО), электро- и газоснабжение);
- городская среда (освещение, парки);
- социальная сфера (здравоохранение, образование, туризм и спорт);
- ИТ (сервисы и агрегаторы, системы контроля за нарушениями, «Умный город», «Умный регион»);
- иные сферы (военная логистика, промышленность и др.).

В настоящее время инвестор, как правило, строит объект за свой счёт и затем безвозмездно передаёт государству. Однако применяются и иные механизмы создания инфраструктуры. Например, в Ленинградской области используется модель выкупа образовательных объектов в обмен на уплату налога на прибыль (налог уплачивается инвестором в бюджет области, которая предоставляет субсидии муниципалитету на выкуп объекта образования). В Самарской области получила распространение модель «Билдинг-сад», согласно которой застройщики включают в проект многоквартирного дома помещение на первом этаже под детский сад. В дальнейшем эти помещения выкупаются либо сдаются в аренду.

При комплексном развитии территории любой публичный субъект для исполнения обязанности обеспечить строительство и (или) реконструкцию транспортной, инженерной и социальной инфраструктуры может провести конкурс на право заключения концессионного соглашения или соглашения государственно-частного партнёрства. Для инвесторов более предпочтительным представляется последнее, так как на начальной стадии инвестор выполняет только техническое обслуживание объекта соглашения, а эксплуатация (например, образовательная деятельность, медицинская деятельность) остаётся за публичной стороной.

Государственно-частное партнёрство (ГЧП) – это хорошая форма взаимодействия государства и бизнеса, при которой у власти есть потребности в реализации той или иной идеи, а у бизнеса возможности. Особая актуальность развития государственно-частного партнёрства в Красноярском крае обусловлена в том числе и подготовкой к 400-летию столицы края. Весь объём инициатив, которые планируются к юбилею Красноярска, невозможно реализовать только за счет региональных и федеральных бюджетных средств, и в этом случае средства бизнеса в интересах развития города могут найти очень эффективное применение. При этом, например, современный спортивный комплекс «Бобровый Лог» был создан в результате сотрудничества по ГЧП.

Практика применения выше указанных механизмов в других российских городах может стать незаменимым опытом для Красноярского края, как в региональном, так и в муниципальном плане. Реализация крупных инвестиционных проектов с применением механизмов государственно-частного

партнёрства способна обеспечить не только краю, но и государству экономический рост, привлечение инвестиций, создание новых рабочих мест.

Список литературы

1. Федеральный закон от 13 июля 2015 № 224-ФЗ «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182660/
2. Мажарова Л. А. Государственно-частное партнерство как инструмент развития национальной экономики / Л.А. Мажарова, Г.Д. Зенина // Экономика и предпринимательство, 2018 г. – № 2 (91). – 459-463 с.
3. Министерство экономического развития Российской Федерации // Рейтинг регионов по уровню развития ГЧП: официальный сайт. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/departments/d22/gosudarstvenno_chastnoe_partnerstvo/rejting_regionov_po_urovnyu_razvitiya_gchp/
4. Государственно-частное партнёрство в Красноярском крае: опыт, проблемы, перспективы – И. В. Пантелеев, журнал Управление и бизнес.

УДК 330.15

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕШЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ИЗ ПЕРЕЧНЯ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Д. Ю. Верченко¹

Научный руководитель Е. В. Зандер¹
Доктор экономических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Улучшение состояния атмосферного воздуха является одной из национальных целей развития Российской Федерации [1]. Выбросы от стационарных источников составляют более половины от совокупных выбросов по стране в целом, и на протяжении последних 10 лет объем загрязнения воздуха предприятиями практически не изменился [2]. Снижению выбросов могло способствовать получение предприятиями, имеющими объекты негативного воздействия на окружающую среду, комплексных экологических разрешений (КЭР) [3].

Цель данного документа – стимулировать предприятия с наиболее опасными выбросами не только учитывать производимое загрязнение,

но и снижать его объемы. Предприятия, которые не получают КЭР до момента истечения имеющихся разрешительных документов или не смогут обеспечить соответствие реальных сбросов заявленным в КЭР, ждет увеличение платежей за негативное воздействие на окружающую среду – к ним будет применять коэффициент 100 [4].

Все объекты I категории были обязаны получить КЭР до 01.01.2025. При этом к объектам, входящим в перечень производящих 60% от совокупного загрязнения в РФ [5], это требование несколько смягчалось – до конца 2024 года они должны были лишь подать заявку на получение разрешения. Срок его выдачи составляет не более 4 месяцев (без учета 45 дней на исправление замечаний), так что в настоящий момент имеет смысл посмотреть, насколько успешно предприятия из перечня справились с этим.

Из 300 объектов, указанных в перечне, 215 имеют источники выбросов в атмосферный воздух. Их можно распределить по отраслям (таблица) в зависимости от основания, по которому объекту была присвоена категория опасности. Объекты различных отраслей отличаются как по средним выбросам, так и по количеству объектов, уже получивших КЭР. Информация о полученных разрешениях и объеме выбросов для каждого объекта была размещена в Государственном реестре объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [6, 7].

Можно увидеть, что предприятия по производству кокса и обеспечению электрической энергией все ещё находятся в процессе получения разрешений. Среди объектов по добыче угля, нефти и газа и производству нефтепродуктов множество принадлежат крупным холдингам – именно на таких объектах уже получены КЭР.

В категорию «Другое» вошли предприятия, производящие минеральные удобрения, неметаллическую минеральную продукцию, бумагу и целлюлозу. Объекты этой группы имеют наименьшие выбросы среди всех остальных, при этом около трети из них уже получили комплексное экологическое разрешение. В основном они расположены в европейской части России, на территории Северо-западного, Центрального и Приволжского федеральных округов.

Таблица

Объекты, имеющие выбросы в атмосферный воздух

Отрасль	Количество объектов, ед.	Из них получивших КЭР, ед.	Средние выбросы, тонн
Добыча нефти и газа	57	26	97 028.4
Обеспечение электроэнергией	40	2	60 256.4

Добыча угля	24	12	69 067.2
Производство металлургическое	19	9	168 491.1
Добыча железных руд	15	4	35 873.3
Производство нефтепродуктов	14	3	34 130.5
Производство химических веществ	13	3	16 189.1
Производство кокса	6	0	79 819.8
Другое	27	10	8 365.1

Проведенный анализ показал, что лишь треть объектов, имеющих высокие выбросы в атмосферный воздух, по состоянию на апрель 2025 г. получили комплексные экологические разрешения, хотя с момента появления соответствующего законодательства прошло более 5 лет. И хотя предприятия из перечня должны были только подать заявку на получение КЭР к 31 декабря 2024 г., кажется сомнительным, что к середине 2025 г. разрешения будут выданы всем указанным в перечне объектам (с учетом времени на рассмотрение заявки Росприроднадзором, заинтересованными органами власти и устранение выявленных замечаний) [3].

Таким образом, выявленные различия в получении КЭР у предприятий различных отраслей могут способствовать совершенствованию государственной политики в сфере снижения загрязнения воздуха.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (шифр научной темы FSRZ-2024-0003).

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 07.05.2024 N 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/73986> [дата обращения 14.04.2025].
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году» [Электронный ресурс]. URL: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/doklad/atmosfernyy-vozduh/vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv/> [дата обращения 14.04.2025].
3. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ [дата обращения 14.04.2025].

14.04.2025].

4. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 21.07.2014 N 219-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165823/ [дата обращения 14.04.2025].

5. Приказ Минприроды России от 18.04.2018 N 154 «Об утверждении перечня объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в Российской Федерации составляет не менее чем 60 процентов» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542623710?marker=6500IL> [дата обращения 14.04.2025].

6. Государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [Электронный ресурс]. URL: https://uonvos.rpn.gov.ru/rpn/pto-uonvos/onv_registry [дата обращения 14.04.2025].

7. Объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду//Росприроднадзор; обработка «Если быть точным», 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://tochno.st/datasets/onv_register [дата обращения 14.04.2025]

УДК 338.439.62+339.133.017

ФАКТОРЫ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЕ ИХ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ

А. С. Глазырина¹

Научный руководитель Е. Н. Почкутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Потребительское поведение – это одна из разновидностей экономического поведения, включающая осознанные действия потребителя в сферах обращения и потребления, направленные на удовлетворение собственных потребностей, предшествующие этому намерения, а также результаты этих действий, выраженные в определенной степени потребительского удовлетворения. Процесс приобретения товаров и услуг влияет не только на жизнь отдельных индивидов, но и оказывает значительное воздействие на состояние национальной экономики в целом [1].

Особую роль в потребительском поведении играют домашние хозяйства. Они обеспечивают членов семьи всем необходимым для жизни и личного

потребления, что напрямую влияет на развитие человеческого потенциала и общее благосостояние семьи.

На формирование потребительских привычек и традиций влияют следующие ключевые факторы:

1) общая культура потребителей: определяет базовые предпочтения и ценности, влияющие на выбор товаров и услуг;

2) национальные особенности: отражают специфику традиций и обычаев каждой страны, накладывая отпечаток на покупательские привычки;

3) природно-климатические условия: влияют на потребность в определенных товарах, таких как одежда, жилье и средства защиты от погодных условий;

4) пол и возраст: половозрастные различия определяют ассортимент предлагаемых продуктов и услуг;

5) состав семьи: количество членов семьи и их роли формируют спрос на семейные товары и услуги;

6) характер трудовой деятельности: влияет на необходимость приобретения рабочей одежды, инструментов и вспомогательных материалов.

Понимание этих факторов необходимо для формирования у предпринимателей успешных бизнес-стратегий, разработки конкурентоспособных продуктов и эффективности в реакции на колебания рынка. Для органов власти глубокое понимание характера и мотиваций потребителей служит основой разработки эффективных регуляторов, направленных на поддержание здорового конкурентного климата, обеспечение справедливости сделок и защиту прав потребителей [3].

Особое внимание привлекает ситуация с потреблением населением основных продуктов питания. За 2023 г. были зафиксированы существенные различия в показателях потребления по регионам Российской Федерации [2].

Потребление хлебных продуктов населением России демонстрирует положительную динамику, так как нормативный показатель составляет 97 кг хлеба в год на душу населения, тогда как в 2023 г. реальный показатель достиг отметки в 112 кг. Такое превышение объясняется несколькими факторами: Россия традиционно относится к странам с высоким потреблением хлеба, и этот продукт прочно закрепился в рационе большинства граждан, рост потребления хлебных продуктов также определяется низкими доходами значительной части населения. Снижение доходов населения стимулирует потребление недорогих калорийных продуктов, таких как хлебобулочные изделия, что отражается на высоких показателях потребления в регионах с низким уровнем доходов и менее развитой структурой потребления. Самыми высокими показателями отличаются регионы, такие как Тамбовская область и Алтайский край. Здесь исторически сложились традиционные пищевые привычки, основанные на употреблении большого количества мучных изделий.

Высокое сельскохозяйственное производство и доступность сырья способствуют увеличению объемов потребления местного продукта. Напротив, Мурманская область и Чукотский автономный округ демонстрируют низкие показатели потребления хлебных продуктов из-за суровых природных условий и высокой стоимости доставки продовольственных товаров в удалённые северные районы.

Потребление мяса и мясoproдуктов в России превышает рекомендованный норматив (74 кг в год), составляя в среднем около 80 кг на душу населения в 2023 г. Наиболее высокие показатели потребления наблюдаются в Калмыкии, где животноводство традиционно развито, мясо и мясные блюда занимают значительное место в местной кухне и культуре питания. Республика Дагестан и Чукотский автономный округ характеризуются меньшим потреблением мяса. Причина заключается в особенностях традиционной кухни Дагестана, где распространены овощные и зерновые блюда, снижающие потребность в мясе. В Чукотке же проблема связана с труднодоступностью и дороговизной поставки свежего мяса в отдаленные северные регионы, что ограничивает возможность регулярного употребления мясных продуктов.

Потребление молока и молочной продукции в России ниже рекомендуемого норматива (322 кг в год) средний показатель составил всего 247 кг на душу населения. Такая разница обусловлена тем, что в стране большая часть граждан перешли на альтернативные виды пищи, рост популярности вегетарианских диет и увеличение числа людей с непереносимостью лактозы. Наблюдается наибольшее потребление молочных продуктов в Татарстане. Оно обусловлено развитым молочным скотоводством, предпочтением натуральной продукции и мощной производственной базой. Низкое потребление в Тульской области связано с недостаточным качеством и доступностью импортной продукции, а на Чукотке – с высокой стоимостью и сложностью доставки из-за сурового климата.

Потребление картофеля в России незначительно снизилось относительно установленного норматива: если норма предполагает 90 кг в год, то фактически граждане потребляли в среднем 86 кг на душу населения. Высокий уровень потребления картофеля отмечается в Республике Марий Эл и Брянской области. Это связано с двумя важными факторами: благоприятными агроклиматическими условиями для выращивания картофеля и укоренившимися традициями домашней заготовки овощей, что обеспечивает постоянное наличие картофеля в домашнем хозяйстве. Республика Адыгея отличается заметно более низким показателем потребления картофеля. Причины кроются в этнических кулинарных традициях, которые отдают предпочтение другим видам круп, каш и зелени.

За 2023 г. выявлены значительные межрегиональные различия в потреблении основных продуктов питания россиянами. Субъекты с высоким

уровнем потребления были зависимы от следующих факторов: развитых сельскохозяйственных отраслей, традиционных пищевых привычек и удобства логистики, тогда как регионы с низкими показателями сталкивались со сложностями доставки продовольствия, соответствующим уровнем доходов и вкусовым предпочтениям местных жителей.

Сегодня на то, что мы покупаем, влияет множество связанных между собой факторов: культура, традиции, климат, пол, возраст, семья и работа. Они отражают процесс принятия решений потребителями при выборе, покупке и использовании товаров и услуг.

Список литературы

1. Россинская, Г.М. Экономическое поведение потребителя: методологический аспект // Российский экономический интернет-журнал. – 2006. – С. 6. – URL: <https://www.e-rej.ru/Articles/2006/Rossinskaya.pdf> (дата обращения: 13.04.2025).

2. Потребление населением основных продуктов питания [Электронный ресурс]. URL: https://76.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/potreblenie_naseleniem_osnovnyh_produktoy_pitaniya_iam.pdf (дата обращения: 13.04.2025).

3. Саттарова, И.В. Факторы, оказывающие влияние на потребительское поведение // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2022. – С. 2. – URL: <https://resources.today/PDF/03ECOR122.pdf> (дата обращения: 13.04.2025)

УДК 351/354

ЖИЛИЩНЫЕ УСЛОВИЯ И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ: ОЦЕНКА БЛАГОУСТРОЙСТВА В КОНТЕКСТЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Е. В. Дыбцына¹

Научный руководитель Е. Н. Почекутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

За последние годы осознание важности качества жизни как ключевого показателя в исследованиях социальной и экономической направленности значительно возросло. Однако термин «качество жизни» по-прежнему остается неоднозначным и скользким для определения. В этом контексте, Энциклопедия Британника описывает качество жизни через призму уровня здоровья, удовлетворенности жизнью и способности получать удовольствие от разнообразных аспектов бытия, подчеркивая его мультиаспектность, включая

эмоциональное благополучие, физическое здоровье, материальное обеспечение и социальное взаимодействие. В свою очередь, Европейская комиссия и Евростат подходят к пониманию качества жизни как к комплексному конструкту, охватывающему обширный спектр элементов человеческого бытия, варьирующихся от объективно измеримых факторов, таких как материальные условия, состояние здравоохранения, наличие и качество трудовой занятости, характеристики жилищных условий до субъективного восприятия этих условий и доступных возможностей. Для полноты картины, подчеркивается важность измерений и количественных оценок как объективных составляющих, так и субъективного восприятия качества жизни.

Сегодня термин «качество жизни» активно применяется во многих официальных актах и служит ключевой темой политических дискуссий. Глава Российского государства Владимир Путин в своих обращениях к Федеральному собранию регулярно подчеркивает важность улучшения жизненных условий, гарантирования высокого стандарта жизни для граждан, улучшения их благосостояния как основополагающей задачи социально-экономической стратегии нации и ключевого аспекта реализации Национальных проектов.

В сферах государственного и муниципального управления развитием территорий градостроительство занимает ведущую роль. Базовую роль в градостроительстве играет стратегическое пространственное и территориальное планирование как на уровне всей Российской Федерации, так и на уровне ее регионов и муниципальных образований. Градостроительство в неразрывной связи с социально-экономическим планированием формирует пространственные каркасы развития экономики и социокультурного жизнеустройства, органично встраивая планы развития в природно-экологические ограничения и закрепляя их в транспортно-планировочной структуре.

В России продолжается стадия крупногородской урбанизации, что приводит к уменьшению населения как в средних и малых городах по стране в целом, так и в большинстве моногородов из-за миграционного оттока и естественной убыли и особенно в сельской местности. В настоящее время это становится ключевым фактором дифференциации, влияющим на уровень жизни населения малых городов и низкоурбанизированных территорий в контексте оттока населения село-город. Этот процесс имеет ряд последствий для социально-экономического развития страны и уровня жизни ее граждан.

Данный фактор приводит к диспропорциям в распределении населения между городом и селом, что может привести к снижению доступности социальных услуг и ухудшению качества жизни в сельских поселениях. Способствует росту нагрузки на инфраструктуру городов, что требует дополнительных инвестиций в развитие городской среды. А также он может привести к усилению социального неравенства между жителями

высокоурбанизированных и низкоурбанизированных территорий в еще большей степени. Потенциал развития сельских территорий переходит городским-высокоурбанизированным.

Красноярский край представляет собой уникальный объект России, речь не столько о большом количестве муниципальных образований, сколько о существенных различиях между ними по многим параметрам. Политика территориального развития должна быть направлена как на стимулирование развития каждого отдельного образования в качестве части региона, так и на обеспечение гарантированных государством социальных услуг и уровня жизни.

В Красноярском крае доля площади жилищного фонда, обеспеченного всеми видами благоустройства, постепенно увеличивается. Это связано с реализацией государственных программ по улучшению жилищных условий и повышению уровня комфорта жилья. Однако в сельских поселениях этот показатель все еще остается низким, что указывает на необходимость дальнейшего развития инфраструктуры и улучшения жилищных условий. Данных представлены в таблице.

Таблица

Доля площади жилищного фонда, обеспеченного всеми видами благоустройства

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Всего	63,9	64,9	65,95	65,98	66,35	66,84
Городские поселения	78,7	79,7	80,83	80,61	80,79	81,11
Сельские поселения	14,2	15,3	15,39	17,21	17,54	17,86

Примечание – В общей площади жилищного фонда

Доля площади жилищного фонда, обеспеченного всеми видами благоустройства, в общей площади – это показатель, который отражает уровень комфорта и доступности жилья для населения. Он рассчитывается как отношение площади жилищного фонда, которая обеспечена всеми видами благоустройства (водоснабжение, водоотведение, отопление, газ, электричество), к общей площади жилищного фонда.

Этот показатель является важным индикатором качества жизни и жилищных условий населения. Чем выше доля благоустроенного жилья, тем лучше условия проживания людей. Благоустроенное жилье обеспечивает доступ к основным коммунальным услугам, что повышает качество жизни населения и способствует развитию человеческого потенциала.

Проблема неравномерности в распределении денежных доходов и благ в течение длительного времени рассматривается как экономистами и статистиками, так и социологами, политиками, философами. Нельзя недооценивать важность оценки и анализ социально-экономической дифференциации и уровня благосостояния населения, ведь рост неравенства и поляризация общества могут привести к значительным социальным, экономическим, политическим потрясениям. Регулярное изучение статистических данных, отражающих неравенство, помогает государственным органам разрабатывать и внедрять эффективные меры социальной поддержки населения, в том числе предупредительные, а также контролировать выполнение национальных целей и стратегических задач развития Российской Федерации.

Для Красноярского края критически важным является учет территориальных различий. Недооценка территориальной дифференциации доходов и цен может существенно исказить картину неравенства и, как следствие, повлиять на решения органов государственной власти о поддержке той или иной территории. Необходимо сделать акцент на сокращении оттока населения из сельских территорий и направить государственную поддержку на повышение качества жизни низкоурбанизированных территорий.

Список литературы

1. Балабейкина О. А., Файбусович Э.Л. Уровень урбанизированности территории российской федерации: региональный разрез. 2018. 72-82 с.
2. Федеральная служба государственной статистики: Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва [Электронный ресурс]. URL: <https://krasstat.gks.ru/> [дата обращения 18.03.2025]

УДК 353.2

РАЗВИТИЕ ОТРАСЛИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ (БАС) В РОССИИ

И. А. Дюжина¹

Научный руководитель Е. Б. Бухарова¹
кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

На сегодняшний день развитие отрасли беспилотных авиационных систем (БАС) является актуальной задачей для обеспечения технологического лидерства и национальной безопасности Российской Федерации. Интенсивное

развитие данного направления требует комплексного подхода, включающего создание научно-производственных центров, подготовку квалифицированных кадров и стимулирование спроса на инновационные решения [1]. При этом, важно учитывать, что отрасль БАС – это не только технологический, но и экономический драйвер, способный создать новые рынки, рабочие места и повысить конкурентоспособность российской экономики в целом.

Стратегическая важность отрасли БАС была подчеркнута на заседании комиссии Государственного совета РФ по технологическому лидерству, посвященном соответствующему национальному проекту. Губернатор Красноярского края, Михаил Котюков, акцентировал внимание на ключевых направлениях развития, включающих научно-производственные центры, подготовку кадров и стимулирование рынков сбыта. Это свидетельствует о признании приоритетности развития отрасли БАС на государственном уровне и активных мерах, направленных на ее поддержку.

Одним из инструментов, призванных ускорить вывод БАС на рынок, является внедрение экспериментальных правовых режимов (ЭПР), упрощающих процедуру допуска к полетам. Согласно данным [2], 11 видов ЭПР, действующих в 25 регионах и охватывающих 154 компании, демонстрируют положительные результаты. Однако, необходим дальнейший анализ влияния ЭПР на отрасль в целом. При этом важно понимать, что ЭПР – это лишь часть необходимой правовой базы. Для полноценного развития отрасли требуется четкая и стабильная нормативная база, учитывающая специфику применения БАС в различных сферах.

Эффективным примером системного подхода к развитию высокотехнологичных отраслей является особая экономическая зона (ОЭЗ) "Технополис Москва", включающая кластер беспилотных авиационных систем [3]. В рамках кластера реализуются проекты по разработке и производству беспилотных воздушных судов (БВС) различного назначения, созданию систем управления полетами и разработке программного обеспечения для обработки данных. Это позволило создать более 50 инновационных компаний, привлечь свыше 10 миллиардов рублей инвестиций и значительно увеличить объемы производства БВС [4]. Данный опыт демонстрирует, что создание ОЭЗ с благоприятными условиями для инновационного бизнеса, такими как налоговые льготы, упрощенные административные процедуры и доступ к инфраструктуре, эффективно стимулирует развитие отрасли и привлечение инвестиций. Успех ОЭЗ «Технополис Москва» обусловлен не только экономическим климатом, но и наличием квалифицированных кадров, развитой научной базой и тесным взаимодействием с отраслевыми предприятиями.

Значимый вклад в развитие отрасли вносит Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ), создавший специализированный Центр компетенций БАС. Центр занимается подготовкой кадров, научными

исследованиями и разработкой новых технологий в области беспилотной авиации. Благодаря деятельности центра, УлГТУ стал одним из ведущих образовательных учреждений в сфере БАС, подготовив свыше 500 квалифицированных специалистов за последние пять лет. Кроме того, центр активно взаимодействует с отраслевыми предприятиями, выполняя НИОКР и содействуя коммерциализации инноваций [5]. Этот пример подчеркивает важность создания специализированных образовательных центров при технических вузах для обеспечения отрасли квалифицированными кадрами, стимулирования инноваций и развития научно-производственной кооперации. Вместе с тем, необходимо создавать условия для трудоустройства и профессионального роста выпускников в отрасли.

Несмотря на достигнутые успехи, развитие отрасли БАС в России сталкивается с определенными вызовами. Одним из ключевых является необходимость тщательного изучения перспективных рынков применения БАС для стимулирования спроса и обеспечения технологического лидерства. Приоритетными направлениями являются сельское хозяйство, логистика, мониторинг инфраструктуры и поисково-спасательные работы. Важно учитывать потребности этих рынков и разрабатывать решения, отвечающие их запросам.

Для дальнейшего развития отрасли необходим комплексный подход, объединяющий правовое регулирование, подготовку кадров, поддержку инженерных команд и анализ перспективных рынков. Важно, чтобы каждый регион, развивая направление БАС, формировал единую стратегию и обменивался передовым опытом. Подготовка квалифицированных кадров остается ключевым фактором достижения технологического лидерства.

В стране и ряде регионов, таких как Красноярский край, разработана Региональная программа Красноярского края «Развитие беспилотных авиационных систем в Красноярском крае до 2030 года» [6], который демонстрирует приоритетное значение БАС для решения задач, связанных с мониторингом и обеспечением безопасности обширных территорий. Применение БАС позволит получать оперативные сведения о лесоизменениях, изменениях водных ресурсов, формировать цифровые модели местности, карты месторождений, осуществлять мониторинг объектов инфраструктуры, определять состояние и виды растительности, проводить мониторинг передвижения животных и многое другое. Реализация программы позволит укрепить технологический суверенитет, стимулировать экономический рост и улучшить качество жизни населения.

Список литературы

1. Правительство Российской Федерации. Цифровая экономика Российской Федерации: [официальный сайт]. URL:

<http://government.ru/rugovclassifier/927/about/> (дата обращения: 8.04.2025).

2. Научно-производственные центры, подготовка кадров и новые рынки: развитие отрасли БАС представили на комиссии Госсовета РФ по технологическому лидерству [Электронный ресурс]. – URL: <http://project.krskstate.ru/press/0/news/115639> (дата обращения: 10.04.2025).

3. Особая экономическая зона "Технополис Москва" [Электронный ресурс] : [официальный сайт]. – URL: <https://technomoscow.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).

4. Правительство Москвы [Электронный ресурс] : [официальный сайт]. – URL: <https://www.mos.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).

5. Ульяновский государственный технический университет [Электронный ресурс] : [официальный сайт]. – URL: <https://www.ulstu.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).

6. Региональная программа Красноярского края «Развитие беспилотных авиационных систем в Красноярском крае до 2030 года»: [Официальный интернет-портал правовой информации Красноярского края]. – URL: <http://zakon.krskstate.ru/0/doc/110359> (дата обращения: 10.04.2025).

УДК 339.13

ИНФОРМАЦИОННАЯ АСИММЕТРИЯ НА РЫНКЕ УСЛУГ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Е. Ю. Зыбина¹

Научный руководитель Т. А. Смирнова¹
кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время каждому субъекту рыночных отношений важно иметь в представлении ту долю информации о товаре или услуге, которая позволит ему делать полноценные выводы о качестве данного продукта. Качественная и количественная информация о продукте, а именно та информация, которую сам поставщик продукта предоставляет потребителю – это то, что помогает поставщикам товаров или услуг быть конкурентоспособными на рынках. Однако, существуют рынки, где является затруднительным определение качества продукта. Такими рынками являются рынок здравоохранения и образования. Потребитель образовательных услуг не обладает конкретными критериями определения качества данных услуг. Студент университета не сможет с точностью определить профессионализм профессорско-преподавательского состава, характер и уровень информации, которую

до студента доносят. Такая ситуация обозначается как информационная асимметрия.

Информационная асимметрия – это ситуация, при которой экономические субъекты не равным образом наделены рыночной информацией [1]. В данной статье мы разберем асимметрию на рынке высшего образования. В нашем конкретном случае у абитуриентов нет четких и достоверных данных по многим критериям – начиная от четких цифр трудоустройства выпускников вузов, заканчивая нечеткими данными о стажировках, практиках и т.д.

Информационную симметрию рассматривали такие ученые, как Дж. Акерлоф, Ю.Н. Лебедева, О.Н. Антипина. Есть исследователи, которые рассматривали данное явление на рынке высшего образования, это: Т.А. Ожерельева, Е.П. Меркулова, Е.В. Ревина и другие. Так, исследователями было выявлено, что услуга получения высшего образования относится к категории доверительных благ (с точки зрения экономической теории), а, то есть, оценить качество услуги человек может только спустя значительное время после получения услуги [2]. Причинами данного явления являются:

- 1) «получение информации, как и любого другого редкого блага, сопряжено с альтернативными издержками;
- 2) моральная недолговечность информации;
- 3) любой экономический субъект для адекватного использования необходимой информации должен уметь выбрать её из всего доступного объёма и, возможно, даже её осмыслить и переработать» [1].

Информационная симметрия на рынке высшего образования приводит к серьезным дисбалансам: влияние на решения абитуриентов, создание недобросовестной конкуренции среди вузов, усиление социального неравенства, при появлении и развитии онлайн-образования стало еще труднее оценить его качество, рост долговой нагрузки у студентов из-за принятых решений (иногда неверных). Все это является ключевой проблемой пересмотра критериев оценки и введения новых механизмов контроля качества.

Обратимся к правовой базе, которая на данный момент регламентирует, какая конкретно информация должна и может быть представлена образовательными организациями высшего образования. Ключевым законом является ФЗ №273 от 29 декабря 2012 г. «Об образовании в Российской Федерации». Также есть ряд приказов Минобрнауки России, одним из которых является Приказ №1324 «Об утверждении показателей деятельности образовательной организации, подлежащей самообследованию». Данные отчеты о самообследовании публикуются на сайтах образовательных организаций. Ключевые позиции: научно-исследовательская деятельность, образовательная деятельность, международная деятельность, финансово-экономическая деятельность, инфраструктура, обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Данная правовая база является ключевой для университетов в предоставлении информации потребителям. Несмотря на то, что существует правовая база, которая косвенно регламентирует ту информацию, которая может быть дана потребителям, информационная асимметрия продолжает существовать. Рассмотрим конкретную проблематику информационной асимметрии на рынке высшего образования.

Влияние на решения абитуриентов. При выборе университета абитуриенты опираются на рейтинги, фотографии и отзывы, но зачастую этого недостаточно. У абитуриентов нет доступа к реальной статистике. Не все вузы публикуют точные цифры трудоустройства выпускников (особенно, это относится к иностранным студентам, поступающим в университеты в другой стране), не все вузы могут предоставить информацию об уровне преподавателей. Это лишь некоторые примеры проблематики в части влияния на решения абитуриентов. Кроме того, многие потенциальные студенты не обладают достаточной компетенцией в определении наиболее значимых типов информации [3], что еще сильнее усложняет процесс принятия решения абитуриентом.

Создание недобросовестной конкуренции среди вузов. Некоторые университеты искусственно завышают показатели, например, зарплаты выпускников, или количество трудоустроенных выпускников в отчетах для повышения привлекательности среди абитуриентов. Так, например, University of Phoenix (США) в 2019 г. выплатил \$191 млн штрафа за введение студентов в заблуждение о карьерных перспективах [4].

Усиление социального неравенства. К примеру, семьи с высоким доходом могут позволить себе платные услуги профориентации, или, могут позволить себе заплатить деньги, чтобы узнать больше информации о том или ином университете.

Усугубление проблемы из-за развития онлайн образования. В связи с повышением спроса на онлайн образование, увеличилась и информационная асимметрия в части данного типа образования. Здесь низкий уровень прозрачности по аккредитациям массовых открытых онлайн-курсов (МООК). Более того, потребитель онлайн образования не сможет узнать, кто на самом деле проверяет задания: преподаватель или искусственный интеллект. У малого количества онлайн-курсов есть данные по завершаемости программ, что также повышает уровень информационной асимметрии.

Данная выборка является лишь частью проблематики асимметрии информации на рынке высшего образования. Для экономики это также несет вред – студенты тратят ресурсы на нерелевантные для них программы, а работодатели, в свою очередь, получают немотивированных и неподготовленных выпускников. Так, в США около 45% выпускников сожалеют о выборе университета из-за высокой долговой нагрузки [5].

Решениями усовершенствования данной проблематики могут стать обязательная публикация статистики вузов, или создание отдельных независимых платформ с информацией об университетах с публикацией анонимных данных о карьере выпускников и т.д. В общем и целом – информационная асимметрия искажает весь рынок образования – от выбора абитуриентов до финансирования вузов. Ее более глубокое изучение поможет сделать высшее образование более справедливым и эффективным.

Список литературы

1. Антипина О. Н. Асимметрия информации // Вестник Московского университета. Экономика. 2003. Вып. 2. С. 110–125.
2. Ревина Е. В. Проблема информационной асимметрии в высшем образовании: механизмы решения // Приоритетные направления развития науки и образования. 2014. Вып. 3. С. 276–277.
3. Kinzie J.L., Palmer M., Hayek J., Hossler D., Jacob S.A., Cummings H. Fifty Years of College Choice: Social, Political and Institutional Influences on the Decision-making Process. Indianapolis, IN: Lumina Foundation for Education, 2004. 76 p.
4. University of Phoenix to pay \$191 million to settle 'deceptive ad' probe [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://www.reuters.com/article/us-usa-ftc-university-of-phoenix-idUSKBN1YE21A/> (дата обращения: 16.04.2025).
5. Economic Well-Being of U.S. Households (SHED) [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://www.federalreserve.gov/publications/2022-economic-well-being-of-us-households-in-2021-student-loans.htm> (дата обращения: 16.04.2025).

УДК 332.05

НОВАЯ ВОЛНА МОЛОДЁЖНОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИИ: ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕАЛИЗАЦИЮ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПОВЕСТКИ НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

М. Е. Калгина¹

Научный руководитель Е.В. Лобкова¹
кандидат экономических наук, доцент

¹Сибирский федеральный университет

Молодёжная политика – направление государственной деятельности, включающее систему мер нормативно-правового, финансово-экономического, организационно-управленческого, информационно-аналитического, кадрового и научного характера, воздействующее на определенную категорию граждан – молодёжь. Согласно федеральному закону от 30.12.2020 № 489-ФЗ «О молодёжной политике в РФ» молодёжью принято считать лица в возрасте от 14 до 35 лет включительно.

Актуальность обсуждения перспектив развития молодёжной политики в России подчеркивает утвержденный в 2025 г. национальный проект «Молодёжь и дети» (далее – нацпроект). Целевая аудитория нацпроекта составляет почти 2,8 млн человек с учетом различных категорий молодых граждан. Так, например, в нацпроекте должны принять участие школьники, студенты, молодые семьи, родители, педагоги и наставники, с учетом того, что в целом основная аудитория нацпроекта – это дети от 6 до 13 лет и молодёжь от 14 до 35 лет [1, 2].

Интересно отметить, что в структуру нацпроекта входит 9 федеральных проектов, каждый из которых предполагает реализацию мероприятий в регионах и на местах. Существующая система молодёжной политики в Красноярском крае выстроена на флагманских программах, каждая из которых курируется определенными подведомственными учреждениями Агентства молодёжной политики и реализации программ общественного развития Красноярского края. Например, флагманская программа «Мы профессионалы» курируется КГАУ «Центр молодёжных инициатив «Форум», а флагманская программа «Мы гордимся» курируется КГАУ «Дом офицеров» [3].

Основная задача региональных органов власти и подведомственных учреждений после утверждения нацпроекта заключается в настоящий момент в том, чтобы переложить все мероприятия федеральных проектов, пути достижения ключевых показателей и другие особенности реализации нацпроекта на компетентных существующих держателей направлений в регионе [4, 5].

В настоящее время на уровне региона происходит декомпозиция нацпроекта в рамках существующих флагманских программ, сообществ, движений и некоммерческих организаций. Перспективы исследования в данном направлении предполагают разработку методических рекомендаций для органа власти и курирующих учреждений направлений молодёжной политики в регионе в рамках достижения показателей (например, введение и учёт количества уникальных участников мероприятий, перераспределение региональных проектов между организациями, использование инфраструктурных объектов по назначению профильной направленности мероприятий и т.д.).

В рамках реализации нацпроекта предусмотрен федеральный проект «Россия – страна возможностей», ключевыми показателями которого являются:

1) фактическая численность молодых людей в возрасте от 14 до 35 лет включительно, принявших участие в проектах и программах, реализованных объектами инфраструктуры молодёжной политики; по итогам 2025 г. показатель должен достичь 34,36 % или 258 839 человек, а к 2030 г. – 42 % или 308 055 человек;

2) общая численность молодых людей в возрасте от 14 до 35 лет включительно, принявших участие в проектах и программах, направленных на профессиональное, личностное развитие; к концу 2025 г. запланирован показатель в 23,76 % или 178 987 человек, а к 2030 г. – 75 % или 550 099 человек.

Основными приоритетами реализации проекта «Россия – страна возможностей» на уровне Красноярского края являются:

1) создание условий для самореализации молодёжи, а именно:

модернизация молодёжных центров в рамках проекта (в настоящее время в Красноярском крае функционирует 72 молодежных центра на территории 61 муниципального образования);

- программа «Молодёжные центры 2.0» (финансирование – 40 млн руб. ежегодно);

- реализация программы «Регион для молодых»;

- строительство площадок для занятий экстремальным спортом (4,8 млн руб. ежегодно);

2) развитие кадрового потенциала:

- обучение специалистов отрасли и молодёжи; организация проектов «Кадровая программа для специалистов отрасли молодёжной политики Красноярского края» (по итогам 2024 г. в ней приняло участие более 100 человек,

в апреле 2025 г. уже запущена регистрация для новых участников) и «Молодёжный акселератор» – мероприятие, направленное на развитие проектного мышления и применения практических навыков для подачи заявок на грантовые конкурсы (ожидаемый охват участников проекта по итогам 2025 г. – 1000 человек);

- повышение уровня заработной платы;
- конкурс профессионального мастерства в сфере молодёжной политики;

3) мероприятия:

- финансовая поддержка молодёжных центров (финансирование – более 80 млн руб. ежегодно);
- субсидии на отдельные мероприятия молодёжных центров (финансирование – 4 млн руб. ежегодно);
- реализация краевых мероприятий.

Таким образом, современная молодёжная политика в России представляет собой многоуровневую систему, направленную на поддержку и развитие молодого поколения страны. Важность её актуализирована утверждением национального проекта «Молодёжь и дети». Ключевое значение имеет реализация федерального проекта «Россия – страна возможностей», ориентированного на повышение качества жизни молодежи и содействие её профессиональной и социальной адаптации. Особенно значима роль регионов в разработке механизмов эффективного внедрения национальных инициатив на региональном уровне. Основные приоритеты включают модернизацию инфраструктуры, кадровое обеспечение и проведение массовых мероприятий, способствующих вовлечению молодежи в активную социальную жизнь. Для дальнейшего совершенствования системы необходима разработка детальных методических рекомендаций, учитывающих специфику каждого региона и целевые показатели эффективности.

Список литературы

1. Лупандин В. Н., Кулаженкова Н. В. Проблемы реализации государственной молодёжной политики РФ на современном этапе // Среднерусский вестник общественных наук. 2014. № 4-1. С. 84–90.
2. Шаповалова И. С., Ковальчук О. В. Самосохранительные стратегии молодежи: реализация национальных проектов и интересов // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2025. №1. С. 33–41.
3. Официальный сайт Агентства молодёжной политики и реализации программ общественного развития Красноярского края. URL: <http://futureagency.krskstate.ru>
4. Щедрова Г. П. Молодежная политика в современной России: вызовы и тенденции // Власть. 2025. № 2. С. 80–85.
5. Шатохин М. В., Новосельский С. О., Шлеенко А. В. Молодежное

предпринимательство в системе молодежной политики Российской Федерации // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2024. № 5. С. 116–124.

УДК 735.29.(32)

MINERALS OF THE KRASNOYARSK TERRITORY: MAIN TYPES, DIRECTIONS OF SUPPLIES, ENTERPRISES

V. O. Katsefan¹, M. E. Ezizov¹

Scientific Supervisor E. A. Demakova¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Language Supervisor V. N. Yurdanova¹

Senior Lecturer

¹Siberian Federal University

The relevance of this work is due to the lack of systematic information about the minerals of the Krasnoyarsk Territory and their supplies. This knowledge is necessary for both businesses and government agencies that make decisions regarding mining regulation and compliance with safety standards. Also, this information can be used in the learning process in general education and professional institutions, and in some additional education courses.

The aim of this work is to study and systematize information about the minerals of the Krasnoyarsk Territory, as well as to evaluate their supply to domestic and foreign markets.

To achieve this objective, the following problems have been addressed:

1. To study the main types of minerals mined in the Krasnoyarsk Territory and their location on the territory of the region.
2. Analyze metallurgical enterprises and mining enterprises, their location on the territory of the region.
3. Evaluate the directions of resource supply.

The Krasnoyarsk Territory is characterized by a rich set of minerals, which makes it a strategically important region of Russia in the mining industry. Significant reserves of coal, iron ore, gold, copper, nickel, lead, zinc and aluminum, as well as precious metals such as silver and platinum, have been discovered in the depths of the region.

There are several key categories in the structure of minerals. Fuel resources, which include coal, oil and gas, form an important part of the mineral balance of the region. 4 hydrocarbon deposits have been discovered in the region: Vankorskoye, Lodochnoye, Tagulskoye, located in Turukhansky district

and Agaleevskoye in Kezhemsky district [1]. Krasnoyarsk companies engaged in oil and gas production - JSC Vankorneft, JSC East Siberian Oil and Gas Company, JSC Norilskgazprom, processing of hydrocarbon raw materials - LLC Achinsk Refinery, Siboxitrade. About 20% of Russia's cheapest brown coal reserves are concentrated in the Kansk-Achinsk basin. Coal industry enterprises in the region are the Krasnoyarsk Coal Mine, the Nazarovsky Mine, the Sayano-Partizansky Mine, the Serezhskoye lignite deposit, Sibugol, SUEK-Krasnoyarsk, Yeniseyenergoresurs [2].

There are large iron ore deposits in the region, such as Norilsk and Talnakh. Iron ore deposits in the Krasnoyarsk Territory are located in three iron ore regions: Vostochno-Sayansk, Sredne-Angarsk and Angara-Pitsky. Iron ore was mined in the Krasnoyarsk Territory by such enterprises as: Metal-Invest Mining Company, Yeniseyskaya Mining Company LLC, Irbinsk Mine Management LLC, Camelot OJSC, Krasnokamenskiy Mine OJSC, Romus OJSC, Stoyk LLC, Shakhta LLC.

More than 20% of gold is concentrated in the region [2]. Famous gold deposits were discovered in: Sovetskoye, Eldorado, Olimpiyada, Vasilyevskoye [1]. Gold extracted from several large deposits (such as Olympiadinskoye and Blagodatnoye) is used in the jewelry industry and investments, emphasizing its economic value [1]. There are many gold mining companies in the Krasnoyarsk Territory. Main ore mining enterprises: – JSC ZDK "Polyus", Krasnoyarsk (part of Polyus Gold PJSC) is the leading mining division of the company and the largest gold mining enterprise in Russia.

Large copper deposits are located in the region, such as Udokan and Shturmovskoye. Major copper-nickel sulfide deposits are located on the territory of the Krasnoyarsk Region: Oktyabrskoye, Talnakhskoye, Norilsk and Maslovskoye. In Russia, the leading producer of refined copper is MMC Norilsk Nickel, located in the Krasnoyarsk Territory.

More than 95% of Russian nickel and platinum reserves are concentrated in the region [2]. The Nadezhdinsky Metallurgical Plant (NMZ) is part of the Norilsk division, which implements a full cycle of metal production.

Gorevskoye lead deposit, one of the largest in the world, accounts for 42% of Russian reserves [2]. The Novoangarsky Processing Plant and Gorevsky GOK Group of companies operate in the Krasnoyarsk Territory and the Amur Region.

There are 2 deposits in the Krasnoyarsk Territory: Chadobetskoye in the Boguchansky district and Tatarskoye in the Motyginsky district with insignificant proven reserves. Significant capacities for the conversion of alumina raw materials are the Achinsk Alumina Combine, Krasnoyarsk and Boguchansky aluminum and Metallurgical plants.

In addition, the Krasnoyarsk Territory is famous for various minerals, such as graphite. There are two main graphite—bearing areas - Kureysky and Noginsky in Turukhansky district and Evenkia, respectively. Development is carried

out sporadically in the western part of the Southern section of the Krasnoyarsk Graphite deposit [3].

The Krasnoyarsk Territory is a unique region with large reserves of minerals, from coal to rare metals, which are of strategic importance both for the region and for the country as a whole. It is important to continue research and analysis of the potential of deposits in order to ensure their effective use, compliance with safety standards and environmental protection.

It is also necessary to evaluate the main directions of supply of the minerals described above. China is the main importer of mining and metallurgy products in the region. For example, raw aluminum from JSC BOAZ, lead ores and concentrates from LLC Novoangarsk Processing Plant, ores and concentrates of precious metals from JSC Polyus Krasnoyarsk are exported to China. SUEK-Krasnoyarsk JSC and Sibugol LLC export brown coal to China. Novoangarsky Processing Plant LLC exports lead ores and concentrates to China. KRAMZ LLC is an exporter of aluminum bars and profiles to Germany. JSC KRASTSVETMET is an Exporter of raw, semi-processed or powdered platinum to the United States [4].

Thus, the results of the conducted research emphasize the need to systematize information about the minerals of the Krasnoyarsk Territory and their supplies. This will not only improve the decision-making process for businesses and government agencies, but also create a more sustainable and secure model for the development of the region's mineral industry. This work will create materials for further use in the educational process at different levels of education.

References

1. Mineral resources: Mineral resources of the Krasnoyarsk territory [Electronic resource] URL: <http://nature.krasn.ru/node/35> [accessed 04.04.2025]
2. «Minerals of the Krasnoyarsk Territory: wealth of the region» [Electronic resource] URL: <https://shdevrum.ai/post/7f18babdbbbf11ef805726000a26907a/> [accessed 29.03.2025]
3. What is rich in the Krasnoyarsk Territory - what minerals are mined there [Electronic resource] URL: <https://www.bolshoyvopros.ru/questions/2548675-chem-bogat-krasnojarskij-kraj-kakie-poleznye-iskopaemye-tam-dobyvajut.html> [accessed 04.01.2025]
4. Foreign Economic Activity Rating [Electronic resource] URL: <https://vedrating.ru/foreign-traders/exporters-24-world-all/> [accessed 04.02.2025]
5. Katsefan V.O., Ezizov M.E. Map: The minerals of the Krasnoyarsk Territory and the enterprises that extract and process them. The main directions of supplies. URL: <https://photos.app.goo.gl/d1odqKGGzg1Gj3DU7>

УДК 338.246.4

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ «ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

М. М. Колодин¹

Научный руководитель Е. Н. Почекутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Цифровизация экономики стала важным направлением развития для многих стран мира. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 1632-р и нацелена на создание условий для внедрения цифровых технологий в различные сферы жизни. В условиях современных экономико-политических реалий, таких как санкции и глобальные изменения, актуальность данной программы возрастает. Целью данной статьи является оценка эффективности реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в России, выявление существующих проблем и определение перспектив дальнейшего развития.

Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» имеет стратегическое значение для Российской Федерации. Она направлена на повышение конкурентоспособности страны в цифровой среде, улучшение качества жизни населения и оптимизацию государственных услуг. В условиях экономической нестабильности и международной изоляции цифровизация должна стать одним из факторов, способствующих устойчивому экономико-социальному развитию. Важно учитывать международные тренды в области цифровизации, которые так или иначе оказывают влияние на российскую экономику.

Программа включает данные направления: развитие инфраструктуры, создание условий для инноваций, поддержка стартапов и развитие человеческого капитала. Основные цели заключаются в увеличении доли цифровых технологий в экономике, улучшении доступа к цифровым услугам для населения. Программа также предполагает внедрение новых технологий в государственное управление и бизнес.

Реализация программы сталкивается с рядом серьезных проблем [1]. Одной из главных является влияние международных санкций, которые ограничивают доступ к свободному обмену современным технологиям

и инвестициям. Это создает препятствия для развития IT-сектора и внедрения инноваций.

Нехватка квалифицированных специалистов в области информационных технологий затрудняет реализацию проектов на территории страны. Образовательные учреждения не успевают подготовить достаточное количество специалистов и это создает дефицит кадров на рынке труда.

Технические ограничения инфраструктуры играют значительную роль. В некоторых регионах страны отсутствует необходимая база для внедрения цифровых технологий. Это затрудняет доступ населения данных регионов к современным услугам в цифровой среде.

Для оценки эффективности программы можно использовать количественные и качественные показатели. К числу количественных относятся данные о росте числа пользователей цифровых услуг, уровне инвестиций в IT-сектор и количестве новых рабочих мест.

По данным Росстата, за последние три года наблюдается рост числа пользователей информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» на 10 % ежегодно [2]. Это свидетельствует о повышении интереса к цифровым услугам среди населения. По данным Министерства экономического развития, за последние четыре года (2020 – 2024 гг.) инвестиции российских компаний в цифровые технологии выросли более чем на 80% и достигли свыше 4 трлн. Рублей [4]. Объем средств, направленных на развитие IT-инфраструктуры, увеличился на треть – до 1,5 трлн. рублей, а на внедрение программных продуктов – в 2,5 раза.

Качественные показатели включают анализ успешных проектов в рамках программы. Например, внедрение системы электронного правительства позволило значительно упростить взаимодействие граждан с государственными органами. По данным опросов, более 70% пользователей отметили удобство использования электронных услуг.

Важным аспектом оценки является анализ данных о создании новых рабочих мест в сфере IT. По информации Ассоциации «Руссофт», за последние два года было создано более 50 тысяч новых рабочих мест в области информационных технологий.

С учётом существующих проблем, у России есть возможности для роста в условиях новых экономических реалий. Государство должно сыграть решающую роль в поддержке стартапов и инновационных компаний через создание благоприятной экосистемы для их развития. В качестве одного из инструментов возможно применение налоговых льгот для определенных предприятий-стартапов в IT-сфере.

Сотрудничество с международными партнёрами открывает новые горизонты для российской экономики. Обмен опытом с другими

дружественными странами может помочь адаптировать лучшие практики и технологии к российским условиям.

Развитие новых технологий: искусственный интеллект и блокчейн, может стать двигателем изменений в различных отраслях экономики. Интеграция этих технологий имеет важнейшее значение и в перспективе повысит эффективность бизнеса, улучшит качество предоставляемых услуг.

Реализация государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» сталкивается с множеством вызовов: от международной изоляции до нехватки кадров и финансирования в определенных регионах. Однако программа имеет потенциал для успешного выполнения своих задач при условии преодоления существующих барьеров.

Анализ показал необходимость адаптации стратегии к изменяющимся условиям внешней среды и внутренним вызовам. Успешная реализация программы требует комплексного подхода со стороны государства, бизнеса и образовательных учреждений.

Для более глубокого понимания проблемы целесообразно провести углубленный анализ отдельных аспектов программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Например, исследование влияния цифровизации на малый бизнес может выявить дополнительные возможности для роста сектора.

Также стоит рассмотреть интеграцию новых технологий (AI, блокчейн) как часть государственной стратегии по развитию цифровой экономики. Анализ опыта других стран с аналогичными программами поможет выявить лучшие практики и адаптировать их к российским условиям [3].

В заключение можно отметить важность дальнейших исследований для успешной реализации государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Адаптация стратегии к новым вызовам позволит преодолеть существующие проблемы и создать условия для устойчивого развития экономики страны в условиях глобальных изменений.

Список литературы

1. Кириченко, И. А. Цифровая экономика: перспективы развития и возможные риски / И. А. Кириченко, Т. Н. Маршова, И. Н. Мигунов // Российский экономический журнал. – 2022. – № 6. – С. 31–46.

2. Коковихин, А. Ю. Факторы интенсивности использования цифровых платформ населением Российской Федерации / А. Ю. Коковихин, А. Е. Плахин, Е. С. Огородникова // Journal of Applied Economic Research. – 2023. – Т. 22. – № 4. – С. 1087–1112.

3. Шуйский, В. П. Цифровизация экономики России: достижения и перспективы / В. П. Шуйский // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2020. – № 6. – С. 158–169.

4. Петров, С. П. Влияние инвестиций в развитие цифровой экономики на объем валового внутреннего продукта России / С. П. Петров, М. П. Маслов, А. И. Карпович // Journal of Applied Economic Research. – 2020. – Т. 19. – № 4. – С. 419–440

УДК 338.45.02(47+57)

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА РОССИИ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ

В. П. Котлярчук¹

Научный руководитель Е. Н. Почекутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Аннотация: В статье рассматриваются инновационные механизмы повышения конкурентоспособности предприятий промышленного сектора России в условиях внешнеэкономических вызовов, таких как санкции и экспортные ограничения. Анализируется влияние государственной поддержки, включая субсидии, налоговые льготы, льготное кредитование и создание специальных экономических зон, на развитие промышленности. Особое внимание уделено роли инноваций в адаптации предприятий к новым реалиям, а также проблемам и перспективам их реализации. На основе анализа предложены рекомендации по совершенствованию промышленной политики.

Ключевые слова: конкурентоспособность, промышленный сектор, инновации, государственная поддержка, санкции, импортозамещение, внешнеэкономические вызовы.

В условиях глобальной экономики конкурентоспособность промышленного сектора становится ключевым фактором устойчивого развития страны. Для России, сталкивающейся с внешнеэкономическими вызовами, такими как санкции, введенные с 2014 г. и усиленные после 2022 г., и экспортные ограничения, повышение конкурентоспособности предприятий приобретает особую актуальность. Эти вызовы ограничивают доступ к технологиям, рынкам капитала и традиционным экспортным рынкам, вынуждая государство и бизнес искать инновационные пути адаптации. Конкурентоспособность предприятия определяется его способностью удерживать долю рынка, развивать производство и эффективно управлять ресурсами. В этой связи инновационные механизмы, поддерживаемые государством, становятся основой для

формирования стратегий, обеспечивающих устойчивость и рост промышленности.

Цель статьи – проанализировать роль инновационных механизмов в повышении конкурентоспособности промышленных предприятий России в условиях внешнеэкономических ограничений и предложить пути их совершенствования.

Санкционные ограничения затронули ключевые отрасли российской промышленности: ОПК, машиностроение, металлургию, нефтегазовый сектор и высокотехнологичные производства. Ограничения на поставки оборудования, технологий двойного назначения и микроэлектроники создали барьеры для модернизации. Например, в электронной промышленности доля импортных комплектующих до 2022 г. достигала 70–80%, а запрет на их экспорт замедлил развитие сектора [2]. По оценкам Института Банка Финляндии, санкции могут снизить ВВП России на 4–18%, а экспортные ограничения – на 1–25% в зависимости от сценария. Экспорт газа в Европу сократился на 12% в 2022 г., а введение потолка цен на нефть ограничило бюджетные доходы [3]. Эти факторы вынудили государство переориентировать промышленную политику на импортозамещение и развитие альтернативных рынков сбыта, таких как Китай и Индия, где экспорт нефти вырос до 50% от общего объема (240–247 млн тонн в 2022 г.) [6]. Однако зависимость от сырья и технологическое отставание остаются значительными рисками.

Государственная поддержка играет решающую роль в адаптации промышленности к внешним вызовам, предоставляя инновационные механизмы для повышения конкурентоспособности. Среди них выделяются субсидии, налоговые льготы, льготное кредитование, создание специальных экономических зон (СЭЗ) и финансирование НИОКР. Субсидии стимулируют модернизацию: в сельскохозяйственном машиностроении отгрузки техники выросли на 2,3% в 2023 г., достигнув 240,9 млрд рублей, благодаря поддержке «Ростсельмаш» и других предприятий. Налоговые льготы, включая снижение ставок и освобождение от НДС, применяются в высокотехнологичных отраслях, таких как фармацевтика, где гранты на НИОКР способствовали созданию вакцин [6]. Льготное кредитование через Фонд развития промышленности (ФРП) под 1–5% годовых позволило запустить новые производства, например, полимерные заводы в Волгограде [4].

СЭЗ, такие как «Алабуга» в Татарстане, привлекают инвестиции (1 трлн рублей к 2023 г.) благодаря инфраструктуре и преференциям, что делает их примером успешной локализации [5]. Финансирование НИОКР направлено на развитие инноваций: в ОПК производство беспилотников выросло в 2 раза в 2023 г. за счет субсидий [3]. Эти механизмы демонстрируют инновационный потенциал, позволяя предприятиям адаптироваться к санкциям через развитие собственных технологий и переориентацию рынков.

Эффективность инновационных механизмов варьируется по секторам и регионам. В ОПК государственные закупки обеспечивают стабильный спрос, поддерживая конкурентоспособность через заказы на военную технику [3].

В обрабатывающей промышленности субсидии и кредиты стимулируют производство, но бюрократия снижает их эффект. В металлургии защитные пошлины увеличили долю внутреннего рынка, хотя экспорт ограничен санкциями. Регионально СЭЗ успешны в Татарстане и Калужской области, где развита инфраструктура, но в депрессивных регионах (Дальний Восток, Северный Кавказ) их результативность ниже из-за оттока ресурсов. Это подчеркивает необходимость адаптации механизмов к специфике отраслей и субъектов.

Несмотря на успехи, инновационные механизмы сталкиваются с проблемами. Технологическое отставание в электронике и авиации замедляет импортозамещение из-за отсутствия доступа к западным технологиям. Бюрократия и коррупция поглощают до 30% средств поддержки. Перспективы связаны с развитием НИОКР (увеличение грантов до 500 млрд рублей к 2025 году), упрощением доступа малого бизнеса к льготам и диверсификацией экспорта через высокотехнологичную продукцию. Укрепление кластеров в отстающих регионах также может выровнять диспропорции.

Инновационные механизмы государственной поддержки, такие как субсидии, льготы и СЭЗ, играют ключевую роль в повышении конкурентоспособности промышленного сектора России в условиях внешнеэкономических вызовов. Они способствуют импортозамещению и адаптации к санкциям, но их эффективность ограничена институциональными барьерами и технологическими пробелами. Для устойчивого роста необходимо усилить инновационную составляющую, упростить процедуры и диверсифицировать экономику, что обеспечит конкурентные преимущества на глобальном рынке.

Список литературы

1. МЭРППО, предпринимательство [Электронный ресурс]. URL: <https://merp.pnzreg.ru/predprinimatelstvo/gosudarstvennaya-podderzhka/> (дата обращения 27.03.2024).
2. Завьялов П.С. Маркетинг в схемах, рисунках, таблицах. М.: ИНФРА-М, 2001. 496 с.
3. Официальные отчеты Минпромторга РФ, данные по программе импортозамещения в ОПК [Электронный ресурс]. URL: <https://minpromtorg.gov.ru/> (дата обращения 15.03.2025).
4. Фонд развития промышленности, реализованные проекты [Электронный ресурс]. URL: <https://frprf.ru/> (дата обращения 15.03.2025).
5. СЭЗ «Алабуга», официальные данные [Электронный ресурс]. URL:

<https://alabus.ru/> (дата обращения 15.03.2025).

6. Государственная программа «Развитие промышленности и повышения ее конкурентоспособности» [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.gov.ru/> (дата обращения 15.03.2025).

УДК 338.439

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

К. С. Кузнецова¹

Научный руководитель Е. В. Лобкова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Продовольственная безопасность Российской Федерации является одним из главных направлений обеспечения национальной безопасности страны, фактором сохранения ее государственности и суверенитета. В целях реализации государственной политики в области продовольственной безопасности указом Президента РФ от 30.01.2010 № 120 была утверждена Доктрина продовольственной безопасности РФ. В доктрине в качестве критерия оценки определяется удельный вес отечественной сельскохозяйственной, рыбной продукции и продовольствия в общем объеме товарных ресурсов внутреннего рынка соответствующих продуктов. Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20 утверждена новая Доктрина продовольственной безопасности РФ [1], согласно которой стратегической целью обеспечения продовольственной безопасности является обеспечение населения страны безопасной, качественной и доступной сельскохозяйственной продукцией, сырьем и продовольствием в объемах, обеспечивающих рациональные нормы потребления пищевой продукции (таблица 1).

Таблица 1

Уровень самообеспечения основными продуктами питания по Российской Федерации

Наименование продукции	Пороговое значение	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
	%					
Зерно	95	155,6	165,6	148,3	191,4	173,5
Сахар	90	126,8	99,9	100,5	101,6	108,5
Растительное масло	90	179,1	200	182	192,6	226,9
Мясо и мясопродукты	85	97,4	100,1	99,7	101,8	101,7
Молоко и молокопродукты	90	83,9	84	84,3	85,7	86,0

Рыба и рыбопродукты	85	152,8	160,7	153,7	165,3	152,9
Картофель	95	95,1	89,2	88,7	94,5	101,0
Овощи и бахчевые	90	87,7	86,3	86,5	88,5	89,1
Фрукты и ягоды	60	40,2	42,4	44,4	47,3	44,6
Соль пищевая	85	63,8	65,7	68,5	64,2	74,7

В Российской Федерации производство зерна, сахара, растительного масла, мяса и мясопродуктов, рыбы и рыбопродуктов полностью покрывает внутреннее потребление и имеет положительную динамику. Значения самообеспечения молоком и молокопродуктами, картофелем, овощами и бахчевыми максимально приближены к пороговым значениям. В таких категориях как фрукты, ягоды и соль пищевая значения показателей в период с 2019 г. по 2022 г. так и не приблизились к пороговым значениям уровня самообеспечения в соответствии с Доктриной продовольственной безопасности [2].

По уровню достижения самообеспечения продуктами питания в Российской Федерации фиксируются регионы-лидеры, которые по объемам производства сельскохозяйственной продукции отдельных видов превысили пороговые значения в несколько раз (таблица 2).

Таблица 2

Регионы-лидеры самообеспечения продуктами питания

Наименование продукции и пороговое значение	Субъект РФ	Значение, %
Зерно, 95%	Ростовская область	549,1
	Саратовская область	472,9
	Краснодарский край	423,4
Мясо и мясопродукты, 85%	Белгородская область	901,8
	Тамбовская область	594,0
	Курская область	544,7
Молоко и молокопродукты, 90%	Республика Мордовия	213,8
	Кировская область	205,9
	Рязанская область	197,8
Картофель, 95%	Астраханская область	211,3
	Брянская область	203,0
	Новгородская область	159,0
Овощи и бахчевые, 90%	Астраханская область	599,5
	Волгоградская область	247,6
	Липецкая область	198,9
Фрукты и ягоды, 60%	Кабардино-Балкарская Республика	479,9
	Республика Ингушетия	240,8
	Республика Крым	141,0

Согласно указу Президента РФ от 10.03.2025 № 141 «О внесении изменений в Доктрину продовольственной безопасности Российской Федерации» стратегической целью обеспечения глобальной продовольственной безопасности является поддержание стабильности мировых продовольственных рынков на многосторонней и двусторонней основе, в первую очередь путем сотрудничества с государствами, проводящими конструктивную политику в отношении Российской Федерации. Основными задачами обеспечения глобальной продовольственной безопасности являются: развитие внутреннего производства сельскохозяйственной продукции, сырья, продовольствия, минеральных удобрений в целях обеспечения и наращивания экспортного потенциала РФ; создание благоприятных внешних условий для поддержания и развития на основе взаимной выгоды и равноправия международных торгово-экономических, транспортно-логистических и финансовых связей; оказание гуманитарной помощи, в первую очередь продовольственной, нуждающимся иностранным государствам и др.

Так, экспорт зерна за 1 квартал 2025 г. по сравнению с аналогичным периодом прошлого года увеличился: в Нигерию в 4 раза, в Тунис на 78 %, /в Марокко на 72 %, в Ливан в 3 раза, в Мозамбик в 12 раз. Поставки гречихи в Китай возросли в 3 раза, экспорт кукурузы в Сербию увеличился в 2 раза [3].

С 2025 г. реализуется национальный проект по обеспечению технологического лидерства «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности», где целевыми индикаторами являются: уровень самообеспечения семенами, племенным маточным поголовьем крупного рогатого скота, племенной продукцией в птицеводстве, уровень обеспеченности критически важными ферментными препаратами, пищевыми и кормовыми добавками, обеспеченности химико-фармацевтическими ветеринарными препаратами, ветеринарными вакцинами и достигнутый уровень технологической независимости по технике и оборудованию для сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности. Уровень технологической независимости в сфере продовольственной безопасности в 2025 г. должен достичь 47,6 %, в 2028 г. – 55,5 % и 66,7 % – в 2030 г. (целевые ориентиры в рамках национального проекта «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности»). По итогам 2023 г. он оценивался в 45,8 %. К концу 2025 г. доля отечественной сельхозтехники должна вырасти до 80%, при этом с 2013 г. по 2022 г. российские производители смогли увеличить свою долю на внутреннем рынке с 24 % до 61 %.

Таким образом, происходит переориентация на технологическую обеспеченность и глобальную продовольственную безопасность для создания условий устойчивого роста производства и стабильности мировых продовольственных рынков [4].

Список литературы

1. Бочанов М. А. Концептуальные основы политики в области обеспечения технологического суверенитета Российского государства // Власть. 2024. № 4. С. 82–85. URL: <https://doi.org/10.24412/2071-5358-2024-4-82-85> (дата обращения 05.04.2025).
2. Уровень самообеспечения основными продуктами питания по Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. 2024. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1. (дата обращения: 07.04.2025)
3. Итоги экспорта зерна и продуктов его переработки за I квартал 2025 года // Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору: официальный сайт. 2025. URL: <https://fsvps.gov.ru/news/itogi-jeksporta-zerna-i-produktov-ego-pererabotki-za-i-kvartal-2025-goda/> (дата обращения 11.04.2025).
4. Якимович Е. А. Трансформация трактовок продовольственной безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2023. Т. 31. № 1. С. 91–106. <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2023-31-1-91-106>.

УДК 339.543.46

СТИМУЛЫ ПЕРЕХОДА НА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ТАРИФЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

А. Д. Левина¹

Научный руководитель Е. Н. Почекутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В условиях реформирования российской электроэнергетики особое значение приобретает вопрос совершенствования системы тарифообразования. Традиционная система тарифов, основанная на едином тарифе для всех категорий потребителей, демонстрирует ряд существенных недостатков, включая значительное перекрестное субсидирование и неэффективное распределение финансовой нагрузки. В этой связи внедрение дифференцированных по объему потребления тарифов становится одним из перспективных решений для оптимизации тарифной политики.

Дифференцированные тарифы представляют собой эффективный инструмент для справедливого распределения финансовой нагрузки между различными категориями потребителей электроэнергии. Система построена

на принципе прямой зависимости между объемом потребления и величиной тарифа, что делает её экономически обоснованной и справедливой.

Для бизнеса, который, как правило, потребляет значительные объемы электроэнергии, устанавливаются более высокие тарифы. Это обусловлено большими нагрузками на энергосистему и необходимостью обеспечения её устойчивого функционирования. При этом для населения предусмотрены льготные тарифы в пределах социально обоснованных норм потребления, что защищает интересы граждан и обеспечивает доступность электроэнергии для бытовых нужд.

Особую значимость внедрение дифференцированных тарифов имеет для бюджетных организаций. Школы, больницы и другие социально значимые учреждения получают возможность снизить финансовую нагрузку благодаря оптимизации структуры тарифов и более эффективному распределению затрат. Это позволяет направить сэкономленные средства на улучшение качества предоставляемых услуг и развитие инфраструктуры.

Дифференцированный подход к тарифообразованию способствует не только справедливому распределению финансовой нагрузки, но и стимулирует рациональное использование энергоресурсов. Потребители получают экономические стимулы для оптимизации своего энергопотребления, что в конечном итоге приводит к более эффективному использованию имеющихся ресурсов и снижению социальной напряженности в вопросах тарифообразования.

В современной системе энергоснабжения особое внимание уделяется механизмам регулирования тарифов и перекрестного субсидирования. Ключевым элементом этой системы является индексация предельной величины перекрестного субсидирования, что позволяет поддерживать баланс интересов различных категорий потребителей и обеспечивать финансовую устойчивость энергокомпаний.

Для эффективного функционирования данной системы осуществляется многоуровневый контроль. Федеральная антимонопольная служба выполняет функцию постоянного мониторинга за соблюдением установленных тарифов и предотвращает возможные злоупотребления со стороны энергокомпаний. Это обеспечивает прозрачность тарифной политики и защищает интересы всех участников рынка.

Важной особенностью современного подхода является децентрализация принятия решений в области тарифообразования. Регионы получают возможность самостоятельно внедрять дифференциацию тарифов, что позволяет учитывать местные особенности и потребности населения. Такой подход способствует более гибкому и эффективному управлению энергоресурсами на местах, учитывая специфику каждого региона.

В результате формируется сбалансированная система тарифообразования, где централизованный контроль сочетается с региональной самостоятельностью, а интересы потребителей и энергокомпаний находятся в оптимальном равновесии. Это создает основу для устойчивого развития энергетической отрасли и обеспечения надежного энергоснабжения всех категорий потребителей.

Особое внимание уделяется социальной направленности и защите уязвимых слоев населения. Ключевым элементом этой системы является установление льготных тарифов и предоставление субсидий для малоимущих семей, что позволяет обеспечить социальную справедливость и поддержать наиболее нуждающиеся категории граждан.

Инновационным подходом в тарифообразовании стало внедрение дифференцированных диапазонов потребления. Эти диапазоны разрабатываются с учетом реальных потребностей домохозяйств, что позволяет создать справедливую систему оплаты за энергоресурсы. При правильном установлении границ каждого диапазона население не несет дополнительных расходов, а стоимость энергоснабжения остается на приемлемом уровне для конечных потребителей.

Такая система тарифообразования имеет ряд преимуществ. Во-первых, она стимулирует рациональное использование энергоресурсов, так как более высокое потребление влечет за собой более высокую стоимость единицы энергии. Во-вторых, она обеспечивает социальную защиту, сохраняя низкие тарифы для базового объема потребления. В-третьих, она создает экономические стимулы для энергосбережения, что особенно важно в современных условиях.

Для эффективного функционирования данной системы проводится регулярный анализ потребления энергоресурсов различными категориями домохозяйств. На основе этих данных происходит корректировка диапазонов потребления и пересмотр тарифных ставок. Это позволяет поддерживать баланс между интересами потребителей и необходимостью обеспечения финансовой устойчивости энергокомпаний.

В результате формируется комплексная система тарифообразования, которая сочетает социальную защищенность, экономическую эффективность и стимулы к рациональному использованию энергоресурсов. Такой подход способствует устойчивому развитию энергетической отрасли и обеспечивает надежное энергоснабжение всех категорий потребителей.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 N 35-ФЗ (последняя редакция) 26 марта 2003 года N 35-ФЗ // КонсультантПлюс : справочная правовая система. – URL: <http://www.consultant.ru>.
2. Правительство российской федерации постановление от 29 декабря 2011

г. N 1178 о ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике // КонсультантПлюс : справочная правовая система. – URL: <http://www.consultant.ru>.

З. Песоцкая Е. А. “Дифференциация тарифов по объемам электропотребления населением как шаг к экономически обоснованным тарифам для всех категорий потребителей” Декабрь 2024 года// (Вестник науки, 2024) – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/differentsiatsiya-tarifov-po-obemam-elektropotrebleniya-naseleniem-kak-shag-k-ekonomicheski-obosnovannym-tarifam-dlya-vseh>.

УДК 658.71

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ ЗАКУПОК

В. И. Мухинько¹

Научный руководитель Е. Н. Почкутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Государственные и муниципальные закупки играют важную роль в экономике любой страны, обеспечивая выполнение государственных функций и предоставление услуг населению. Эффективность этих закупок напрямую влияет на использование бюджетных средств, качество предоставляемых услуг и уровень доверия граждан к государственным институтам. Однако в настоящее время существует ряд проблем, связанных с оценкой эффективности государственных и муниципальных закупок, что требует разработки универсального подхода к данной проблеме.

Однако исследователь И. Н. Макаров в статье «Проблемы оценки эффективности государственных закупок» в первую очередь, обращает внимание на то, что «эффективность», как термин в российском законодательстве, четко не регламентирована, что сказывается на возникающих трудностях при разработке системы оценивания закупок [1].

Эффективность государственных и муниципальных закупок можно рассматривать через несколько ключевых аспектов:

1) экономия бюджетных средств: основной целью закупок является оптимизация расходов бюджета. Эффективные закупки должны обеспечивать наилучшее соотношение цены и качества, что позволяет снизить затраты;

2) прозрачность процессов: прозрачность является важным условием для снижения коррупционных рисков. Открытые процедуры закупок способствуют повышению доверия граждан к государственным органам;

3) конкуренция среди поставщиков: создание конкурентной среды позволяет снизить цены и повысить качество товаров и услуг. Это достигается через использование различных методов, таких как аукционы и тендеры;

4) качество товаров и услуг: закупаемые товары должны соответствовать установленным стандартам качества, что обеспечивает их эффективное использование в государственных нуждах;

5) соблюдение сроков исполнения: важно не только качество, но и своевременность выполнения обязательств со стороны поставщиков;

6) социальная ответственность: учет социальных аспектов, таких как поддержка местных производителей или малых и средних предприятий, также является важным элементом эффективности;

7) инновации: поощрение внедрения новых технологий может значительно повысить эффективность работы государственных структур.

Существуют различные методы оценки эффективности государственных и муниципальных закупок. Качественные методы предполагают оценку на основе экспертных мнений, анкетирования участников рынка или анализа кейсов успешных закупок. Количественные методы – использование статистических данных для анализа затрат, времени выполнения контрактов и других количественных показателей. Сравнительный анализ основан на сопоставлении результатов различных закупок для выявления лучших практик.

Однако на практике часто наблюдается отсутствие системного подхода к оценке эффективности, что затрудняет принятие обоснованных решений. Российский исследователь Д. А. Бацунов в своей работе подчеркивает отсутствие единой системы оценки эффективности государственных закупок, что способствует разработке собственных таких методик отдельными органами власти и субъектами Российской Федерации [2]. Отсутствие системного подхода к оценке эффективности государственных и муниципальных закупок создает ряд серьезных проблем:

Без единой системы сбора данных о всех этапах процесса закупки сложно получить полное представление о его результатах. Это может привести к тому, что важные аспекты остаются незамеченными, а проблемы не выявляются вовремя. Разрозненные критерии оценки затрудняют сравнение результатов различных закупок. Например, если одна закупка оценивается по критериям цены и качества, а другая – только по цене, то провести объективное сравнение будет невозможно. Отсутствие системного подхода затрудняет анализ успешных примеров закупок и внедрение их в практику других государственных органов. Это приводит к повторению ошибок и снижению общей эффективности

процессов. Неопределенность в критериях оценки создает возможности для коррупции и нецелевого использования бюджетных средств. Если нет четких стандартов, то участники процесса могут манипулировать данными или принимать решения на основе личных интересов.

Без регулярного мониторинга и анализа результатов сложно внести изменения в процессы закупки на основе полученных данных. Это может привести к тому, что неэффективные практики продолжают использоваться без изменений. В условиях современных вызовов необходимо разработать универсальный подход к оценке эффективности государственных и муниципальных закупок. Такой подход должен включать:

1) разработку четких критериев оценки, которые учитывали бы все ключевые аспекты эффективности (экономия средств, качество, сроки исполнения);

2) создание единой информационной системы, которая позволяла бы собирать данные о всех этапах процесса закупок и проводить их анализ;

3) внедрение регулярного мониторинга за результатами закупок с целью выявления проблемных областей и разработки рекомендаций по их устранению;

4) обучение сотрудников, занимающихся госзакупками, современным методам анализа данных и управления проектами;

5) поощрение инновационных решений, которые могут повысить эффективность процессов закупок.

Принципы и методики оценки эффективности государственных и муниципальных закупок – это многогранная проблема, требующая комплексного подхода к ее решению. В условиях отсутствия единой системы оценки необходимо разработать универсальные критерии и методы анализа, которые позволят обеспечить прозрачность процессов, снизить коррупционные риски и оптимизировать использование бюджетных средств. Только так можно достичь высокой степени доверия граждан к государственным институтам и обеспечить качественное выполнение социальных обязательств государства перед обществом.

Список литературы

1. Макаров И. Н. Проблемы оценки эффективности государственных закупок // Е-SCIO. 2019. №5 (32). С. 80-85.

2. Бацунов Д.А. Оценка инновационной эффективности государственных закупок // Transport business in Russia. 2022. №1. С. 59-62

УДК: 373.52-021.465

ОБ ОБЩЕСТВЕННОМ МНЕНИИ КАЧЕСТВА УСЛУГ СРЕДНЕГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ

А. О. Новиков¹

Научный руководитель Е. Н. Почкутова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Система образования, как один из ключевых общественных благ современного государства, является предметом постоянных дискуссий. Российское общество традиционно уделяет высокое внимание государственной политике в сферах государственных услуг и стоит на позиции необходимости удержания планки качества при обязательном соответствии системы тенденциям времени. В данный момент основные претензии населения к сфере общего образования связаны с дефицитом учителей и проблемами профессиональной ориентации школьников [1].

Расходы Российской Федерации на систему общего образования, относительно других статей расходов бюджета невелики [2]. При этом в гражданском сознании среднестатистического россиянина они достаточно огромны, чтобы иметь индивидуальное право налогоплательщика требовать от государства высокого уровня оказываемых услуг для своего ребенка. В рамках данного суждения существует ряд важных тезисов, которые формируют частную критику гражданина и, как следствие, формирует общественный запрос населения в адрес правительства.

Пережив годы пандемии люди перестали относиться к онлайн обучению как к сомнительному явлению. Период 2020–2022 гг. стал периодом резкого развития онлайн образовательных платформ, как платформ для обеспечения работ бюджетных учреждений, так и для частных образовательных компаний. В результате кризиса непосредственного образования были выявлены проблемы оснащённости образовательных систем мощностями для одновременной работы нескольких тысяч школьников и низким качеством программ для решения учебных заданий. Данные обстоятельства сформировали мнение, что дистанционное образование может лишь в некоторой мере заменить очную форму обучения, и школьные онлайн платформы уступают по качеству частным платформам.

Население России также выступают с запросом на пересмотр перечня образовательных программ для школьников. Данный запрос формируется из двух наблюдений граждан – это высокая нагрузка на школьника и сомнения в актуальности образовательных программ. Первая часть данной претензии

является проблемой, признанной Государственной Думой [3]. Основная причина этой нагрузки – это большое количество домашнего задания, на которое у школьников уходит большое количество времени, фактически выходя за границы недельной образовательной нагрузки, установленных СанПиН [4, 5].

Вторая часть претензии связана с глобальными тенденциями. В рамках изучения иностранного языка школьники традиционно изучают английский язык. В нынешних реалиях аргумент за изучение именно английского языка, который призван помогать в общении с широким кругом иностранных граждан за рубежом, нивелирован сложностями путешествия российских туристов и сложностями деловых коммуникаций между российскими и иностранными организациями. Также отмечается, что необходимо сдвинуть с «университетского» уровня курсы финансовой грамотности и основ российской государственности, так как эти предметы дают фундаментальные знания общегражданского значения, следовательно, созвучны специфике школьного обучения. В свою очередь, предметы в составе курсов высшего образования, в общем и целом, нацелены на более узкие компетенции и наличие подобных «общих» курсов отвлекают студентов от более сложных и важных предметов.

Остается актуальным запрос населения к качеству школьного пространства. Большинство школ в России построены еще во времена Советского Союза и морально устарели. В подобных школах присутствует типовая планировка, которая в полной мере уже не соответствует нынешним стандартам. В таких зданиях присутствуют старая система водоснабжения, слабая система теплоснабжения, малые по площади учебные кабинеты и устаревшие дизайнерские решения. Некоторые из этих проблем решаются посредством капитального ремонта, однако при этом существует объективный предел модернизации образовательного пространства, который связан с возможностями фундамента здания держать целостность конструкции при предлагаемых вносимых изменениях в планировку. В тех случаях, когда здание более невозможно поддерживать в необходимом состоянии, его признают аварийным и сносят, распределяя школьников в иные общеобразовательные учреждения.

В данный момент актуален вопрос о закрытии кадрового дефицита в школах. Этот дефицит выражается в том, что появляются утренние и вечерние смены учебы для школьников или в том, что одни и те же учителя ведут сразу несколько предметов одновременно в нескольких школах. Стоит отметить, что на фоне общего дефицита трудовых ресурсов в России в настоящее время, в отдельно взятых муниципальных округах и населенных пунктах количество учителей избыточно [6]. Данный дисбаланс экономики является типовым, в общем виде его можно решать посредством предложения более высоких заработных плат, условий труда и мер социальной поддержки, что позволит

перераспределить профессиональные кадры в другие образовательные учреждения. Но данный механизм может в действительности не работать, так как 43,8% от всего преподавательского состава в школах России – это люди старше 50 лет, а доля учителей в возрасте старше 60 лет составляет 15,5% [7]. Таким образом, около половины всего преподавательского состава уже не являются территориально мобильными кадрами, при этом сохраняют иные виды трудовой мобильности. Следовательно, провести процесс балансировки рынка труда для решения дефицита кадров в данной сфере традиционными механизмами не представляется возможным.

Все эти тезисы критики российского общества в отношении государства являются результатом накопившихся глобальных проблем в структуре российской экономики. Но любой кризис – это также время возможностей, российский рынок труда оказался в уникальных условиях, благоприятствующих для более углубленной цифровизации системы образования, что может позволить разгрузить систему общего образования и в результате этого уменьшить запрос на учителей. Современная экономика – это экономика интернета и коммуникаций, в связи с чем мы более не привязаны к определенной физической точке на карте, и необходимый минимум для ведения экономической деятельности теперь обусловлен наличием интернет-связи и персонального компьютера или смартфона.

Список литературы

1. Бородастый антидот: есть ли противоядие от кадрового голода в школах [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/1778588/sergei-guranov/borodaty-antidot-est-li-protivoadie-ot-kadrovogo-goloda-v-skolah> (дата обращения: 30.03.2025).
2. В Госдуме предложили пересмотреть нагрузку в школах. Что может измениться [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/life/news/674d47119a79477fb300c2c9> (дата обращения: 30.03.2025).
3. В РАО назвали причины высокой учебной нагрузки в российских школах [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20221206/gramotnost-1836551922.html> (дата обращения: 30.03.2025).
4. Красноусов, С. Д. Независимая оценка качества управления системой общего образования: опыт и перспективы / С. Д. Красноусов, Е. Н. Почекутова // Петербургский экономический журнал. – 2023. – № 4. – С. 5–20. – URL: <https://research.sfu-kras.ru/publications/publication/59387850> (дата обращения: 30.03.2025).
5. Министерство финансов Российской Федерации. Бюджет для граждан [Электронный ресурс]. URL: https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2024/12/main/BDG_2025-2027.pdf

(дата обращения: 30.03.2025).

6. Об утверждении СанПиН 2.4.2.2821-10 постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 29 декабря 2010 г. № 189 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12083577/> (дата обращения: 30.03.2025).

7. Опрос: почти 90% родителей недовольны качеством школьного образования [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazeta.ru/social/news/2022/11/29/19144267.shtml?updated> (дата обращения: 30.03.2025).

УДК 339

ТАРИФНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ВНЕШНЕПОЛИТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е. А. Полякова¹

Научный руководитель М. Б. Двинский¹
кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В условиях глобализации и растущей взаимозависимости национальных экономик тарифное регулирование становится одним из ключевых инструментов внешнеэкономической политики государств. Тарифная политика, традиционно рассматриваемая как механизм защиты внутреннего рынка и пополнения государственного бюджета, в современном мире все чаще используется как средство достижения внешнеполитических целей. Российская Федерация, являясь активным участником международной торговли и стремясь укрепить свои позиции на мировой арене, также использует тарифное регулирование в качестве элемента своей внешнеполитической стратегии.

Зиманова М.А. в своей работе «Таможенно-тарифное регулирование в системе государственного регулирования внешнеторговой деятельности» указывает на актуальность инструментов государственного регулирования внешнеторговой деятельности, связанную с развивающейся глобализацией и международной экономической интеграцией [1]. Автор статьи описывает тарифное регулирование как важнейший инструмент регулирования внешнеторговой деятельности, используемый государствами для осуществления управления за процессом обмена товарами в рамках международной торговли.

Особенность таможенно-тарифной политики как инструмента регулирования внешнеторговой деятельности заключается в том, что она может быть использована и как средство защиты национальных интересов, и как инструмент стимулирования экономического роста и углубления участия страны в международной торговле.

Российская Федерация в настоящее время на международной арене существует не обособленно, а выступает участницей различных интеграционных объединений (в частности, Евразийского экономического союза), что оказывает влияние на определение основных направлений реализации таможенной политики государства. Так, в ЕАЭС установлен принцип единой таможенной территории и единого таможенного регулирования, которое предполагает установление единого порядка и особенностей перемещения товаров через таможенную границу ЕАЭС, а также использование единых мер, механизмов и инструментов регулирования внешнеторговой деятельности в государствах – членах ЕАЭС.

В зависимости от экономической и политической ситуации в стране ставки пошлин могут быть как снижены для увеличения импорта или экспорта отдельных категорий товаров, так и повышены с целью ограничения доступа иностранных товаров на внутренний рынок и поддержки отечественных производителей.

Таблица

Виды тарифного регулирования и основные инструменты их реализации

Виды тарифного регулирования	Инструменты тарифного регулирования
Импортное тарифное регулирование	Таможенные пошлины (адвалорные, специфические, комбинированные, сезонные)
	Тарифные квоты (ограничение объема импорта по определенной ставке)
	Антидемпинговые пошлины (для защиты от демпинга)
	Компенсационные пошлины (для компенсации субсидий иностранным производителям)
Экспортное тарифное регулирование	Экспортные пошлины (используются реже, чем импортные, для регулирования вывоза определенных товаров, например, сырья)
Преференциальное тарифное регулирование	Тарифные преференции (снижение или обнуление ставок для определенных стран или товаров)
Защитное тарифное регулирование	Специальные защитные пошлины (вводятся для защиты внутреннего рынка в случае резкого увеличения импорта и причинения ущерба отечественным производителям)

Тарифное регулирование в рамках ЕАЭС осуществляется на основе многоуровневой нормативно-правовой базы. Верхний уровень составляют Договор о Евразийском экономическом союзе и Таможенный кодекс ЕАЭС, определяющие общие рамки и принципы. Конкретные меры тарифной политики устанавливаются решениями Совета Евразийской экономической комиссии.

На национальном уровне регулирование осуществляется Федеральным законом №164-ФЗ и иными нормативными актами Российской Федерации, не противоречащими праву ЕАЭС. [2].

В государствах-членах ЕАЭС действует единый таможенный тариф ЕАЭС (ЕТТ ЕАЭС), который устанавливает размеры и виды пошлин (Решение Совета ЕЭК от 14.09.2021 №80). С 1 января 2025 года Правительство изменило ставки таможенных платежей (постановление Правительства РФ от 28 ноября 2024 г. №1637). Соответственно, при ввозе товаров из стран ЕАЭС таможенные пошлины и сборы не взимаются. Принципы таможенного и тарифного регулирования делятся на три группы:

- 1) общеправовые принципы: федерализм, справедливость, законность;
- 2) конституционные являются принципами единства таможенной территории; равноправия участников ВЭД; государственная охрана экономической безопасности при декларировании товаров через границу; защита интересов экономики страны;
- 3) отраслевые принципы: свободной торговли, протекционизм, которые сочетаются друг с другом; информация предварительная; межгосударственное сотрудничество и т.п.

В ЕАЭС при перемещении товаров через границу ставятся следующие цели:

- 1) экономическая цель направлена на регулирование, экономическую безопасность страны при перемещениях товаров через границу в торговле между странами;
- 2) с помощью применения фискальной цели, происходит регулирование деятельности в области сбора налогов и пошлин, где пополняется бюджет страны;
- 3) правоохранительная цель преследуется для обеспечения безопасности экономики страны;
- 4) регулятивная цель направлена на управление товарными потоками с помощью таможенных пошлин, а также с помощью применения ограничений и запретов в торговле между странами.
- 5) совершенствование таможенного администрирования и применения новых технологий в таможенном деле, что влияет на создание благоприятных условий для развития внешней торговли.

- 6) обеспечение правового соблюдения и соблюдения интересов лиц, осуществляющих внешнюю торговлю товарами. В ЕАЭС чаще используют

фискальную и правоохранительную функции, эти недостатки присутствуют в механизме таможенно-тарифного регулирования.

Под тарифным регулированием понимают меры влияния государства на внешнеторговые отношения, которые основаны на использовании важного фактора и влиянии его на товарный оборот во внешней торговле. Объектом в таможенно-тарифном регулировании является порядок расчета и обложения таможенными пошлинами на товары, которые перемещаются через границу и регулируются с помощью определенных тарифов.

Таким образом, тарифное регулирование представляет собой важный инструмент внешнеполитической стратегии Российской Федерации, осуществляемый в рамках таможенного механизма ЕАЭС. Оно реализуется с помощью различных инструментов, направленных на достижение экономических и политических целей. Гибкость тарифной политики, способность адаптироваться к меняющимся внешнеэкономическим условиям являются ключевыми факторами её эффективности и влияния на международные отношения.

Список литературы

1. Зиманова М. А. Таможенно-тарифное регулирование в системе государственного регулирования внешнеторговой деятельности // Новые реалии внешнеэкономической деятельности: взгляд таможни, бизнеса и науки. 2023. С. 79-83.
2. Коротицкая К. А. Место и роль таможенно-тарифных методов регулирования в осуществлении внешней торговли // Форум молодёжной науки. 2021. Т. 2. № 2. С. 42-46.

УДК 574*581.9*579.2

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЛЕКАРСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, С АКЦЕНТОМ НА ПРОБЛЕМАТИКУ ВЫСОКОЗАТРАТНЫХ НОЗОЛОГИЙ (ВЗН)

А. С. Пустошилова¹

Научный руководитель Т. А. Смирнова¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Одной из ключевых проблем системы лекарственного обеспечения в Российской Федерации остается недостаточное финансирование, которое не соответствует реальной потребности в лекарственных средствах.

Это приводит к дефициту препаратов и задержкам в их поставках, что серьезно сказывается на здоровье пациентов. Также отмечаются логистические трудности, ограниченность ассортимента доступных препаратов и высокая стоимость лекарств, что усугубляет ситуацию [1].

Кроме того, выявлены проблемы бюрократических барьеров, которые усложняют процесс получения льготных лекарств. Сложные процедуры оформления документов и многочисленные инстанции замедляют доступ пациентов к необходимым медикаментам [2]. Еще одной важной проблемой является неравномерное распределение ресурсов между разными районами, что создает неравенство в доступности медицинской помощи [3].



Рисунок. Обеспечение лекарственными средствами пациентов в период с 2008 по 2023 г. и объем финансирования в заданный период

Таблица

Численность пациентов без сочетанных патологий, включенных в ФР ВЗН на 01.10.2023, в разрезе нозологических групп и возраста

Нозология	Численность пациентов без сочетанных нозологий, включенных в ФР ВЗН в 2023 г., абсолютный показатель		
	Дети до 18 лет	Взрослые	Всего
Злокачественные новообразования	367	115 275	115 642
Рассеянный склероз	897	93 899	94 796
Гемофилия	3888	8049	11937
Трансплантация	2254	20412	22666
Гипофизарный нанизм	6035	2493	8528
Муковисцидоз	3091	1273	4364
Юношеский артрит	1354	598	1952

Апластическая анемия	185	1354	1539
Гемолитико-уремический синдром	338	209	547
Болезнь Гоше	114	346	460
Наследственный дефицит факторов II (фибриногена), VII (лабильного), X (Стюарта-Прауэра)	209	219	428
Мукополисахаридоз	214	67	281
Всего	18946	244194	263140

Количество пациентов в программе ВЗН увеличилось с 9,05 тыс. в 2008 году до 263,72 тыс. в 2023 году, что свидетельствует о значительном росте потребности в лекарственных средствах. При этом объем финансирования программы также заметно возрос: с 32 млрд рублей в 2008 году до 66,96 млрд рублей в 2022 году. Несмотря на это, среднее годовое увеличение числа пациентов составило 10,54%, что указывает на продолжающийся рост нагрузки на систему лекарственного обеспечения. Наибольшие затраты приходятся на лечение таких заболеваний, как гемофилия, рассеянный склероз и онкогематология [4].

Необходимо развитие отечественной фармацевтической промышленности, что позволит сократить зависимость от импортных препаратов и стабилизировать систему лекарственного обеспечения. Важен комплексный подход к решению проблем лекарственного обеспечения, включая взаимодействие всех заинтересованных сторон – государственных органов, медицинских учреждений, фармацевтических компаний и общественных организаций [5].

В заключение следует подчеркнуть, что решение проблем, связанных с лекарственным обеспечением, требует консолидации усилий всех заинтересованных сторон. Необходимо усилить контроль за финансированием, оптимизировать логистические процессы, расширить ассортимент доступных препаратов и упростить процедуры получения льгот. Особое внимание следует уделить разработке и внедрению инновационных решений, таких как электронные системы учета и автоматизированные процессы возмещения стоимости, что позволит сделать систему более прозрачной и доступной для всех категорий населения.

Важнейшим шагом на пути к устойчивому развитию системы лекарственного обеспечения является укрепление отечественной

фармацевтической промышленности. Создание собственных производственных мощностей и развитие совместных проектов с частным сектором помогут снизить зависимость от импорта и стабилизировать рынок лекарственных средств. Только через тесное взаимодействие государства, медицинских учреждений, фармацевтических компаний и общественных организаций можно достичь значительных успехов в повышении качества и доступности медицинской помощи для населения.

Список литературы

1. Статистика ФАС // Федеральная антимонопольная служба [Электронный ресурс]. URL: https://fas.gov.ru/documents/type_of_documents/statistika [дата обращения 28.03.2025]
2. Приказ Минздрава России № 1175н "Об утверждении порядка назначения и выписывания лекарственных препаратов" от 20 декабря 2012 года [Электронный курс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148452/ [дата обращения 29.03.2025]
3. Федеральный закон № 323-ФЗ "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" от 21 ноября 2011 года [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ [дата обращения 29.03.2025]
4. «Организация здравоохранения и общественное здоровье». Автор: Улумбекова Г.Э., Гинойн А.Б., Калашникова А.В., Альвианская Н.В.// Журнал для непрерывного медицинского образования по специальности Том 5, № 4 (18), 2019. Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа» 115035, г. Москва, ул. Садовническая, д. 11, стр. 12
5. Отчет о результатах экспертноаналитического мероприятия «Аудит отдельных вопросов в области обращения в 2021–2023 годах лекарственных препаратов, закупка которых осуществляется за счет бюджетных средств, включая государственную регистрацию, регулирование цен и эффективность расходования средств на их приобретение». Утвержден Коллегией Счетной палаты Российской Федерации 26 сентября 2024 года. Г.С. Изотова заместитель Председателя Счетной палаты Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/95a/z8rk66xwfdui2w01siqubpit0e3epm0w.pdf> [дата обращения 01.04.2025].

УДК 332.145

ОТ ДВИЖЕНИЯ «КРАЙ ВЫСОКОЙ КУЛЬТУРЫ» К «ВЕРСИИ 2.0»: ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД КАК ОСНОВА СОЦИОКУЛЬТУРНОГО РАЗВИТИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Т. А. Ситникова¹

Научный руководитель И. С. Багдасарьян¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

На сегодняшний день федеральными документами стратегического планирования культура возведена в ранг национальных приоритетов и признана важнейшим фактором роста качества жизни, гармонизации общественных отношений, залогом динамичного социально-экономического развития, гарантом сохранения единого культурного пространства и территориальной целостности России. Культурная политика сегодня определяет стратегический курс развития страны, обозначает приоритеты национального развития в самом широком спектре общественной жизни. Для определения стратегического вектора культурной политики Красноярского края важно учитывать накопленный управленческий опыт и на основе успешных практик, созданной инфраструктуры усиливать культурный и интеллектуальный потенциал территории.

История Красноярского края второй половины XX века представляет собой период значительных трансформаций, характеризующийся существенными изменениями в общественной и социально-экономической парадигме региона. В течение тридцати лет удалось не только превратить край в ведущий промышленный и научный центр страны, но и значительно развить сельское хозяйство, создав полноценный агропромышленный комплекс. Кроме того, были внесены кардинальные изменения в культурно-образовательное пространство региона.

Одним из управленческих механизмов подъёма края стали программы комплексного территориального развития. Красноярский край в масштабах СССР стал пилотным регионом по внедрению этого инструмента долгосрочного планирования [1]. Первую красноярскую десятилетку характеризовали как новый метод интенсивного, динамичного осуществления экономической политики партии в условиях развитого социализма, как творческое развитие КПСС идеи комплексного подъёма производительных сил конкретных экономических регионов. По сути, это был крупномасштабный социально-

экономический эксперимент [2]. Комплексный план представлял собой не просто набор тезисов и цифр, а был документов, за которым стояли конкретные люди, несшие ответственность за каждый его пункт. Таким образом, актуальный и на сегодняшний день проектный подход и «дорожные карты» в крае были известны уже с 1970-х годов и успешно использовались.

В 1972 году на пост первого секретаря Красноярского крайкома КПСС был назначен Павел Стефанович Федирко, пятнадцать лет работы которого называют «Эпоха Федирко». В этот период край достиг наивысшей точки своего развития по многим показателям, заработали десятки крупных предприятий.

На предприятиях, построенных ранее, проводилась реконструкция, модернизировалось оборудование, промышленность края стала выходить на зарубежные рынки – продукция предприятий одного только Красноярска экспортировалась более чем в шестьдесят стран. Однако, бурный рост промышленного производства и строительства обозначил диспропорцию между уровнем промышленного потенциала региона и степенью его социокультурного развития.

Стало очевидным необходимость выработки мер по устранению этой диспропорции, что и привело к провозглашению в марте 1989 года призыва «Превратим Сибирь в край высокой культуры!», который стал мощным толчком развития красноярской культуры на долгие годы. Краевое партийное руководство считало, что высокому уровню развития производительных сил края должен соответствовать такой же уровень культуры и образования. Речь шла не только о количественном увеличении объектов культуры, но и о совершенствовании, обогащении творческих коллективов новыми формами работы, подъеме всей отрасли «культура» на качественно новую степень [3].

Движение преследовало цель – укрепить материально-техническую базу учреждений культуры, привлечь внимание к огромному сибирскому региону творческих союзов, профессиональных коллективов страны, на этой основе обратиться к собственным резервам, повысить содержание работы учреждений культуры и искусства до качественно нового уровня, чтобы помочь закреплению кадров, воспитанию гордости за свой край, любви к его делам, ответственности за его будущее. Движение развивалось по долгосрочной программе, утверждённой решением бюро крайкома КПСС, исполкома крайсовета и коллегией Министерства культуры РСФСР.

Тогда начал формироваться современный облик культурного потенциала города и края. Благодаря этому движению в городе появились новые учреждения, коллективы, и Красноярск по праву стали считать одной из культурных столиц страны. В те годы были открыты: Зал органной и камерной музыки, Красноярский филиал музея В.И. Ленина (ныне музейный центр «Площадь Мира»), построено здание краевой филармонии, а также активно строились дома культуры и другие объекты на территории края. Незадолго до

этого были открыты театр оперы и балета, институт искусств, симфонический оркестр, хореографическое училище.

Идеи движения проникли во многие сферы жизни красноярцев, в том числе производственную. Под его непосредственным влиянием на предприятиях, стройках, в колхозах и совхозах активно развернулась борьба за высокую культуру производства, за получение званий «Предприятие высокой культуры», «Хозяйство высокой культуры», объявлены соответствующие смотры-конкурсы. Включились в движение и предприятия торговли, общественного питания, бытового обслуживания.

Движение создало условия для самого разнообразного творчества масс, для значительного роста людей в области политической, технологической, производственной, художественной сферах, в том числе культуры труда и быта, человеческих отношений. Тысячи красноярцев стали участвовать в управлении производством. Их форма участия – творческая: конкретные предложения по улучшению организации производства, совершенствованию технологического процесса, усилению режима экономии, внедрения элементов научной организации труда. Промышленная эстетика, улучшение условий труда стали неотделимы от ускорения научно-технического прогресса. Движение тем самым интегрировало актуальные на сегодняшний день подходы бережливого производства, ориентированные на постоянное улучшение и рациональное использование ресурсов.

На сегодняшний день руководством Красноярского края принято решение не просто о создании оптимальных условий для работников культуры и модернизации материально-технической базы, но и в целом о проведении культурных преобразований в крае. Министр культуры региона Зинов А.В. пояснил: «Будущее должно начинаться с манифеста, поэтому мы назвали эту инициативу «Край высокой культуры. Версия 2.0». Имея в виду, что в нашей работе нам важно обеспечить преемственность лучших идей наших предшественников» [4].

Таким образом, важным элементом формирования стратегического курса культурной политики Красноярского края является использование накопленного управленческого опыта и успешных практик. Усиление культурного и интеллектуального потенциала региона должно основываться на уже созданной инфраструктуре и учитывать исторические трансформации края. Опыт комплексного планирования и культурных преобразований, накопленный в Красноярском крае, остаётся значимым при разработке современных стратегий развития региона. Преобразование отрасли «культура» под манифестом «Край высокой культуры. Версия 2.0», инициированная руководством края, подчёркивает преемственность лучших идей предшественников и направлена на дальнейшее культурное развитие региона.

Список литературы

1. Федирко, Павел Стефанович. Край моей судьбы: мемуары / П. С. Федирко; [предисл. Павел Федирко], 2016. - 189, [2] с.
2. Федирко, П. С. Красноярская десятилетка: итоги, проблемы, перспективы / П. С. Федирко. - Красноярск: Кн. изд-во, 1982. - 126 с.
3. Сибири - высокую культуру! Движение «Превратим Сибирь в край высокой культуры!» (опыт, проблемы): сборник / отв. за вып. Э. Д. Шилько. - Красноярск: Кн. изд-во, 1986. - 142 с.
4. Культура24. Статья. URL: https://cultura24.ru/articles/19304/?sphrase_id=267005 (дата обр: 20.07.2024).

УДК 332.145

СОЦИОКУЛЬТУРНОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ: ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Т. А. Ситникова¹

Научный руководитель И. С. Багдасарьян¹

Кандидат экономических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Цель любого государства – экономический рост, который является гарантом его успеха в долгосрочной и среднесрочной перспективе, определяет стратегические ориентиры развития. Базовую основу экономического роста обеспечивают значительные инвестиции в новые средства производства, научные, технические, социальные и гуманитарные инновации, в производство знаний и информации, непрерывное образование.

Важным вектором экономического роста страны является развитие её территорий. В настоящее время территория рассматривается не только как пространственная, природно-ресурсная, экономическая и инфраструктурная категория, но и как социальное пространство, обладающее историко-культурным и экологическим компонентами, что определяет качество и уровень жизни населения.

Так, одним из основных факторов экономического роста регионов является их социокультурное развитие. Социокультурное развитие территорий включает в себя создание условий для развития культуры, искусства, науки и образования, а также поддержку творческих индустрий и инновационных проектов. В результате этого происходит увеличение числа высококвалифицированных специалистов в различных отраслях экономики, что способствует росту

производительности труда и увеличению экономического потенциала страны. Социокультурное развитие территории является основой, которая позволяет создавать среду для качественного развития местного сообщества, вовлекая его ресурсы для сохранения и развития культуры, не только в её традиционном понимании, но и культуры места, культуры быта, культуры совместного проживания, культуры событий территории.

Президент Российской Федерации Владимир Путин в своём выступлении на Форуме объединённых культур в 2023 году подчеркнул: «Только культура способна обеспечить безопасность, разумность внедрения инноваций. Она – культура – самый естественный этический регулятор технологического прогресса» [1]. В настоящее время от развивающейся промышленности исходит запрос на инновации, где будут востребованы инженерные решения, вдохновлённые современными культурой, искусством, образами и эстетикой, и от растущей постиндустриальной творческой экономики (дизайн, полиграфия, медиа, образование, IT, исполнительские искусства и т.д.), работающей со сложными человеческими социокультурными запросами [2].

Именно государство как основной субъект социокультурной сферы формирует институциональную среду с помощью механизмов государственной политики и создаёт поступательное движение процесса его устойчивого развития.

В настоящее время эффективное развитие институтов взаимодействия между властью, бизнесом и обществом является одним из ключевых факторов формирования результативной экономической политики, повышения инновационной и инвестиционной активности как на региональном, так и на национальном уровнях. Признанными субъектами социокультурного развития кроме федеральной и региональной власти являются администрации, органы управления культуры муниципальных образований, бюджетные учреждения культуры, благотворительные фонды, спонсоры и крупный бизнес. Однако в настоящее время появляются новые субъекты, такие как университеты, экспертные некоммерческие организации, неформальные объединения, социально ответственный бизнес, девелоперы, коммерческие культурные кварталы, новые культурные институции: частные музеи и галереи, центры городской культуры, культурные деятели, гастрономический сектор.

Таким образом, учитывая появление новых субъектов социокультурного развития территорий, перед системой государственного управления в регионах сегодня стоит задача поиска механизмов консолидации ресурсов государственных, региональных структур и ресурсов новых субъектов для обеспечения устойчивого развития территорий, создания такого социокультурного пространства, которое обеспечивало бы его привлекательность как для самих жителей, проживающих на данной территории, так и для бизнес-субъектов, способных осуществлять инвестиционную и

хозяйственную деятельность [3]. Важным для инновационных преобразований является изменение принципов коммуникации между субъектами культурной политики, преодоление институциональных барьеров и переход к принципам социального партнёрства.

Кроме того, требуется преодоление межведомственной разобщённости и узкоотраслевого подхода, создания механизма межсекторного взаимодействия на основе сотрудничества представителей различных уровней власти, бизнеса и населения в управлении территориями.

Механизмы межведомственного, межсекторного взаимодействия при реализации социокультурного развития территорий могут быть созданы на основе использования таких механизмов координации различных уровней власти, как проектное управление, призванное оптимизировать финансовое и стратегическое управление на государственном уровне, сохраняя при этом централизованный контроль за реализацией культурной политики, учитывая новых акторов социокультурной деятельности, специфику локальной идентичности регионов.

Как один из примеров эффективной технологии взаимодействия субъектов социокультурного развития территории можно считать проект «Культурная столица Красноярья», учредителем которого является министерство культуры Красноярского края, основной целью которого является формирование единого социально-культурного пространства края [4].

В Красноярском крае проект реализуется с 2009 года ежегодно на конкурсной основе среди муниципальных образований региона. Победитель в течение года, следующего за годом проведения конкурса, является местом реализации масштабных социокультурных проектов и событий краевого и муниципального уровней, а также получает возможность реализации мероприятий, способствующих инфраструктурным преобразованиям во всех направлениях. Партнёрами проекта выступают все отрасли социальной сферы (образование, спорт, молодёжная политика, туризм, социальная защита, здравоохранение и т.д.), производственные отрасли, представители малого и среднего предпринимательства, общественные организации, что способствует социокультурному и экономическому развитию территорий.

Реализация проекта осуществляется на основе концепции, которая разрабатывается с учётом исторических, социально-экономических особенностей территории.

Таким образом, проект «Культурная столица Красноярья» может служить примером эффективного подхода к реализации социокультурного развития территории, основанного на стратегическом партнёрстве субъектов социокультурной политики. Данная технология может быть использована органами государственной власти при разработке комплексных программ развития, стратегий и концепций социокультурного развития территорий.

Список литературы

1. Администрация Президента России. [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/72757>.
2. Российские региональные столицы: Развитие, основанное на культуре: сборник статей / под ред. О. Карповой — СПб.: Издательство Европейского университета в Санкт-Петербурге, 2023.
3. Попкова А.А. Социокультурное развитие сельских территорий: ресурсы и инструменты// Известия вузов. Социология. Экономика. Политика. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsiokulturnoe-razvitie-selskih-territoriy-resursy-i-instrumenty> [дата обращения: 20.06.2024].
4. «Культурная столица Красноярья». История. Опыт. Перспективы: сборник материалов краевого проекта, реализуемого министерством культуры Красноярского края в муниципальных образованиях края; Возная А.И., Коренец И.И. – Красноярск, 2023. – 80 с.

УДК 339.5 (470:510)

КИТАЙ КАК РЫНОК ДЛЯ РОССИЙСКОГО ПРОДОВОЛЬСТВИЯ: АНАЛИЗ ДЕСЯТИЛЕТНЕГО ТРЕНДА

Е. С. Ярошенко¹

¹Сибирский федеральный университет

Последние десятилетия стали периодом кардинальной трансформации товарных потоков, обусловленной изменением геополитических условий. Торговые отношения между Россией и Китаем в последние годы демонстрируют устойчивый рост, и все больше страны рассматриваются как стабильные экономические партнеры. Данное исследование ставит задачу проанализировать динамику экспортно-импортных отношений между Россией и Китаем в сфере продовольственных товаров. Проблематика получила освещение в работах ряда отечественных и зарубежных ученых. Так, тему продовольственной торговли между странами рассматривала Хайруллина О.И. [2; 3], торговые отношения с Китаем освещала Александрова М.В. [1], тема возможностей и рисков экспорта продовольствия в Китай рассмотрена в трудах Stephen K. Wegren [4].

В ходе работы был проведен сравнительно-сопоставительный анализ объемов экспорта и импорта продовольственных товаров России и Китая с 2013 по 2023 год. Данный период был выбран, так как в это время Россия столкнулась с двумя волнами санкций 2014 и 2022 годов, а также с пандемией Covid-19. Таким образом, выбранный период способен показать значительные тенденции,

а не единичные колебания. В качестве источника использовалась база данных UN Comtrade (United Nations International Trade Statistics Database), которая предоставляет данные таможенной статистики товарных потоков между странами. Обычно в российских исследованиях используют коды ТН ВЭД. База данных же использует гармонизированную систему описания и кодирования товаров HS. Для исследования были взяты двух и четырехзначные коды по группам продовольственных товаров. Все денежные показатели представлены в долларах США.

При анализе суммарных объемов экспорта и импорта стран на мировом продовольственном рынке за период наблюдается устойчивый тренд увеличения экспорта продовольственных товаров из России. Общий объем увеличился с 15,48 млрд долларов в 2013 году до 32,06 млрд долл. в 2021, рост составил 107%. Падение наблюдалось в 2015 году с 18,14 до 13,38 млрд долл, после чего последовал устойчивый рост. Это можно объяснить нарушением привычных торговых цепочек в 2014 и последующая переориентация на другие рынки. Также за период импорт снизился с 41,42 до 29,27 млрд долларов.

Сумма экспорта продовольственных товаров из России в Китай за период с 2013 по 2023 год выросла в 4,5 раза с 1,93 до 8,78 млрд долларов. Таким образом, общий рост экспорта из России на 43% приходится на китайское направление. Примечательно, что в 2022-2023 гг. экспорт РФ в Китай показал самый заметный рост, несмотря на снижение мирового импорта Китая. Импорт же из Китая в РФ показал незначительное снижение и составил 1,92 млрд долл. в 2023 году при 1,97 млрд в 2013.

Рассмотрим отдельные группы продовольственных товаров. В 2023 году наибольший процент продовольственного экспорта России в Китай приходился на рыбу и морепродукты (код 03 HS), он составлял 2,89 млрд долларов с более, чем двукратным ростом за период (1,36 млрд в 2013 г.). На втором месте растительные масла и животные жиры (код 15 HS), по данной категории экспорт вырос в 345 раз с 7,5 млн до 2,59 млрд долл. за период. Далее идут масличные культуры с ростом в 47 раз с 27,6 млн до 1,3 млрд долл. за период. Также значительный рост показали различные зерновые, овощные и другие заготовки, что говорит о торговле не только сырьевым, но и обработанным продуктом. Категория мясо в 2013 году демонстрировала нулевой экспорт с 2013 по 2017, а в 2023 году составляла уже 580,8 млн долларов. Снижение объема экспорта произошло только по одной категории – посадочный материал (сокращение с 6,5 млн долл. до 0). Касательно импорта из Китая хочется отметить просадку в 2020 году по некоторым категориям, например, овощи и фрукты, но в целом почти по всем товарам линия тренда почти горизонтальна.

Далее было проведено сравнение долей российского продовольственного экспорта в общем китайском импорте. В целом, на Россию приходится лишь 3,99% импорта Китая за 2023 год. Наибольшую долю в конце периода в

китайском импорте занимают категории «отруби» (91,72%), «гречневая крупа» (88,23%), «масличные семена; льняное семя» (67,28%), «рапсовое и горчичное масло» (55,87%) и «семена подсолнечника» (51,95%). По категориям рыба и морепродукты, растительные масла и животные жиры, которые занимают больше половины объема российского экспорта, также можно выделить позицию «замороженная рыба», занимающую 32,85% на 2023 г.

Проведенный анализ выявил несколько тенденций в российско-китайских продовольственных отношениях за период. Во-первых, объем российского экспорта стабильно растет, и 43% прироста приходится на Китай. Во-вторых, проявляется определенная специализация на таких группах, как рыба и морепродукты, а также масла, жиры и масличные культуры. При этом появляются новые экспортные позиции (мясная продукция) и развивается экспорт продукции обработанной, не только сырьевой. В-третьих, хотя доля российского экспорта остается небольшой (3,99% на 2023 год), появляются отдельные позиции с доминирующей долей в китайском импорте (более 50% по пяти категориям четырехзначных кодов). В качестве рисков можно отметить возможную зависимость от китайского импорта в дальнейшем. Также существует риск сырьевой специализации. Торговля обработанной продукцией развивается, но ее доля в общем экспорте остается низкой, что ограничивает добавленную стоимость, остающуюся внутри страны.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (шифр научной темы FSRZ-2024-0003).

Список литературы

1. Александрова М. В. Продовольственная безопасность КНР и экспорт сельхозпродукции РФ на китайский рынок // Проблемы Дальнего Востока. 2017. № 6. С. 27-38.

2. Мазлоев В.З., Хайруллина О. И. Аграрный экспорт России и Китая: аспекты взаимной торговли и регулирования // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2021. № 1. С. 8-15.

3. Хайруллина О. И. Анализ продовольственной торговли между Россией и Китаем // Экономика АПК Предуралья: сб. науч. тр. по материалам Краевой науч.-практ. конф., Пермь, 25 апр. 2023 г. Пермь: ИПЦ "Прокрость", 2023. С. 73-76.

Asia Policy. 2022. Vol. 29. P. 107-131.

URL: <https://comtrade.stat.org/> (дата обращения: 12.03.2023)

Фундаментальная и прикладная физика

УДК 535

ДИНАМИЧЕСКАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ СВЕТОМ С ПОМОЩЬЮ ХИРАЛЬНОЙ МЕТАПОВЕРХНОСТИ, ВСТРОЕННОЙ В СТРУКТУРУ С ТАММОВСКИМ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОМ

Д. А. Пыхтин¹

Научный руководитель Р. Г. Бикбаев^{1,2}
Кандидат физико-математических наук

¹*Институт Физики СО РАН*

²*Сибирский федеральный университет*

Метаповерхности — это субволновые структуры с уникальными оптическими свойствами, обусловленными формой и материалом образующих её элементов. За последние годы на основе метаповерхностей были разработаны голограммы [1], линзы [2] и лазеры [3]. При этом огромный интерес вызывают метаповерхности, позволяющие осуществлять активную перестройку фазы и амплитуды отраженной или прошедшей волны. Существует несколько наиболее распространенных подходов для реализации этого:

- резонансный подход может быть основан, например, на возбуждении щелевого плазмона в структурах металл-диэлектрик-металл или возбуждении электрических и магнитных мод в высококонтрастных наночастицах;
- основная идея динамического (нерезонансного) метода заключается в создании метаповерхности с использованием диэлектрических метаатомов;
- метаповерхности позволяют реализовать фазу Панчаратнама-Берри [4], также известную как топологическая фаза. Эта фаза вызвана асимметрией формы и расположения мета-атомов.

В данной работе продемонстрирована возможность управления интенсивностями дифракционных максимумов для света с круговой поляризацией, отраженной от метаповерхности Панчаратнама–Берри на основе антимонита (Sb_2S_3), сопряженной со структурой металл-фотонный кристалл, в которой возбуждается таммовский плазмон-поляритон [5].

На рисунке (а) представлено схематическое изображение исследуемой структуры. Метаповерхность из Sb_2S_3 нанокирпичей расположена на золотой пленке, сопряженной с одномерным фотонным кристаллом. Суперъчейка метаповерхности состоит из 4 нанокирпичей, повернутых друг относительно друга на 30 градусов. Высота нанокирпича $h = 200$ нм, ширина $w = 200$ нм, длина $l = 400$ нм. Толщина пленки золота равна 35 нм. Фотонный кристалл состоит из чередующихся слоев диоксида титана (TiO_2) и диоксида кремния (SiO_2).

Количество слоев фотонного кристалла $N = 21$. Толщина каждого слоя диоксида кремния равна 269 нм, а диоксида титана – 158 нм.

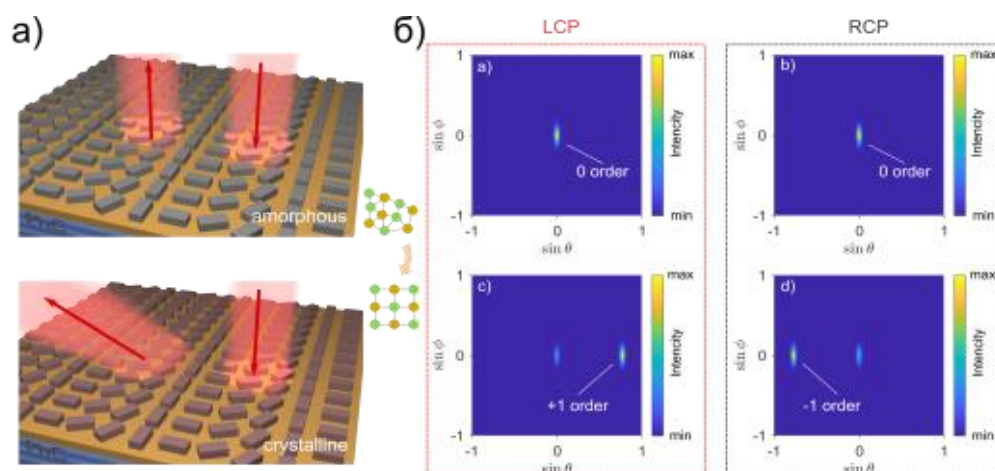


Рисунок. (а) Схематическое изображение исследуемой структуры. (б) Пространственное распределение интенсивности света в дальнем поле для света с левой круговой поляризацией (а,в) или с правой круговой поляризацией (б,г), в аморфной (а,б) или кристаллической (в,г) фазе Sb_2S_3 .

Из рисунка (б) видно, что переключение Sb_2S_3 из аморфной фазы в кристаллическую приводит к существенному изменению дифракционной картины. Для света с правой круговой поляризацией максимальна интенсивность +1 порядка дифракции, а для света с левой круговой поляризацией – интенсивность –1 порядка. Таким образом, изменяя поляризацию падающего поля, можно управлять интенсивностями ± 1 порядка дифракции.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24–12–00236 (2024–26 гг.).

Список литературы

1. L. Huang, S. Zhang, T. Zentgraf. Metasurface holography: from fundamentals to applications // *Nanophotonics*. 2018. Vol. 7. P. 1169–1190.
2. M. Bosch, M. R. Shcherbakov, K. Won, H.-S. Lee, Y. Kim, G. Shvets. Electrically actuated varifocal lens based on liquid-crystal-embedded dielectric metasurfaces // *Nano Letters*. 2021. Vol. 21. P. 3849–3856.
3. H. Sroor, Y.-W. Huang, B. Sephton, D. Naidoo, A. Vall'és, V. Ginis, C.-W. Qiu, A. Ambrosio, F. Capasso, A. Forbes. High-purity orbital angular momentum states from a visible metasurface laser // *Nature Photonics*. 2020. Vol. 14. P. 498–503.
4. J. Anandan, J. Christian, K. Wanelik. Resource letter gpp-1: Geometric phases in physics // *American Journal of Physics*. 1997. Vol. 65. P. 180–185.
5. M. Kaliteevski, I. Iorsh, S. Brand, R. A. Abram, J. M. Chamberlain, A. V. Kavokin, I. A. Shelykh. Tamm plasmon-polaritons: Possible electromagnetic states at the interface of a metal and a dielectric bragg mirror // *Physical Review B*.

2007. Vol. 76. P. 1996–1998.

УДК 537.635:538.971

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРФЕЙСА НА МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЕНКАХ СИСТЕМЫ Fe-Bi

В. Р. Чуркин¹

Научный руководитель Г. С. Патрин¹

Доктор физико-математических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Магнитные наноразмерные слоистые структуры с полуметаллической прослойкой являются слабо изученными объектами, и представляют значительный интерес для физики конденсированного состояния. Большая часть исследований посвящена изучению Bi-содержащих полупроводниковых сплавов в качестве материала для инфракрасных приемников [1] или многослойных пленок 3d-металл–висмут [2] для микроэлектромеханических (MEMS) устройств. В этом направлении продолжают работы, как в плане разработки технологии, так и в плане изучения фундаментальных свойств, в частности, влияние интерфейса на магнитные и транспортные свойства.

Роль интерфейсов между различными материалами при формировании магнитной структуры многослойных структур имеет важное значение, как для магнитных сенсорных элементов, так и для устройств спин-зависимого транспорта. Настоящая работа посвящена исследованию магнитных свойств двухслойных пленок в системе Fe–Bi при изменении интерфейса в зависимости от очередности нанесения магнитного и немагнитного слоев.

В ряду полупроводниковых и полуметаллических элементов висмут выделяется тем, что он практически не образует химических соединений с 3d-металлами [3]. Пленки Fe/Bi, Bi/Fe и Fe были получены методом термического испарения. Для всех пленок толщина магнитного слоя составляла $t_{\text{Fe}} \approx 10$ нм, а толщины висмута были $t_{\text{Bi}} = 15$ нм. Никаких следов наличия соединений 3d-металл-висмут или окислов не обнаружено. Высота шероховатости поверхности висмутового слоя не превышает 2.5 нм.

Ранее было обнаружено [4], что магнитные свойства двухслойных пленок в системе Fe–Bi сильно зависят от очередности нанесения слоев на подложку, что

проявлялось как изменение петель намагничивания в зависимости от очередности слоев.

Установлено, что напыление слоя из висмута по-разному изменяет спектр магнитного резонанса в зависимости от очередности напыления магнитного и немагнитного слоев.

Получено, что в плоскости пленки наблюдается одноосная анизотропия с направлением легкой оси вдоль магнитного поля, приложенного при напылении. При комнатной температуре величина поля анизотропии для всех пленок примерно одинаковая и не превышает ~ 40 Э.

На рисунке 1 приведены угловые и температурные зависимости параметров магнитного резонанса полученных пленок.

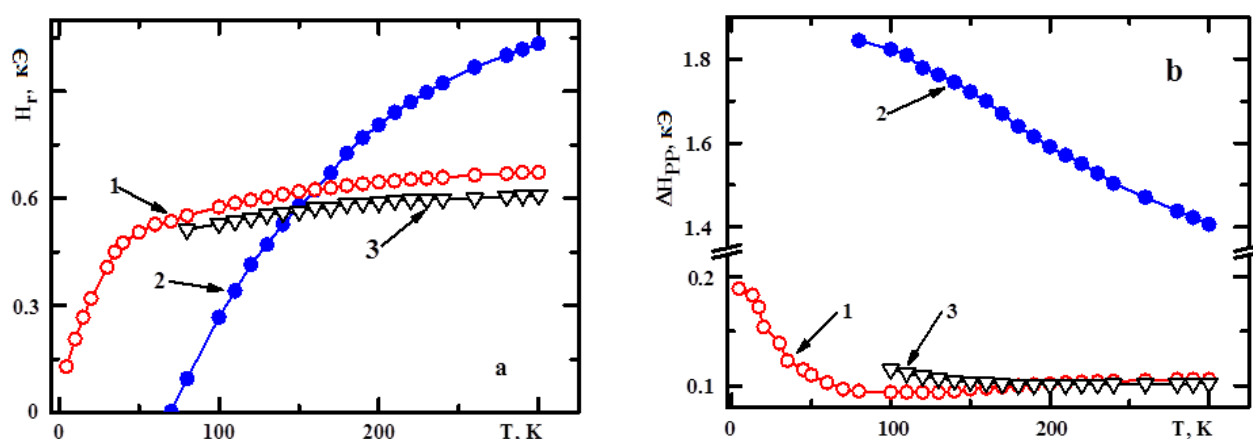


Рисунок 1. Температурные зависимости: (а) резонансного поля, (б) ширины линии. 1, 2, 3 – пленки Fe/Bi, Bi/Fe, Fe, соответственно.

Разное поведение пленок можно объяснить реконструкцией железа на интерфейсе. Здесь уместно вспомнить, что температура плавления железа равна ~ 1812 К, а температура плавления висмута всего ~ 545 К. В случае Fe/Bi граница на интерфейсе достаточно резкая, а в случае Bi/Fe образуется дополнительная подсистема сильно анизотропных гранул железа, которая связана обменным взаимодействием со слоем сплошного железа. Именно эта подсистема гранулярного железа наводит сильную плоскостную анизотропию.

Экспериментально определить распределение гранул по объему и размерам не представилось возможным, поскольку при проведении электронно-микроскопических исследований под воздействием электронного луча происходит плавление висмута и перемешивание материалов.

В соответствии с общим подходом [5] была получена частотно-полевая зависимость, по которой проводились расчеты полей анизотропии. Установлено, что наличие гранулярного подслоя практически не влияет на внутри плоскостную анизотропию при высоких температурах, т.е. локальные оси

квантования гранул в плоскости пленки равновероятно распределены по всем направлениям.

На рисунке 2 приведены рассчитанные зависимости поля перпендикулярной анизотропии для пленок Fe/Bi (кривая 1) и Bi/Fe (кривая 2).

Получено, что для пленки чистого железа наблюдается небольшое поле перпендикулярной анизотропии (~ 3 кЭ) при температурах $T > 80$ К. Для висмут-содержащих пленок в области примерно $T \sim 200$ К происходит изменение знака поля перпендикулярной анизотропии, и её величина соответствует величине поля для пленки чистого железа, что более чем на два порядка меньше плоскостной анизотропии. Т.е. независимо от композиции висмут-содержащие пленки при температурах $T > 200$ К имеют такую же перпендикулярную анизотропию, как и у сплошного железного слоя, при $T < 200$ К – анизотропию типа легкая плоскость.

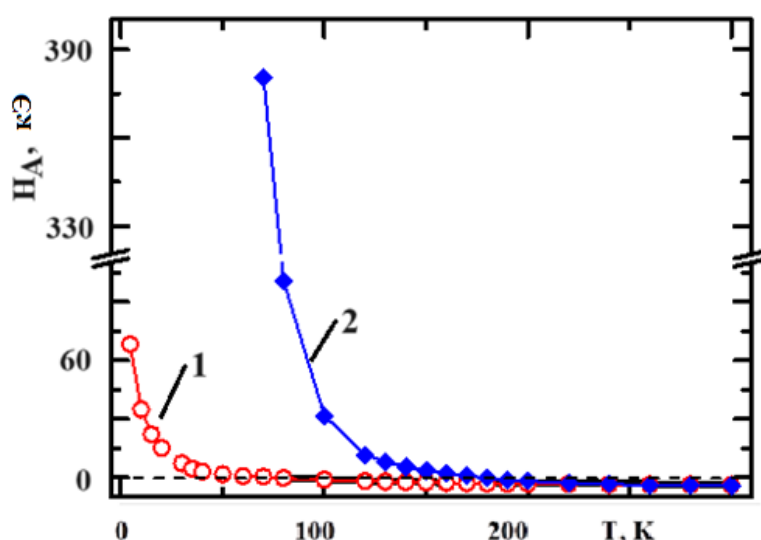


Рисунок 2. Температурные зависимости рассчитанных полей перпендикулярной анизотропии: 1 – Fe/Bi, 2 – Bi/Fe.

Таким образом, в зависимости от очередности напыления магнитного и немагнитного слоев на технологической стадии образуются различные интерфейсы, отличающиеся тем, что магнитные свойства полученных структур зависят от сформированной структуры гранулярного железа внутри висмутового слоя. Гранулы обладают сильной магнитной анизотропией, что в силу обменной связи между сплошным слоем и гранулярной подсистемой определяет динамику магнитной системы.

Список литературы

1. Sweeney S.J. et al. Bismide-based photonic devices for near- and mid-infrared applications // Bismuth-Containing Compounds. 2013. P. 29-53.

2. Hozumi T. et al. Magnetic and structural properties of MnBi multilayered thin films // Journal of Applied Physics. 2014. Vol. 115. №. 17. P. 17A737.
3. Денисов В.М. и др. Висмутсодержащие материалы: строение и физико-химические свойства // Екатеринбург: УрО РАН. 2000. Т. 526. С. 2.
4. Патрин Г.С. и др. Влияние интерфейса на магнитное состояние в двухслойных пленках системы Fe-Bi // Письма в Журнал технической физики. – 2019. Т. 45. №. 10. С. 34-37.
5. Farle M. Ferromagnetic resonance of ultrathin metallic layers // Reports on progress in physics. 1998. Vol. 61. №. 7. P. 755.

УДК 530.145.1:530.145.86

ДИНАМИКА КВАНТОВОГО НЕЛИНЕЙНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА В ПРИСУТСТВИИ ПРОЦЕССОВ РЕЛАКСАЦИИ

Д. Р. Шаров¹

Научный руководитель А. Р. Коловский^{1,2}
доктор физико-математических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Исследование динамики квантового нелинейного осциллятора играет важную роль в понимании процессов, происходящих в мезоскопических и наноструктурах. В данной работе рассматривается динамика осциллятора в присутствии процессов релаксации и внешней накачки. Для численного моделирования применяется метод Рунге—Кутты 4-го порядка.

В качестве основного инструмента анализа исследуется динамика населенностей уровней квантового осциллятора, а также используется подход функции Хусими, которая позволяет связать классическое и квантовое описания [1]. Представлены графики населённости уровней в зависимости от времени при различных значениях коэффициента релаксации γ . Такой подход позволяет изучить влияние диссипации на эволюцию системы и выявить особенности поведения осциллятора в различных режимах.

$$t = 0.1676, \text{index} = 5.0, \hbar = 0.25, \epsilon = 0.0, \gamma = 0.0$$

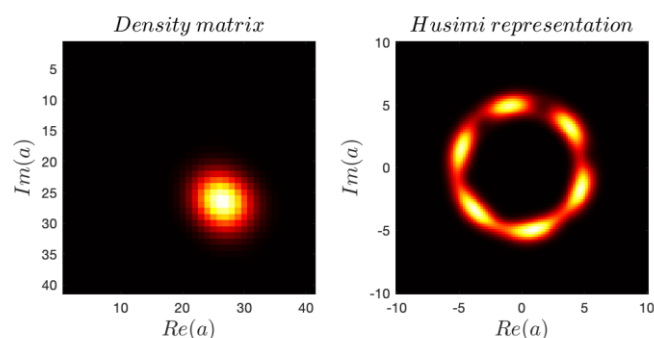


Рисунок 1. Справа представлена матрица плотности нелинейного осциллятора в базисе полиномов Эрмита, что позволяет наглядно проанализировать квантовое состояние системы и его эволюцию. Слева изображена функция Хусими, которая даёт возможность исследовать распределение вероятности в фазовом пространстве.

Представление Хусими позволяет выделить области локализации квантового состояния и проанализировать влияние диссипации на его когерентные свойства.

Полученные результаты уточняют механизмы динамики квантовых осцилляторов с учётом релаксационных процессов, что может найти применение при анализе когерентных эффектов в наноструктурах и квантовых вычислениях [2,3].

Список литературы

1. Takahashi K. Wigner and Husimi functions in quantum mechanics //Journal of the Physical Society of Japan. – 1986. – Т. 55. – №. 3. – С. 762-779.
2. Calixto M., Peón-Nieto C. Husimi function and phase-space analysis of bilayer quantum Hall systems at $\nu = 2/\lambda$ //Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment. – 2018. – Т. 2018. – №. 5. – С. 053112.
3. Terraneo M., Georgeot B., Shepelyansky D. L. Quantum computation and analysis of Wigner and Husimi functions: Toward a quantum image treatment //Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics. – 2005. – Т. 71. – №. 6. – С. 066215.

УДК 538.955, 535.8, 533.583.2

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И МОРФОЛОГИЮ НАНОЧАСТИЦ Co@C

А. Е. Аншакова¹

Научный руководитель И. С. Эдельман^{1,2}

доктор физико-математических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Металлические наночастицы (НЧ) кобальта нашли применение во множестве научно-технических областей, таких как гетерогенный катализ, накопление электроэнергии, поглощение электромагнитного излучения, медицина [1] и др. Поскольку НЧ кобальта очень активны в различных каталитических реакциях, существует проблема защиты частиц кобальта от растворения при прохождении реакций в различных средах. Покрытие НЧ Со оболочкой углерода является эффективным методом предотвращения их агрегации и выщелачивания. Функциональные свойства НЧ кобальта зависят от множества взаимосвязанных факторов, таких как размер, форма, кристаллическая и магнитная структуры, влияние оболочки. Поэтому, исследование закономерностей формирования свойств НЧ от условий синтеза является важной задачей.

Целью настоящей работы является проведение исследований и анализ структурных свойств НЧ Со, покрытых оболочкой углерода, Co@C, которые были синтезированы реакцией следующих компонент: диметил-ацетамида ($\text{CH}_3\text{CON}(\text{CH}_3)_2$), полиакрилонитрила PAN ($-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CN})-$)_n и ацетата кобальта $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ с последующей сушкой при температуре 250 °С в течении 30 мин. Синтезированные НЧ (прекурсоры) были подвергнуты дополнительной термической обработке при 500, 800 и 1000 °С, в течении одного часа в атмосфере аргона.

Кристаллическая структура НЧ определялась с помощью порошковой рентгеновской дифракции на дифрактометре XRD 6000, Shimadzu (CuK α -излучение с длиной волны 1.54056 Å. Морфология НЧ была изучена с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) при помощи микроскопа Philips CM12, с ускоряющим напряжением 120 kV. Для обнаружения ковалентных химических связей «углерод-углерод» была использована рамановская спектроскопия (спектрометр SPEX Ramalog, возбуждение на $\lambda = 488 \text{ nm}$ при интенсивности $\sim 5 \text{ W/cm}^2$).

На рис. 1 приведены XRD данные образцов НЧ. Положения и интенсивность рефлексов прекурсора и образцов, обработанных до 500 °С, соответствуют фазе Co_3O_4 . По мере увеличения температуры отжига в атмосфере аргона происходит формирование металлического кобальта, улучшается степень кристалличности и растет размер НЧ. Рефлексы соответствуют α -модификации Co , имеющей гексагональную плотноупакованную решетку с дифракционными максимумами при 2θ , равных 44.2° , 51.5° и 75.9° , что соответствует отражению от плоскостей (111), (200) и (220), соответственно.

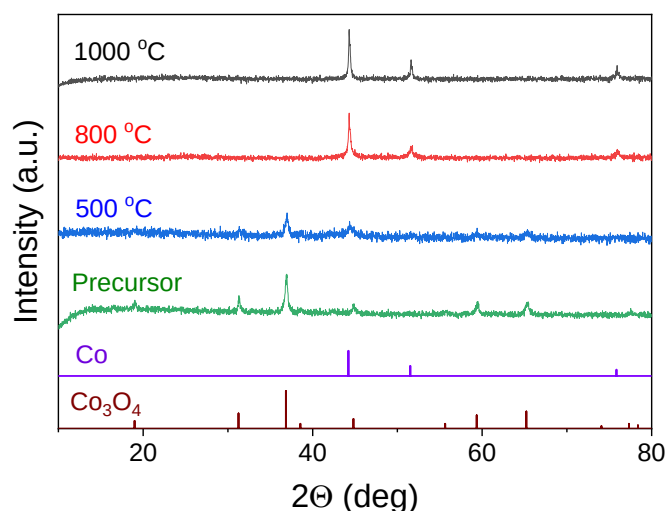
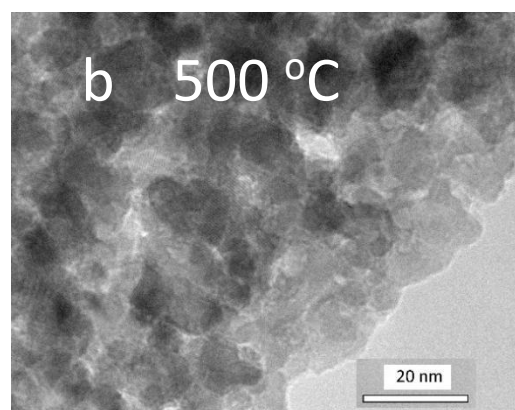
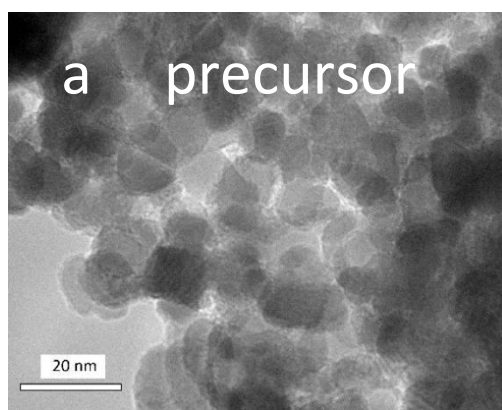


Рисунок 1. XRD данные образцов, снизу приведены рефлексы Co и Co_3O_4



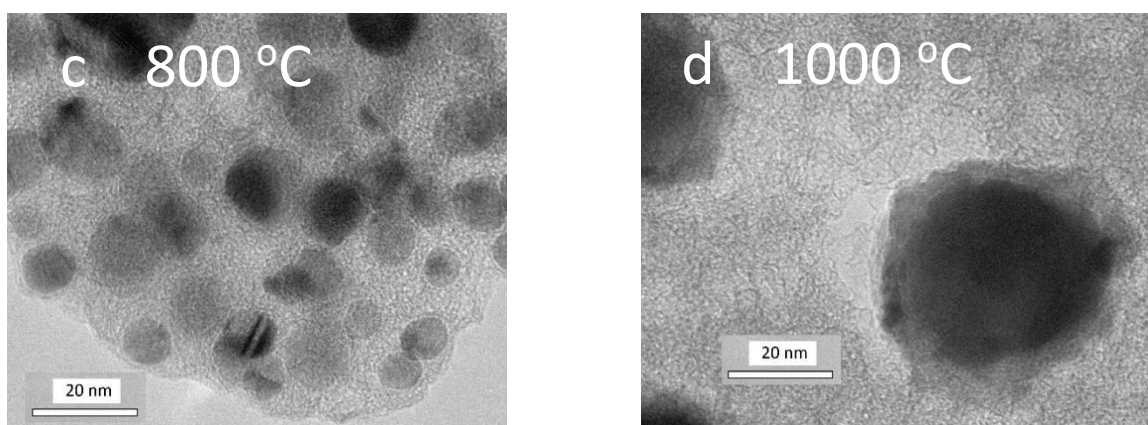


Рисунок 2. ПЭМ фото образцов, температуры отжига показаны на рисунках

На рис. 2 приведены ПЭМ фото НЧ всех образцов. НЧ прекурсора представляют из себя близкие по форме и размерам частицы, в диапазоне 10-15 нм. Отжиг при 500 °С способствует образованию частиц с более широким разбросом по размерам неопределённой формы, что соответствует уширенным пикам и большому шуму в спектре XRD этого образца. При отжиге 800 и 1000 °С образуются значительно более крупные частицы с заметной углеродной оболочкой. Наличие углерода подтверждается линиями в рамановских спектрах (рис.3), соответствующими колебаниям углерод-углеродных sp^2 -связей. Две очень широкие перекрывающиеся полосы с максимумами в области 1540–1560 и 1340–1370 cm^{-1} — так называемые полосы G и D соответствуют аналогичным, но более узким полосам G и D в спектре нанокристаллического графита [2]. Как правило, неоднородное уширение полос G и D связывается с распределением sp^2 -кластеров по размерам и изменяющимся взаимодействием с металлом. Перераспределение интенсивностей этих полос свидетельствует о влиянии температуры отжига и на эти параметры.

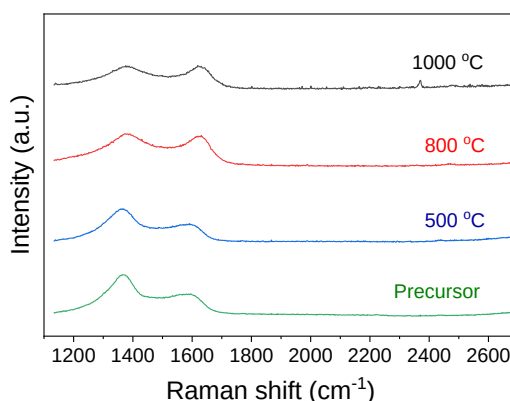


Рисунок 3. Спектры эффекта Рамана

Таким образом, температура дополнительного отжига прекурсора определяет кристаллическую фазу и морфологию НЧ Co@C, что в свою очередь

определяет магнитные и другие свойства образовавшихся частиц. Отжиг при высоких температурах в атмосфере аргона приводит формированию НЧ металлического кобальта в углеродной оболочке.

Список литературы

1. I. V. Yakovlev, S. S. Yakushkin, M. A. Kazakova, S. N. Trukhan, Z. N. Volkova, A. P. Gerashchenko, A. S. Andreev, A. V. Ishchenko, O. N. Martyanov, O.B. Lapina, Jean-Baptiste d'Espinose de Lacaillerie, Superparamagnetic behaviour of metallic

Co nanoparticles according to variable temperature magnetic resonance, Phys. Chem. Chem. Phys., 2021, 23, 2723-2730.

2. Э. А. Сморгонская, Т. К. Звонарева, Е. И. Иванова, И. И. Новак, В.И. Иванов-Омский, Однофононные рамановские спектры углерода в композитных пленках, полученных модифицированием аморфного гидрированного углерода медью и кобальтом, Физика твердого тела, 2003, том 45, вып. 9, с.1579-1589.

УДК 543.42

СХЕМА АНАЛИЗА НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ ПУТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И УСИЛЕНИЯ $K\alpha$ -ЭМИССИИ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ

С. Н. Блинов¹, В. В. Кимберг¹, П. О. Краснов¹, Ф. Х. Гельмуханов¹Научный руководитель С. П. Полютов¹

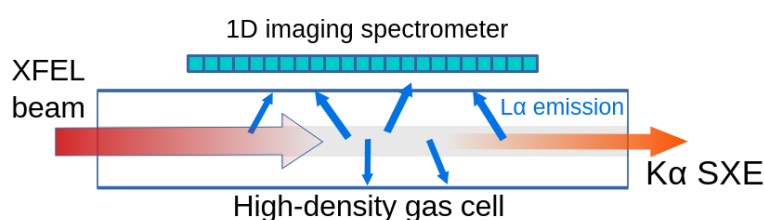
Кандидат физико-математических наук, директор

¹Сибирский федеральный университет

Появление рентгеновских лазеров на свободных электронах (XFEL) с ультракороткими импульсами [1], а также нового поколения спектральной аппаратуры сверхвысокого разрешения резко расширило возможности рентгеновской спектроскопии. Новые технологии позволяют исследовать сверхбыстрые физико-химические процессы в молекулах и жидкостях в фемто- и аттосекундных масштабах времени [2]. Короткие и высокоинтенсивные импульсы XFEL открывают перспективы изучения различных нелинейных явлений в рентгеновском диапазоне, например, таких как генерация когерентного рентгеновского излучения [3, 4].

В данной работе предложена новая схема анализа нелинейных эффектов в рентгеновском диапазоне (рисунок а) путем наблюдения динамики распространения и усиления $K\alpha$ -эмиссии в газовых средах с помощью одномерной (1D) визуализации в поперечном направлении.

(а)



(б)

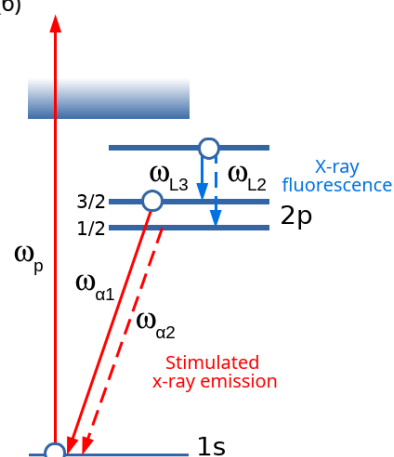


Рисунок. Иллюстрация схемы 1D-визуализации нелинейного распространения рентгеновских лучей (а); схематичное изображение одноэлектронных переходов (б) для предлагаемой схемы 1D-визуализации

В представленной нами схеме глубокая 1s-орбиталь атома или молекулы ионизируется сильным коротким рентгеновским импульсом XFEL, что вызывает К α -эмиссию за счет перехода электрона со спин-орбитально (SO) расщепленной 2p-оболочки. При распространении вдоль газовой ячейки в благоприятных условиях может быть вызвано стимулированное рентгеновское излучение К α -дублета. При этом относительная населенность конечных состояний 2p_{1/2} и 2p_{3/2} будет зависеть от эффектов генерации когерентного рентгеновского излучения и длины распространения. В частности, поскольку спонтанная эмиссия линии $\omega_{\alpha 1}$ вдвое сильнее линии $\omega_{\alpha 2}$ (рисунок б), в условиях стимулированного излучения первая линия будет доминировать, в то время как последняя будет подавлена. Данное явление, в свою очередь, оказывает значительное влияние на процесс L α -флуоресценции, который следует за К α -распадом. Действительно, подавление линии $\omega_{\alpha 2}$ приводит к доминированию дырки в состоянии 2p_{3/2} и, таким образом, значительному усилению линии ω_{L3} по сравнению с линией ω_{L2} , как это схематично показано на рисунке б. В нашем подходе мы предлагаем регистрацию L α -флуоресценции вдоль газовой ячейки, что позволит отслеживать эффекты нелинейного распространения К α -стимулированной эмиссии.

Данная схема предлагает новый альтернативный подход к регистрации нелинейных эффектов в рентгеновском диапазоне и может найти применение в различных системах с SO-расщеплением, особенно там, где прямое наблюдение нелинейных явлений затруднено.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSRZ-2023-0006).

Список литературы

1. Tunable isolated attosecond X-ray pulses with gigawatt peak power from a free-electron laser / J. Duris [et al.] // Nature Photonics. 2020. Vol. 14. P. 30–36.
2. Roadmap of ultrafast x-ray atomic and molecular physics / L. Young [et al.] // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. 2018. Vol. 51. P. 032003.
3. Atomic inner-shell X-ray laser at 1.46 nanometres pumped by an X-ray free-electron laser / N. Rohringer [et al.] // Nature. 2012. Vol. 481. P. 488–491.
4. Stimulated X-Ray Emission Spectroscopy in Transition Metal Complexes / T. Kroll [et al.] // Physical Review Letters. 2018. Vol. 120. P. 133203.

УДК 530.12

ПУЗЫРЬ АЛЬКУБЬЕРРЕ В РАДАРНОМ СОГЛАШЕНИИ**К. В. Герасимов¹**Научный руководитель С. Ф. Тегай¹

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

В 1994 году Алькубьерре [1] предложил гипотетический метод сверхсветового путешествия в глобально гиперболическом пространстве-времени. По его мнению, движение быстрее света получалось путём искривления пространства-времени, хоть путешественники и оставались внутри своего светового конуса. Вот уже на протяжении тридцати лет обсуждаются различных аспекты этой темы. Во множестве статей указывались её слабые стороны и проблемы, а в других предлагались их решения, пути усовершенствования изначальной концепции и предложения альтернативных вариантов. Наиболее полный обзор по большинству имеющегося материала по варп-двигателю на данный момент представлен в статьях Сантьяго [2] и Гуца [3]. В данной работе мы пересматриваем эту концепцию с точки зрения радарных координат. Метрика Алькубьерре [1] для корабля, движущегося вдоль оси z , задаётся формулой:

$$ds^2 = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + (dz - v(t)f(x, y, z - z_0(t))dt)^2,$$

где: $v = dz_0 / dt$ и $z = z_0(t)$ определяют местоположение корабля. Функция f описывает характеристики пузыря и убывает от единицы до нуля при удалении от его центра. Помимо прочего это позволяет собственному времени корабля соответствовать координатному времени. Предположим, что корабль движется из A в B , как показано на Рис. Двигатель включается в точке старта O и выключается в точке L с временной координатой t_{off} . Увеличение координатной скорости v приводит к уменьшению времени путешествия, делая его сколь угодно малым. При этом в метрике Алькубьерре также искривляются и световые конусы, которые задаются уравнением,

$$dz = (\pm 1 + v(t)f(0, 0, z - z_0(t)))dt,$$

которое следует из $ds=0$. Несколько численно посчитанных траекторий этого уравнения вместе с мировыми линиями корабля и пункта назначения представлены на Рис.

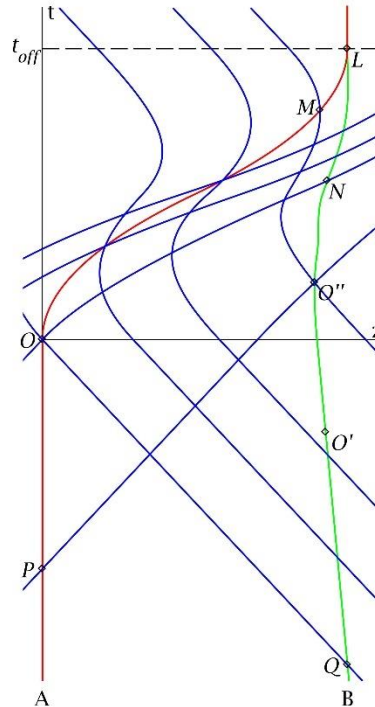


Рисунок. Схема полёта корабля в пространстве Алькубьерре. Мировая линия корабля обозначена красным, пункт назначения обозначен зелёным, а линии светоподобных геодезических обозначены синим

Здесь видно, что свет, испущенный из O , прибывает в L раньше корабля. В таком случае можно ли говорить о сверхсветовом перемещении, и как тогда варп-двигатель преодолевает столь большие расстояния за очень короткое время? Рассмотрим измерение расстояния до корабля наблюдателем B . По методу радарного соглашения он посылает туда световой сигнал, который по прибытию отражается и возвращается обратно. Тогда половина времени, прошедшего между испусканием и возвращением света в исходный пункт по часам наблюдателя, является искомой длиной пути, а событие O' , находящееся во времени посередине между отправкой и принятием отражённого сигнала, является одновременным с точкой старта. Этот способ измерения расстояний и определения одновременности событий был предложен Эйнштейном в специальной теории относительности.

Чтобы определить среднюю скорость за всё путешествие, наблюдатель B отправляет сигнал из Q таким образом, что он достигает корабль в момент его отлёта O , как показано на Рис. 1. Обратный сигнал наблюдатель принимает в точке N . Радарное расстояние между A и B с точки зрения наблюдателя

в пункте прибытия равно собственному времени $\tau_{O'N}$, прошедшему от события O' до события N . Полное время, измеренное наблюдателем B , равно его собственному времени $\tau_{O'L}$, прошедшим между событиями O' и L . Его нельзя сделать сколь угодно малым, изменяя параметры двигателя. Средняя скорость задаётся отношением $\tau_{O'N}/\tau_{O'L}$. Это отношение меньше единицы, поскольку N находится в прошлом от L . С неограниченным увеличением координатной скорости v события L и N также неограниченно сближаются, и отношение стремится к единице снизу.

Пассажиры в пузыре могут определить свою среднюю скорость тем же способом. Для измерения расстояния отправляется световой сигнал в сторону пункта назначения в момент P до начала путешествия, свет отражается от B в точке O'' и возвращается к кораблю в M , как показано на Рис. Наблюдатель на корабле принимает O'' за одновременную с O при совпадении собственного времени τ_{PO} между событиями P и O и собственного времени τ_{OM} между событиями O и M . Поскольку собственное время корабля в пузыре совпадает с координатным t , то измеряемое расстояние равно координате t_M в точке M , а средняя скорость t_M/t_{off} . Это отношение также меньше единицы несмотря на то, что t_{off} можно сделать сколь угодно малым. Таким образом можно сказать, что уменьшение собственного времени путешествия корабля происходит за счёт релятивистского замедления времени, однако Лоренцевское сокращение расстояния препятствует преодолению скорости света.

Мы приходим к выводу, что наблюдатели, полагающиеся на обмен световыми сигналами для измерения расстояния и синхронизации часов, не видят перемещения быстрее скорости света методом пузыря Алькубьерре.

Список литературы

1. Alcubierre M. The warp drive: hyper-fast travel within general relativity // Classical and Quantum Gravity. 1994. Vol. 11. №. 5. P. L73–L77.
2. Santiago J., Schuster S., Visser M. Generic warp drives violate the null energy condition // Physical Review D. 2022. Vol. 105. №. 6. P. 064038.
3. Гуц А. К. Варп-двигатель и общая теория относительности. Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2024. № 3–4. С. 20—52.

УДК 531.751.3

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА ПРИ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИИ

И. Ю. Дюков¹, А. А. Бурнашов¹

Научный руководитель А. П. Коханенко¹

Доктор физико-математических наук, профессор

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

Технологический прогресс требует высокой эффективности электронных и оптоэлектронных компонентов. Полупроводниковые наноструктуры – одно из перспективных решений этой задачи, которые открывают новые возможности для развития. Особенно важно в этой области качество границ между разными материалами (гетерограниц) и минимальное количество дефектов в наноструктурах, так как именно эти факторы влияют на их электрические и физические свойства. Поэтому важно обеспечить наилучший уровень вакуум, точный контроль температуры и скорости роста материалов при создании наносистем. Методом молекулярно-лучевой эпитаксии можно синтезировать наноструктуры с заданными характеристиками и минимальным количеством дефектов. Для измерения скорости роста тонких слоев при низких температурах часто используют метод дифракции быстрых отраженных электронов (ДБОЭ) по колебаниям интенсивности [1]. Однако, когда ДБОЭ нельзя применить (например, при высоких температурах), используют кварцевый измеритель толщины (КИТ). Чтобы корректно измерить плотность потока атомов (скорость осаждения) с помощью КИТ, важно учитывать факторы, которые вносят погрешность в измерения. Исходя из этого целью работы является измерение скорости осаждения Si с помощью кварцевого измерителя толщины, с учетом факторов, влияющих на показания кварцевого резонатора.

Эксперименты проводили на установке молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) «Катунь 100» в сверхвысоком вакууме [2]. Принцип работы КИТ основывается на том, что частота колебаний кварцевого резонатора уменьшается, если его масса увеличивается [3]. Плотность потока атомов определяется, по тангенсу угла наклона прямой на графике зависимости частоты от времени. Выяснилось, что температура охлаждения КИТ, излучение от источника материала и от нагревателя подложки изменяют частоту резонатора, что сказывается на точности измерения скорости роста. Определена погрешность измерения частоты резонатора при температурах от 12 °С до 35 °С. Также изучено влияние излучения от нагревателя подложек при нагреве от 450 °С до 700 °С и излучения от источника Si при токе эмиссии от 110 мА до 170 мА.

Анализ показал, что для получения минимальной погрешности при измерении частоты резонатора, температуру кварцевого измерителя толщины необходимо поддерживать на уровне 24,5 °С, что соответствует литературным данным [4]. В этом случае погрешность составляет 0,05 Гц. При повышении температуры напыления от 450 °С до 700 °С, плотность потока атомов, измеренная КИТ, изменилась всего на $3,4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$. Если учесть, что обычная плотность потока атомов находится в диапазоне от $6,1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ до $1,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$, то такое изменение до 5% от скорости можно считать незначительным.

Основное влияние на определение скорости роста оказывает излучение от источника осаждаемого вещества. Когда заслонка закрыта (то есть поток атомов отсутствует), изменение тангенса угла наклона, который показывает плотность потока атомов, составляет $0,0024 \text{ мА}^{-1}$. Это означает, что при увеличении тока эмиссии от 110 мА до 170 мА, тангенс угла наклона увеличится на 0,144 Гц/с. Этот вклад составляет примерно $9,6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$. Даже в условиях отсутствия потока атомов, изменение частоты резонатора остается значительным.

Таким образом, можно заключить, что при измерении скорости осаждения кремния с помощью кварцевого измерителя толщины, излучение от нагревателя не оказывает существенного влияния на изменение частоты резонатора. Минимальная погрешность измерения частоты достигается при температуре кварцевого резонатора около 24,5 °С. При этом излучение от источника осаждаемого кремния заметно меняет тангенс угла наклона частоты резонатора от времени на величину $0,0024 \text{ мА}^{-1}$, что следует учитывать при измерении скорости осаждения с помощью кварцевого измерителя толщины.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-62-10021, <https://rscf.ru/en/project/23-62-10021/>.

Список литературы

1. Ichimiya A., Cohen P. I. Reflection high-energy electron diffraction. Cambridge University Press, 2004. 350 p.
2. Plant for molecular beam epitaxy «Katun-100» / Blinov V. V., Mashanov V. I., Nikiforov A. I. [et al.] // Spacecrafts & technologies. 2018. Vol. 3(25). P. 170–174.
3. Johannsmann D. The quartz crystal microbalance in soft matter research // Soft and Biological Matter. 2015. Vol. 1. P. 143–168.
4. Brice J. C. Crystals for quartz resonators // Reviews of modern physics. 1985. Vol. 57(1). P. 105–146.

УДК 539.27* 539.23

СВЕРХСТРУКТУРА $2 \times N$ ПРИ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНОМ РОСТЕ Ge НА Si(001)- 2×1

О. И. Куkenов¹, О. И. Ворсин¹

Научный руководитель А. П. Коханенко¹

Доктор физико-математических наук, профессор

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

Бурное развитие в области микроэлектроники затронуло практически все сферы деятельности человека. Несомненно, в век цифровых технологий, повышение эффективности компонентов микроэлектроники является важной задачей для современного научного сообщества. Наиболее распространённым полупроводником является кремний. Его физические свойства, доступность и развитость технологии делают материал основным в микроэлектронной промышленности. Германий в свою очередь обладает более высокой дырочной подвижностью, а за счёт небольшого отличия в кристаллических решётках с кремнием (4,2%) легко интегрируется в кремниевую технологию. Столкнувшись с физическими ограничениями объёмных материалов, вектор развития сместился в сторону полупроводниковых наноструктур.

Наноразмерные структуры за счёт эффекта размерного квантования способны повысить эффективность электронных и оптоэлектронных компонентов, однако для их создания требуется высокий уровень контроля. На основе Ge и Si можно получать квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки, применимые в электронике, оптоэлектронике, фотонике, квантовых технологиях и сенсорике. Получение наноструктур заданного размера с минимальным количеством дефектов требует глубоких знаний в области процессов синтеза и зависимости протекания этих процессов от параметров роста. При эпитаксиальном росте Ge на Si (001) в системе возникают упругие напряжения, которые снимаются поверхностными изменениями: димерные ряды разделяются, и сверхструктура 2×1 переходит к $2 \times N$ [1]. Целью работы является определение этапов роста, при котором упругие напряжения снимаются за счёт сверхструктуры $2 \times N$.

Эксперименты по синтезу Ge на Si(001) проводились на установке молекулярно-лучевой эпитаксии «Катунь-100». Использовались коммерчески доступные кремниевые пластинки с кристаллографической ориентацией (001) и разориентацией $0,1^\circ$. Морфология поверхности контролировалась методом дифракции быстрых отражённых электронов. В результате отражения пучка высокоэнергетичных электронов от исследуемой поверхности, под малым скользким углом, на люминесцентном экране формируются картины дифракции, по которым и происходил анализ.

При эпитаксиальном росте Ge на Si (001) на картинах дифракции возникают дополнительные рефлексы $1/N$, где N соответствует длине сверхструктуры $2 \times N$ (рисунок).

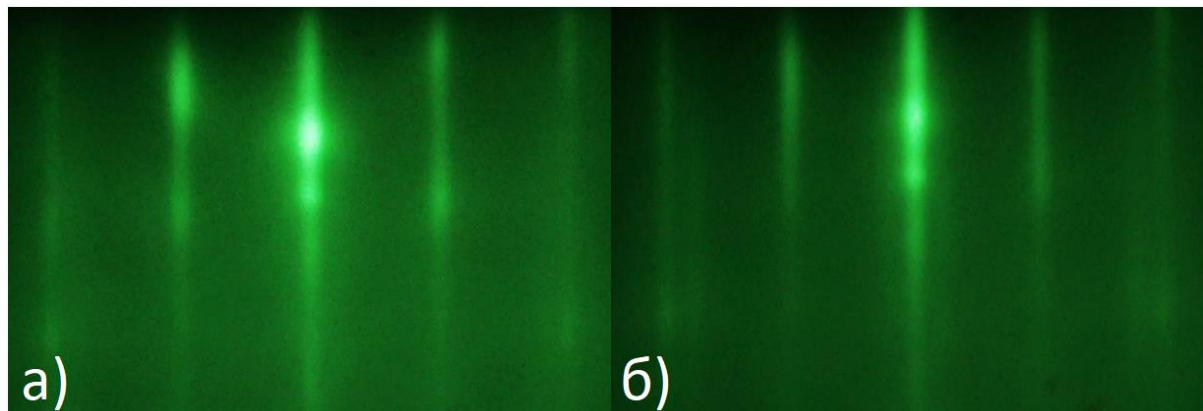


Рисунок. Картина дифракции а) Si (001) и б) 1,5 МС Гена Si (001)

В результате экспериментов обнаружено, что сверхструктура $2 \times N$ возникает и исчезает при разных толщинах смачивающего слоя в зависимости от температуры. Появление и исчезновение $2 \times N$ при повышении температуры наступает при меньшей толщине слоя. Так, если температура роста составляет $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, сверхструктура $2 \times N$ возникнет при 1,5 МС и исчезнет при 3 МС, а если температура синтеза составит $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, то для появления $2 \times N$ потребуется всего 0,5 МС, а для исчезновения 1,5 МС. Такой характер зависимости объясняется тем, что при увеличении температуры растёт длина диффузии атомов по поверхности. Повышение длины поверхностной миграции приводит к тому, что атомы начинают занимать энергетически более выгодные места и эффективнее снимать упругие напряжения в системе. Важно отметить, что при температурах $650\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ время существования $2 \times N$ составляет 1 – 1,5 МС, в то время как при температурах $300\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ это значение составляет 1,5 – 2,2 МС. Быстрое исчезновение сверхструктуры $2 \times N$ при высоких температурах связано с ускоренным переходом от 2D роста к 3D. При таких температурах часть Ge проникает в глубь подложки Si, и снятие упругих напряжений за счёт сверхструктуры $2 \times N$ становится менее эффективным, чем за счёт образования $M \times N$ и перехода к формированию 3D структур.

В работе представлено исследование зависимости эффективности снятия упругих напряжений за счёт сверхструктуры $2 \times N$ от температуры. Определено, что увеличение температуры роста приводит к уменьшению толщины слоя Ge как для появления $2 \times N$, так и для исчезновения. При температурах $650\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ $2 \times N$ существует всего 1 – 1,5 МС, в то время как при $300\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ это значение составляет 1,5 – 2,2 МС, что связано со снижением эффективности снятия напряжений с помощью $2 \times N$ и ускоренному переходу к другим механизмам релаксации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 25-12-20004, <https://rscf.ru/en/project/25-12-20004/>.

Список литературы

1. Thickness-dependent elastic strain in Stranski–Krastanow growth / Dirko V. V. Lozovoy K. A., Kokhanenko A. P. [et al.] // Physical chemistry chemical physics. 2020. Vol. 22 (34). P. 19318–19325.

УДК 535.39*537.87

ОТЛИЧИЕ В ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ МАГНИТОЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ИЗОТРОПНЫХ И АНИЗОТРОПНЫХ ОТРАЖАЮЩИХ ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

О. А. Максимова¹

Научный руководитель С. Г. Овчинников¹

Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией

*¹Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН – обособленное
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН*

Магнитооптическая эллипсометрия – это метод, позволяющий получить информацию о структуре и свойствах вещества, при этом не разрушая его. Он основан на измерении магнитооптического эффекта Керра, реализующегося на спектральном эллипсометре со статической нулевой схемой, с приложением к образцу внешнего магнитного поля [1].

Основная сложность в применении этого метода заключается в трудоемкости обработки получаемых экспериментальных данных, требующая постоянного развития методики. В ИФ СО РАН активно занимаются как развитием технической стороны магнитооптической эллипсометрии [1], так и методики обработки данных [2, 3].

В данной работе мы проводим сопоставительный анализ новых разработанных нами алгоритмов обработки данных, полученных методом магнитооптической эллипсометрии, получаемых от изотропных и анизотропных структур, обладающих магнитными свойствами.

Проанализированы как случай пленки, аппроксимируемой моделью полубесконечной среды ($d \gg 5d_p$, где d – толщина исследуемой пленки, d_p – penetration depth, т.е. глубина проникновения света в пленку), так и тонкой пленки на подложке [4]. Показана разница в конкретных выражениях,

применяемых при получении физических величин из измеряемых эллипсометрических (ψ_0 , Δ_0) и магнитоэллипсометрических ($\delta\Delta$, $\delta\psi$) параметров, таких как, например, показатель преломления, показатель поглощения, магнитооптический параметр Q магнитной пленки. Так, в случае распространения р-поляризованной волны для изотропных магнитных структур имеем коэффициент отражения

$$r_p = \frac{N_1 \cos \varphi_0 - N_0 \cos \varphi_1}{N_1 \cos \varphi_0 + N_0 \cos \varphi_1} - iQ \frac{2N_0 N_1 \sin \varphi_1 \cos \varphi_0}{(N_1 \cos \varphi_0 + N_0 \cos \varphi_1)^2},$$

а для анизотропных

$$r_p = \frac{N_{tp} \cos \varphi_i - N_i \cos \tilde{\varphi}_{tp}}{N_{tp} \cos \varphi_i + N_i \cos \tilde{\varphi}_{tp}} - i \frac{2QN_i N_{tp} \cos \varphi_i \sin \tilde{\varphi}_{tp}}{(N_{tp} \cos \varphi_i + N_i \cos \tilde{\varphi}_{tp})^2} \left(1 - \left(1 - \frac{N_o}{N_e} \right) \cos^2 \tilde{\varphi}_{tp} \right),$$

где:

N_0 – комплексный показатель преломления внешней среды,

N_1 – комплексный показатель преломления изотропной пленки,

N_z и N_x – главные комплексные показатели преломления пленки с одноосной оптической анизотропией,

φ_0 – угол падения света,

φ_1 и φ_{tp} – углы преломления в исследуемой среде,

индекс 1 – для волны в изотропной среде,

tp – для р-поляризованной волны в анизотропной среде [2, 3].

Полученные выражения без потери общности можно применять для анализа как одноволновых, так и спектральных измерений, а также при многоугловых измерениях, при проведении экспериментов *ex situ* и *in situ* в условиях сверхвысокого вакуума. Ограничение на используемые выражения: они подходят для анализа экспериментальных данных, полученных при магнитооптических измерениях только в геометрии, соответствующей экваториальному магнитооптическому эффекту Керра, и только для видимого диапазона длин волн.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-12-20012, <https://rscf.ru/project/25-12-20012/>, гранта Красноярского краевого фонда науки.

Список литературы

1. Shevtsov D. V., Lyaschenko S. A., Varnakov S. N. An ultrahigh-vacuum multifunctional apparatus for synthesis and in situ investigation of low-dimensional structures by spectral magnetoellipsometry in the temperature range of 85–900 K // Instruments and Experimental Techniques. 2017. Vol. 60. P. 759–763.

2. Максимова О. А. Оптические и магнитооптические свойства магнитных наноструктур по данным *in situ* спектральной магнитооптической эллипсометрии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния. Красноярск, 2020.

3. Maximova O. A., Lyaschenko S. A., Varnakov S. N., Ovchinnikov S. G., Yakovlev I. A., Shevtsov D. V., and Andryushchenko T. A. Magneto-Optical Ellipsometry of Thin Films with Optical Uniaxial Anisotropy // *Physics of Metals and Metallography*. 2023. Vol. 124. P. 1654–1661.

4. Fujiwara H., *Spectroscopic Ellipsometry. Principles and Applications*. Wiley, Chichester, United Kingdom, 2007. 369pp.

УДК 666.266(088.8)

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЁКОЛ, ДОПИРОВАННЫХ ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

А. О. Миндалёв¹, Р. Раджарамакришна²

Научный руководитель Е. А. Слюсарева¹

Доктор физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Стёкла используются во многих областях благодаря своим свойствам, таким как хорошая прозрачность, низкая теплопроводность, химическая стойкость, звукоизоляция и простота получения [1]. Особый интерес представляют стёкла, легированные ионами редкоземельных элементов. Такие стёкла проявляют интенсивную люминесценцию при возбуждении. Eu^{3+} даёт красное свечение (около 612 нм), а Sm^{3+} -- оранжево-красное (600-650 нм).

Стеклообразователи влияют на физические свойства легированных стёкол, поэтому сравнительный анализ различных матриц для использования в оптических системах является актуальной задачей. В качестве стеклообразователей использовались GeO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 . Германатные стёкла известны своей низкой энергией фононов [2], что благоприятно для приложений, требующих пропускания в среднем инфракрасном диапазоне. Оптические свойства боратных стёкол, такие как высокая прозрачность, важны для приложений, требующих минимального поглощения света (материалы для линзы и оптоволокна) [3]. Высокое пропускание ультрафиолетового излучения и способность принимать редкоземельные ионы фосфатных стёкол, оказываются востребованными в лазерах и волоконных усилителях [4].

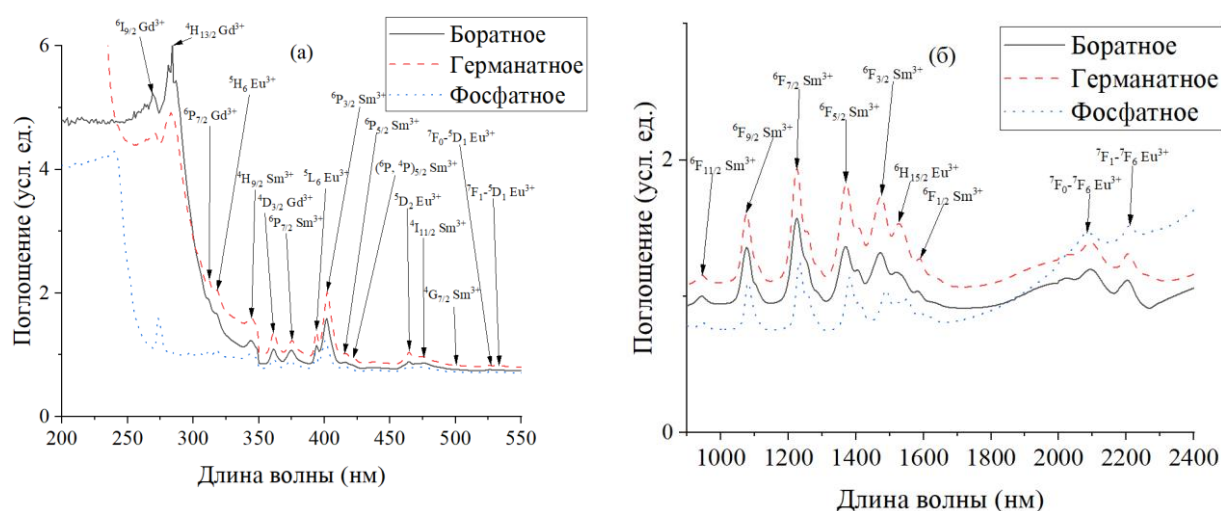


Рисунок 1. Спектры поглощения образцов стёкол в диапазоне (а) 200-550 и (б) 900-2400 нм

В работе образцы стёкол были приготовлены методом закалки расплава. В качестве допирующих элементов использовались Gd^{3+} , Sm^{3+} и Eu^{3+} . На основе полученных данных были найдены физические свойства стёкол: коэффициент преломления, молярный объём, плотность и другие. Сравнительный анализ показал, что наименьшей плотностью $2,73 \text{ г/см}^3$ и наибольшим молярным объёмом $49,8 \text{ см}^3/\text{моль}$ обладает фосфатное стекло, что говорит о его более разреженной структуре. Для сравнения плотность германатного и боратного стёкол $4,5$ и $3,8 \text{ г/см}^3$, а молярный объём $25,8$ и $23,4 \text{ см}^3/\text{моль}$.

Это свидетельствует о наиболее плотной и упорядоченной структуре в германатном стекле. Полученная информация рентгеновских дифрактограмм не содержит резких пиков, что подтверждает аморфную природу образцов стёкол.

Абсорбционная спектроскопия показала наличие 4 пиков ионов Gd^{3+} , 14 от Sm^{3+} и 7 от Eu^{3+} (рисунок 1). Используя спектры поглощения, по соотношению Таука была проведена оценка оптической запрещённой зоны и было обнаружено, что образец фосфатного стекла показывает большее значение энергии $4,50 \text{ эВ}$, в сравнении с германатным $3,72 \text{ эВ}$ и боратным $3,71 \text{ эВ}$ (рисунок 2). Фосфатное стекло имеет наибольшую ширину запрещённой зоны, что говорит о его выраженных диэлектрических свойствах.

Анализ люминесценции показал наличие 4-х пиков на длинах волн ~ 561 , 596 , 612 и $\sim 643 \text{ нм}$, которые соответствуют пикам Eu^{3+} и Sm^{3+} .

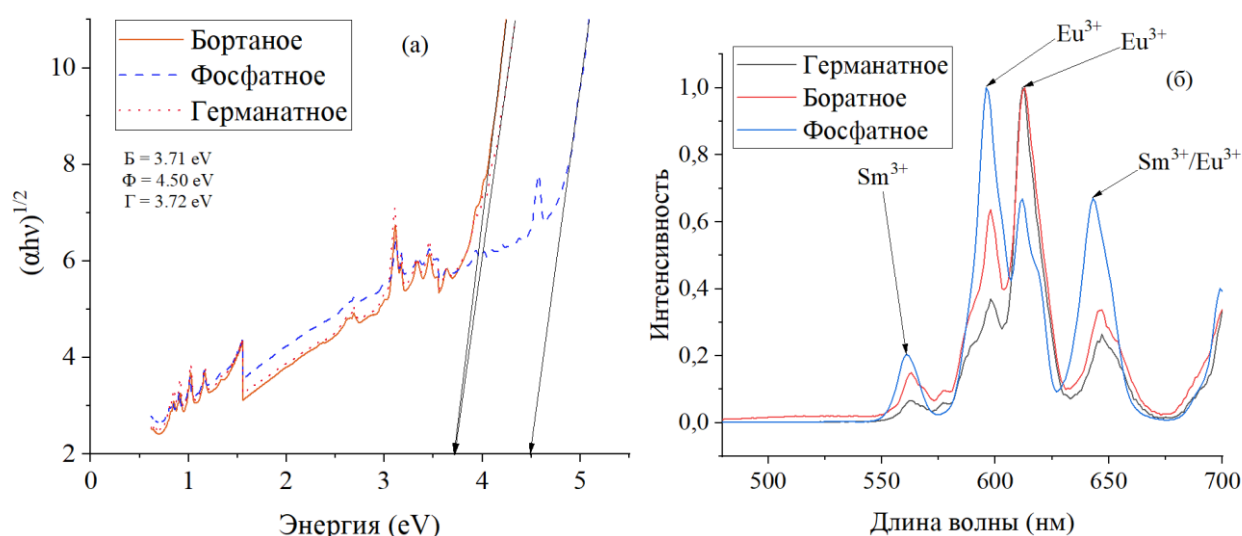


Рисунок 2. Энергия оптической запрещённой зоны образцов (а). Где α -коэффициент поглощения, $h\nu$ -энергия фотона. Спектр люминесценции образцов (б). Длина волны возбуждения 450 нм

Можно заметить, что в то время, как для германатного и боратного стёкол преобладает пик на 612 нм, для фосфатного это пик на 596 нм. Отношение интенсивностей $I(612)/I(596)$ даёт значения 3,02; 1,80 и 0,67 для германатного, боратного и фосфатного стёкол. Наименьшее значение этого соотношения нам говорит о более высокой симметрии окружения ионов Eu^{3+} в фосфатном стекле, а также преобладании магнитодипольного перехода $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$, по сравнению с другими. Для других образцов преобладающим переходом является электродипольный $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$. Пики в германатном и боратном стекле имеют близкую длину волны, но в случае фосфатного они смещены в сторону меньших длин волн.

Полученные результаты вносят вклад в понимание связи «структура-свойства» оптических материалов на основе допированных ионами РЗМ стёкол.

Список литературы

1. Smedskjaer M. M., Mauro J. C., Youngman R. E., Hogue C. L., Potuzak M., Yue Y. Topological principles of borosilicate glass chemistry // J. Phys. Chem. B. 2011. Vol. 115. P. 12930–12946.
2. Shelby J. E. Introduction to glass science and technology, 2nd Edition // RSC publications. 2005. P. 72-109.
3. Bengisu M. Borate glasses for scientific and industrial applications: a review // J. Mat. Sci. 2016. Vol. 51. P. 2199-2242.
4. Rajaramakrishna R., Tariwong Y., Srisittipokakun N., Kothan S., Kaewkhao J. 1.06 μm emission of neodymium doped $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Li}_2\text{O} + \text{BaO} + \text{Gd}_2\text{O}_3/\text{GdF}_3$ glasses for solid-state NIR applications // Journal of Luminescence. 2023.

Vol. 257. 119650

УДК 535.37

КОНФОРМАЦИОННАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПРОИЗВОДНОГО БЕНЗОЛСУЛЬФОКИСЛОТЫ В КОМПЛЕКСЕ С БЕЛКОМ

М. О. Мочалов¹, Е. В. Парфенова¹, Н. В. Слюсаренко¹

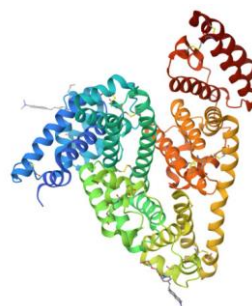
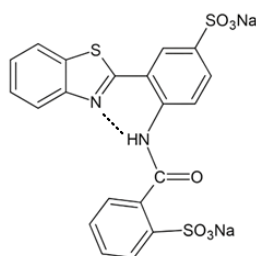
Научный руководитель Е. А. Слюсарева¹

Доктор физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Внутримолекулярный перенос протона в возбужденном состоянии (ВППВС) является следствием фотоизомеризации, создающей условия для испускания света сразу в двух спектральных диапазонах. При этом один из них характеризуется аномально большим стоксовым сдвигом (более 100 нм) [1]. Повышение эффективности ВППВС за счет создания оптимальной конформации люминофора возможно при взаимодействии с макромолекулами, например, белками. В качестве модельного белка выбран широко используемый в исследованиях бычий сывороточный альбумин (БСА) – транспортный белок, выполняющий функцию переноса различных субстратов в организме. Несмотря на общий отрицательный заряд молекулы БСА, внутри её структуры присутствуют положительно заряженные полости, что способствует созданию условий для специфического связывания с другими молекулами.

Целью работы была проверка гипотезы конформационной чувствительности люминесценции динатриевой соли 3-(1,3-бензотиазол-2-ил)-4-[(2-сульфонатобензоил)амино]бензолсульфокислоты (рисунок 1а) при связывании с молекулой БСА (рисунок 1б). Люминофор предоставлен ООО Фирма «ОЛБО».



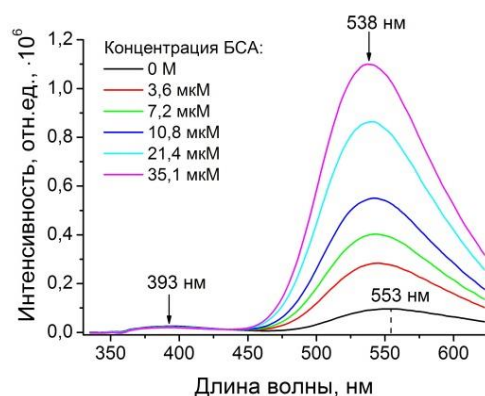
(a)

(б)

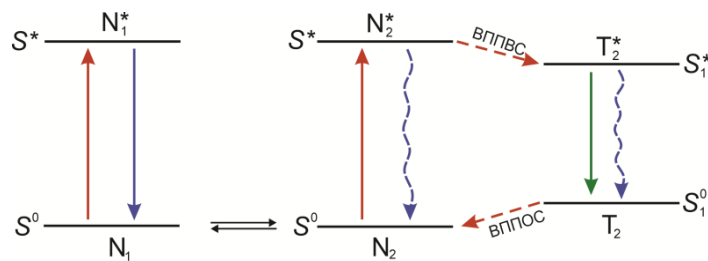
Рисунок 1. Динатриевая соль 3-(1,3-бензотиазол-2-ил)-4-[(2-сульфонатобензоил)амино]бензолсульфокислоты (а), кристаллическая структура молекулы БСА (б)

Концентрация БСА варьировалась от 3,6 до 35,1 мкМ при постоянной концентрации люминофора 56,7 мкМ. Спектры возбуждения и люминесценции измерены на спектрофлуориметре Fluorolog 3-22 в L-геометрии возбуждения. Длина волны возбуждения составляет 320 нм и лежит вне области поглощения БСА.

На рисунке 2а представлены спектры люминесценции люминофора в присутствии белка разной концентрации.



(a)



(б)

Рисунок 2. Спектры люминесценции люминофора (а), энергетическая диаграмма ВППВС (N – нормальная форма, Т – таутомерная форма) [2] (б)

Наличие двух пиков испускания люминофора можно объяснить с помощью энергетической диаграммы (рисунок 2б). В основном состоянии существует равновесие двух конформеров [2], один из которых (N_1) демонстрирует пик люминесценции на 393 нм с типичным стоксовым сдвигом (около 7100 см^{-1}). Второй пик – 553 нм ассоциирован с возбуждением конформера N_2 с протеканием ВППВС и образованием таутомерной формы T_2^* (стоксов сдвиг около 14200 см^{-1}) [1]. Присутствие белка способствует увеличению амплитуды второго пика и его гипсохромному смещению.

Для выявления различной природы обсуждаемых пиков были измерены спектры возбуждения на двух длинах волн испускания (рисунок 3).

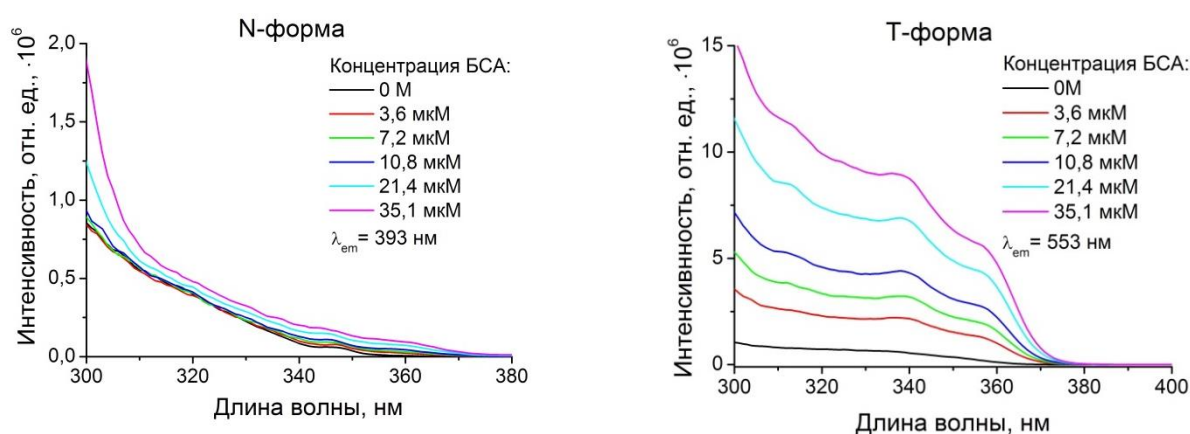
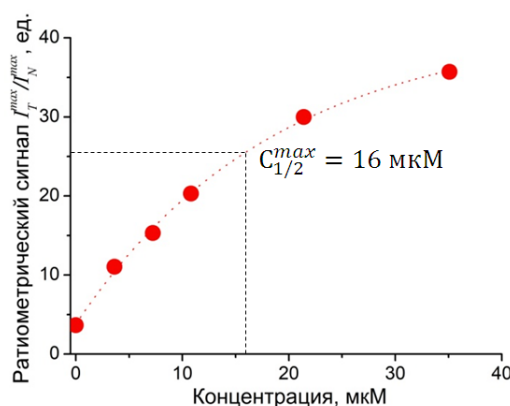


Рисунок 3. Спектры возбуждения люминофора с БСА

Формы спектров возбуждения люминофора отличаются. В то время как интенсивность люминесценции N-формы при добавлении белка меняется незначительно, для T-формы увеличение концентрации БСА приводит к существенному увеличению интенсивности.

Характер изменения интенсивности люминесценции позволяет получить безразмерный ратиометрический сигнал (рисунок 4), равный отношению интенсивностей люминесценции таутомерной (I_T^{max}) и нормальной форм (I_N^{max}), измеренных в максимуме спектра. Он демонстрирует тенденцию к насыщению и имеет максимальное значение 52 единицы, полученное путем аппроксимации уравнением Ленгмюра.

Рисунок 4. Ратиометрический сигнал I_T^{max} / I_N^{max} люминофора с БСА

При обсуждении природы связывания люминофора с белком необходимо учитывать, что поверхность БСА имеет положительно заряженные полости, создающие условия для связывания с отрицательно заряженным люминофором. В качестве контроля гипотезы первичного механизма электростатического связывания было исследовано влияние другой макромолекулы — сульфатированного арабиногалактана, имеющего отрицательный заряд. В этом

случае спектральных эффектов связывания с люминофором зарегистрировано не было.

Не было зафиксировано и зависимости формы спектра и интенсивности люминесценции люминофора от pH в широком диапазоне (3,2÷9,9). Таким образом, механизм усиления люминесценции был отнесен нами к конформационному: при образовании комплекса люминофора с белком создаются благоприятные условия для протекания фотоизомеризации.

Полученные результаты демонстрируют чувствительность люминесцентного сигнала люминофора к присутствию белка, что открывает возможность его применения в сенсорных приложениях. Для исследования конформационно чувствительной люминесценции планируется в дальнейшем использовать методы молекулярной динамики и квантово-химические расчеты.

Список литературы

1. E. V. Parfenova, N. V. Slyusarenko, S. V. Kulagin, A. V. Rogova, F. N. Tomilin, and E. A. Slyusareva Photophysical Properties of Luminophores Based on 3-(1,3-Benzothiazol-2-yl)-4-hydroxybenzenesulfonic Acid // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2024. Vol. 88 (6), Pp. 940–945.

2. Ужинов Б.М., Химич М.Н. Конформационные эффекты в реакциях внутримолекулярного фотопереноса протона органических соединений // Успехи химии, 2011. Т.80 №6. С. 580–604.

УДК 531.19

ФРАКТАЛЬНЫЕ И ПЕРКОЛЯЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ С НЕМАГНИТНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

А. С. Новак¹

Научный руководитель С. В. Сёмкин¹

Доктор физико-математических наук, профессор

¹*Владивостокский государственный университет*

Исследование влияния немагнитных примесей на характеристики упорядоченных магнитных систем является одной из важных задач современной физики конденсированного состояния. В антиферромагнетиках взаимодействие между соседними спинами способствует формированию антипараллельной ориентации, что приводит к возникновению долгопериодической магнитной структуры. Однако добавление немагнитных примесей нарушает этот порядок, создавая локальные дефекты и существенно изменяя свойства системы. В таких

условиях могут формироваться кластеры со спонтанной корреляцией, структура которых может быть описана с помощью методов фрактальной геометрии.

Перколяционные процессы в антиферромагнетиках с примесями

Добавление немагнитных примесей в антиферромагнитный кристалл значительно влияет на его магнитные свойства, нарушая регулярность спиновой решётки. Такие примеси могут вызывать разрушение долгопериодического антиферромагнитного порядка и способствовать образованию кластерной структуры, в которой магнитный порядок сохраняется только в локальных областях. Это открывает возможность анализа поведения системы с точки зрения перколяционных процессов и фрактальной геометрии кластеров.

Перколяция описывает процесс перехода от разрозненного состояния к связанному, при котором при достижении определенной концентрации активных (в данном случае — магнитных) узлов в решётке формируется бесконечный кластер, охватывающий всю систему. В антиферромагнетиках с разбавлением (например, при замене части магнитных ионов на немагнитные) может наблюдаться перколяционный переход, при котором с уменьшением концентрации магнитных ионов система теряет способность поддерживать дальнедействующий порядок.

В исследовании: «Прочная магнитная поляронная перколяция в антиферромагнитной CMR-системе EuCd_2P_2 » [1], анализируется магнитосопротивление (CMR), наблюдаемое в антиферромагнитной системе EuCd_2P_2 . Авторы предоставляют убедительные экспериментальные данные, свидетельствующие о формировании и просачивании магнитных поляронов, что служит объяснением феномена CMR. Образование поляронов происходит при температуре, ниже определённого критического значения, достигая порога просачивания в точке $T_{\text{ITM-пик}}$. Данная система демонстрирует устойчивый механизм, который сохраняется, несмотря на вариации в концентрации носителей заряда, что позволяет выдвинуть гипотезу о её применимости к другим антиферромагнитным системам на основе редкоземельных элементов.

Авторы в данном исследовании [2] анализируется, как размывание связей (которое можно интерпретировать как введение примесей) в квантовом антиферромагнетике сказывается на поведении системы. Примеси, представленные немагнитными ионами, заменяющими магнитные, создают беспорядок в силах взаимодействия между спинами. Эта случайность является важным аспектом задач перколяции, где неопределенность в прочности связей может привести к фрагментации решётки на несвязанные кластеры взаимодействующих спинов. В реальных материалах, таких как $\text{La}_2\text{Cu}_{1-p}\text{Zn}_p\text{O}_4$, ионы Zn^{2+} заменяют ионы Cu^{2+} , создавая ситуацию, схожую с разбавлением связей. Это приведет к удалению некоторых магнитных взаимодействий и, как следствие, к переходу между упорядоченной и неупорядоченной магнитной фазами.

Фрактальные свойства магнитных кластеров в антиферромагнетиках

В исследовании [3] рассматривается, как просачивающиеся сети в антиферромагнитных системах с случайным разбавлением (например, при замене магнитных ионов на немагнитные) демонстрируют фрактальную геометрию. Эта фрактальность проявляется вблизи порога перколяции. Выявлено, что с повышением концентрации немагнитных примесей происходит локальное нарушение магнитного порядка, однако спины продолжают формировать квазисвязные области, известные как фрактальные кластеры.

Фрактальные кластеры (рисунок) играют ключевую роль в переносе энергии и корреляций в системе. Они оказывают влияние на критическое поведение таких характеристик, как магнитная восприимчивость, корреляционные функции и теплоёмкость. Кроме того, фрактальная природа кластеров приводит к сложному распределению корреляций и затрудненной динамике возбуждений (например, спиновых волн) внутри системы.

В антиферромагнитных материалах фрактальные кластеры также могут проявлять анизотропные свойства, особенно в кристаллах с направленными взаимодействиями или в условиях анизотропии обмена. Это может проявляться в направленной передаче магнитного возбуждения или анизотропии критических величин.

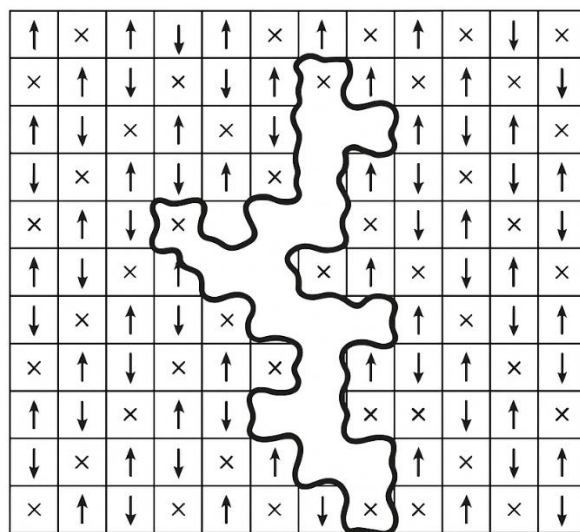


Рисунок. Схематичное изображение фрактального кластера в антиферромагнитной решетке с немагнитными примесями

В статье «Magnetic field effect on the fractal cluster spin-glass phase of an Ising antiferromagnet near the first-neighbor percolation threshold: $\text{Fe}_{0.25}\text{Zn}_{0.75}\text{F}_2$,» [4] исследуется поведение разбавленного изинговского антиферромагнетика находящегося вблизи порога перколяции. Авторы обнаруживают, что при данном уровне разбавления магнитная система формирует фазу спинового стеклянного состояния, где кластеры спинов обладают фрактальной

структурой и демонстрируют сложную динамику, связанную с энергетическими барьерами и метастабильными состояниями.

Формирование фрактальных структур указывает на наличие многошкального характера флуктуаций в системе. Полученные результаты могут оказаться полезными для исследования критических свойств реальных антиферромагнитных материалов, легированных немагнитными атомами, что, в свою очередь, может способствовать более глубокому пониманию их физики и содействовать разработке новых материалов с определёнными свойствами.

Список литературы

1. Quantum criticality and nonmagnetic disorder in antiferromagnetic systems [Электронный ресурс] // arXiv. 2025. № 2503.24059v1. URL: <https://arxiv.org/html/2503.24059v1> (дата обращения: 13.04.2025)
2. Yu R., Roscilde T., Haas S. Quantum Percolation in Two-Dimensional Antiferromagnets // *Physical Review Letters*. 2005. Vol. 94, № 19.
3. Itoh S., Kajimoto R., Adams M. A., Bull M. J., Iwasa K., Aso N. et al. Fractal dimension in percolating Heisenberg antiferromagnets // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2007. Vol. 310, № 2. P. 1549–1551.
4. De Lima K. A. P., Brito J. B., Barbosa P. H. R., Raposo E. P., Coutinho-Filho M. D. Magnetic field effect on the fractal cluster spin-glass phase of an Ising antiferromagnet near the first-neighbor percolation threshold: $\text{Fe}_{0.25}\text{Zn}_{0.75}\text{F}_2$ // *Physical Review B*. 2012. Vol. 85, № 6.

УДК 539.231

ОСОБЕННОСТИ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО РОСТА ГЕРМАНИЯ НА ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОМ ГРАФИТЕ

Н. В. Плотников¹, К. А. Майер¹

Научный руководитель В. В. Дирко¹

Кандидат физико-математических наук

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

В современном мире растёт интерес к синтезу 2D-материалов на неметаллических подложках. Такой выбор обусловлен тем, что при росте на металлических поверхностях появляется нежелательное влияние подложки на двумерную структуру и, как следствие, ухудшаются уникальные свойства 2D-материала. Поэтому исследования учёных по всему миру сосредоточены на получение двумерных материалов на подложках с малым взаимодействием

со структурой [1]. При синтезе 2D-материала необходимо учитывать согласованность параметров решеток рассматриваемых материалов и подложки. Для получения германена преимущественно выбирают графит и высокоориентированный пиролитический графит (ВОПГ) [2]. Поверхность этих материалов является свободной от оборванных связей, она обладает химической инертностью и на ней невозможно образовать сплав с атомами германия. Однако, основным типом связи вне плоскости решетки является сила Ван-дер-Ваальса, что в настоящее время является основной причиной слабого представления о процессах, протекающих при эпитаксиальном осаждении германия на поверхности этих подложек.

Целью работы является установление зависимости особенностей роста германия на поверхности высокоориентированного пиролитического графита при разных температурах в диапазоне от 100 до 800 °С.

Эксперименты проводились на установке молекулярно-лучковой эпитаксии «Катунь-100» в условиях сверхвысокого вакуума при разных температурах роста от 100 °С до 800 °С. Контроль морфологии поверхности в процессе синтеза происходил по картинам дифракции быстрых отраженных электронов (ДБЭ). Метод ДБЭ позволяет получать интегральную информацию о структуре поверхности за счёт дифракции электронов с длиной волны соизмеримой с параметрами кристаллической решётки, при их отражении от поверхности под малым скользящим углом ($\sim 1^\circ$). Полученные структуры анализировались с помощью методов сканирующей электронной микроскопии, а также атомно-силовой микроскопии в условиях высокого вакуума.

Обнаружено, что при температурах 250–450 °С в процессе формирования первого атомного слоя, германий повторяет структуру графита, а затем на картине дифракции появляются рефлексы $1/N$ (рисунок).

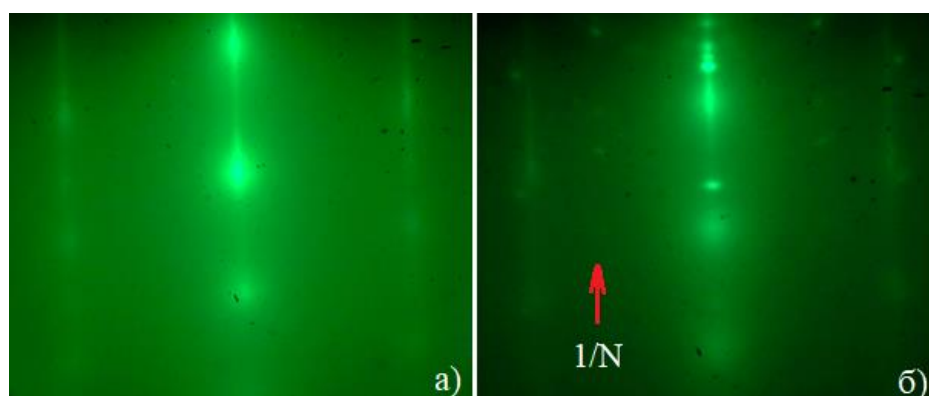


Рисунок. Картины дифракции а) чистой поверхности ВОПГ и б) для 5 слоёв Ge на ВОПГ

Расстояние между рефлексами $1/N$ отличается от расстояния между рефлексами графита в 1,62 раза, что соответствуют отношению постоянной решетки графита к решётке германена, и говорит о наличии областей

графеноподобных двумерных фаз. При этом по результатам сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии было установлено, что ступени пирографита выступают в роли центров нуклеации для трёхмерных островков германия. Несмотря на такие сильные стоки для германиевых атомов как ступени, вдали от них, т.е. на поверхности террас, всё же наблюдались островки германия высотой не более 1 слоя.

В работе проведено исследование синтеза германия на поверхность высокоориентированного пиролитического графита при разных температурах в диапазоне 100 – 800 °С. Методом дифракции быстрых отражённых электронов определён диапазон температур, при котором возникают графеноподобные двумерные фазы. Методом сканирующей электронной микроскопии и атомно-силовой микроскопии обнаружено, что большая часть германия скапливается на ступенях поверхности, а на террасах скапливаются германиевые островки толщиной в 1 слой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет 2030).

Список литературы

1. 2D materials and van der Waals heterostructures / Novoselov K. S. Mishchenko A., Carvalho A. [et al.] // Science. 2016. Vol. 353(6298). P. aac9439(1–11)
2. Новые двумерные графеноподобные материалы и гетероструктуры / К.А. Лозовой, В.В. Дирко, А.П. Коханенко, О.И. Кукунов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Физика. 2025. Т. 68(3). С. 5–15

УДК 538.955, 535.8, 533.583.2

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ, СТРУКТУРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОБАЛЬТ-УГЛЕРОД НАНОКОМПОЗИТОВ

А. М. Попова¹

Научный руководитель А. Э. Соколов^{1,2}
Кандидат физико-математических наук

¹*Сибирский федеральный университет*

Углерод является недорогим, биосовместимым, функциональным материалом. В последнее время большое внимание уделяется изучению различных магнитных наноструктур с углеродной оболочкой. В данной работе представлены результаты исследования наноконкомпозитов на основе углерода и кобальта с различными условиями синтеза. Синтез осуществлялся

из олеиновой кислоты, олеиламина и $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ в ходе одnoreакционного процесса термического разложения при различных температурах реакции от 320 °C до 380 °C в течение нескольких часов в атмосфере аргона.

Кристаллическая структура НЧ определялась с помощью порошковой рентгеновской дифракции на дифрактометре XRD 6000, Shimadzu ($\text{CuK}\alpha$ -излучение с длиной волны 1.54056 Å). Морфология НЧ была изучена с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) при помощи микроскопа Hitachi HT7700, с ускоряющим напряжением 120 кВ. Измерения магнитных свойств проведены на вибрационном магнетометре VSM 8604 в диапазоне температур 80-350 °C.

На рис. 1 приведены XRD данные образцов, вместе с условиями синтеза. Положения и интенсивность рефлексов всех образцов отличаются, что свидетельствует об образовании различной кристаллической фазы в зависимости от условий синтеза. Так, в образце 1, обработанном 1 час при 380 °C, присутствует смесь двух фаз – кристаллического кобальта и оксида кобальта CoO . При увеличении времени выдержки при этой температуре до двух часов в атмосфере аргона формируются частицы металлического кобальта – образец 2. Если эти частицы подвергнуть второму этапу обработки, то происходит образование карбида кобальта с остатками чистого кобальта – образец 3, при этом при снижении температуры на первом этапе обработки до 320 °C образуется чистый карбид кобальта – образец 4. Соотношение образовавшихся компонент в каждом образце обозначено возле кривых на рис.1.

ПЭМ изображения образовавшихся частиц представлены на рис. 2. Наночастицы 1 образца, подвергнутого минимальному термическому воздействию, представляют собой округлые кристаллические образования с широким распределением по размерам, видны частицы в диапазоне от 10 до практически 80 нм в диаметре. Увеличение времени выдержки привело не только к вытеснению кислорода, и образованию НЧ металлического кобальта, но и к образованию более мелких областей однородности. Видно, что даже крупные частицы состоят из скопления мелких уплотненных частиц. Это соответствует и более шумному XRD спектру образца 2 с уширенными рефлексами. В случае двухэтапного нагрева (образец 3) наблюдается смесь кристаллов с различной плотностью.

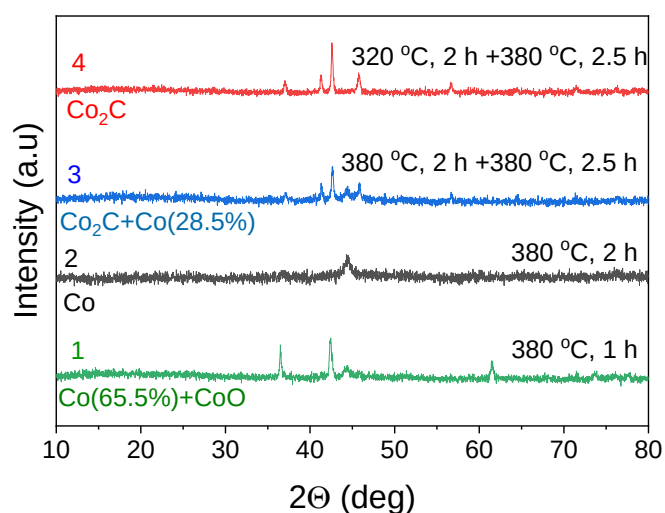


Рисунок 1. XRD данные образцов, справа возле кривых приведены условия синтеза. Номера кривых соответствуют номерам образцов

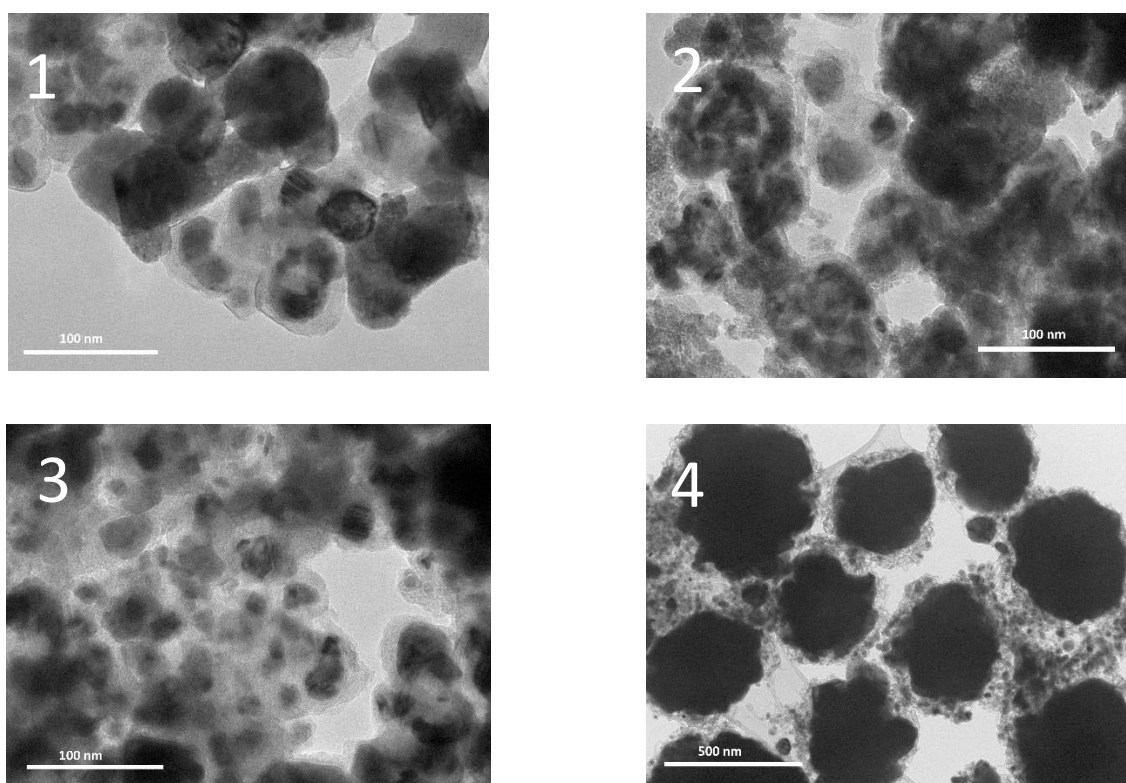


Рисунок 2. ПЭМ фото образцов 1, 2, 3 и 4, соответственно

Общим в ПЭМ изображениях 1, 2, и 3 образцов является наличие оболочки из аморфного углерода, светлого фона, обволакивающего частицы. ПЭМ изображение 4 образца со структурой карбида кобальта, отлично от всех предыдущих, происходит самоорганизация в практически одинаковые крупные

частицы, размерами около 300 нм, с очень малой толщиной оболочки из мелких частиц и аморфного углерода.

Полевые зависимости намагниченности приведены на рис.3, для всех образцов наблюдается гистерезис с близкой коэрцитивной силой 660 Э и выходом на насыщение в полях до 5 кЭ. Поскольку, по литературным данным, оксид кобальта CoO обладает антиферромагнитным упорядочением, видно, что ферромагнитное поведение образцов обусловлено содержанием металлического кобальта, так наночастицы кобальта (образец 2) обладают самым большим значением намагниченности насыщения 60 кЭ, что близко к значениям намагниченности насыщения наночастиц кобальта, полученных другими авторами [1].

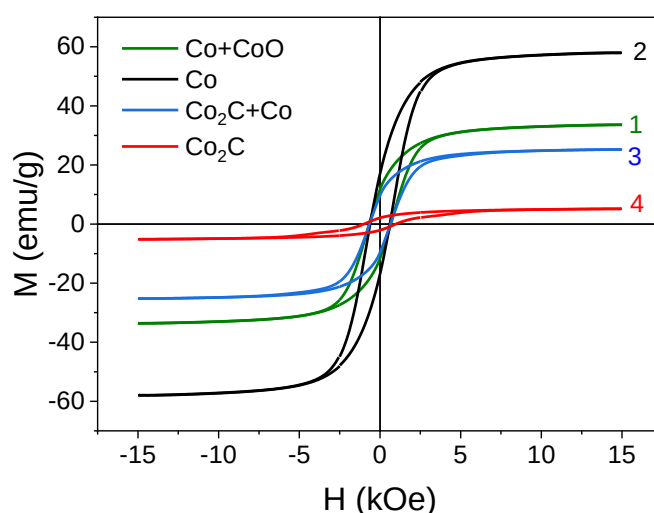


Рисунок 3. Полевые зависимости намагниченности всех образцов при 300 К

Таким образом, температура и длительность термолиза являются совокупными факторами, определяющими и кристаллическую структуру и морфологию кобальтсодержащих наночастиц в углеродной оболочке, что в свою очередь определяет магнитные свойства образовавшихся частиц.

Список литературы

1. Sh. Ozaki, H. Kura, H. Maki, T. Sato, Size effect in magneto-optical properties of Co nanoparticle dispersed systems, Journal of applied physics 105, 113913 (2009)

УДК 535.421

ФОКУСИРОВКА СВЕТА ДЛЯ ЛИДАРА, ДИФРАКЦИОННЫЙ КОВЕР И САД ЕВКЛИДА

Т. Д. Приходько¹,Научный руководитель И. В. Тимофеев^{1,2}

Доктор физико-математических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Лидар – лазерный дальномер с отклонением луча, аналогичный радару и сонару [1]. Твердотельный, или беззеркальный лидар отклоняет луч без механического поворота зеркала, за счет обобщения закона Снелиуса на фазовой метаповерхности [2]. Твердотельный лидар может оказаться быстрее, точнее, надежнее и проще в изготовлении, чем лидар с отклонением луча вращающимся зеркалом. Вместо метаповерхности можно использовать пространственный модулятор света, но в этом случае появляются побочные дифракционные максимумы, которые уменьшают точность измерений. В противотуманном лидаре может использоваться стробоскоп для того, чтобы отсканировать только объект, исключая шум от рассеяния на частицах тумана [3]. Вместо стробоскопа в данной работе рассматривается дифракционный ковер Тальбота [4], который также может помочь исключить побочные дифракционные максимумы.

Пусть на периодическую дифракционную решётку падает плоская волна. Тогда существует расстояние (называемое периодом Тальбота L_T), через которое дифракционная картина повторяется. То есть размывающееся из-за дифракции поле *самовосстанавливается*. Дифракционная картина описывается формулой:

$$\psi(x, z) = \sum_n A_n e^{ik_d x} e^{-in^2 \pi(z/L_T)} \quad (1)$$

Здесь $\psi(x, z)$ – зависимость напряженности поля ψ от координат: положения x на экране и расстояния z от дифракционной решетки до экрана, A_n представляет собой компоненты разложения Фурье функции пропускания периодической решетки, k_d — волновой вектор падающей волны. Ковер Тальбота изображен на рис. 1а. Было замечено, что в случае узкой щели дифракционной решетки линии погасания — прямые, изображенные на рис. 1б.

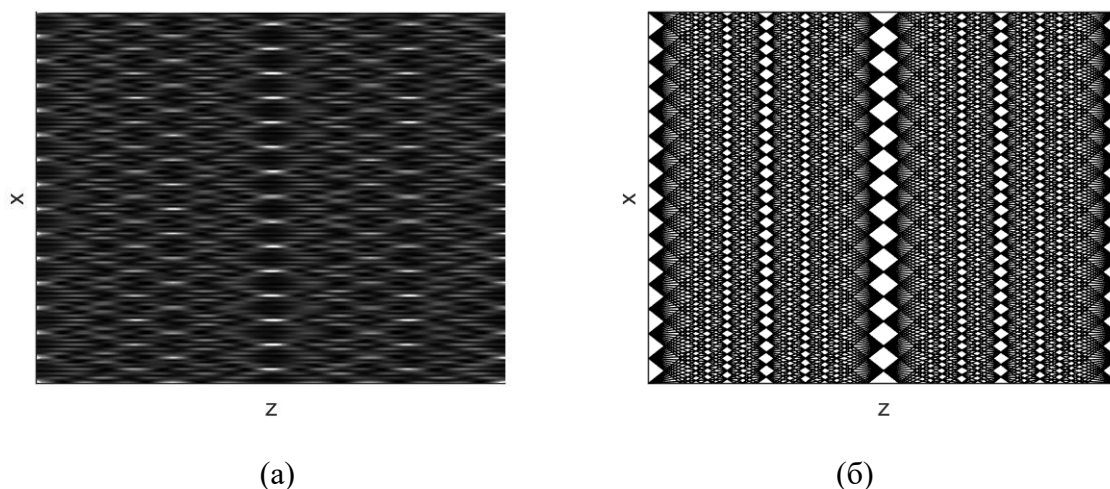


Рисунок 1. Дифракционный ковер Тальбота. (а) вычисленный по формуле, аналогичной формуле (1). Слева на дифракционную решетку падает плоская монохроматическая волна.

Цветом изображена локальная интенсивность поля $|\psi(x, z)|^2$. Ширина картины равна периоду Тальбота. и (б) ковер, построенный по прямым линиям погасания

Сад Евклида – это массив одномерных «деревьев» единичной высоты, посаженных в узлах квадратной решётки в одном квадранте. На рис. 3 изображен вид сада Евклида из начала координат. Сад Евклида отражает связь между различными вероятностными моделями в физике, описываемыми внутренней $SL(2, \mathbb{Z})$ -модулярной симметрией [5].

Сад Евклида описывает теорию консонансов (созвучий) в музыке [6,7]. Как и в дифракции, когда звуковая картина самовосстанавливается во времени, она превращается в музыкальные созвучия.

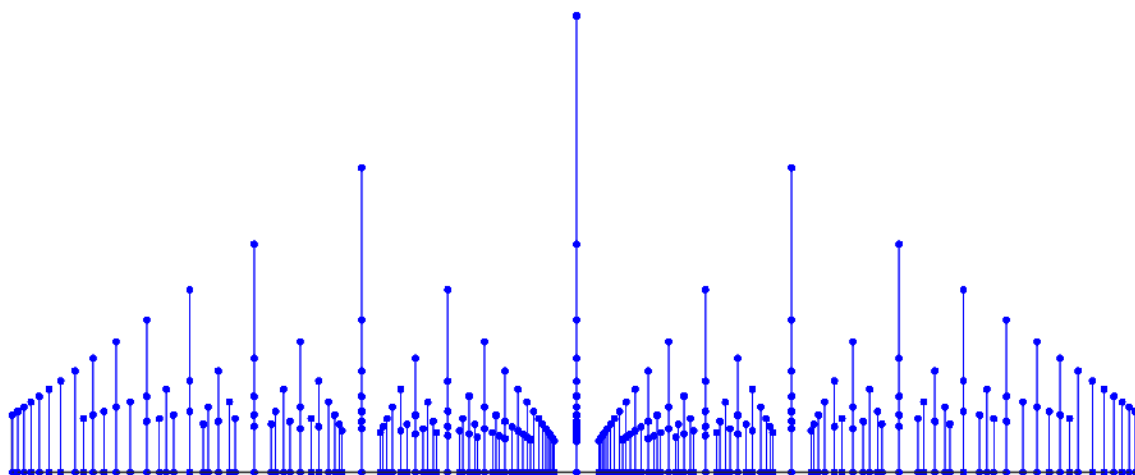


Рисунок 2. Сад Евклида. Вид из начала координат на массив вертикальных стержней единичной высоты, посаженных в узлах квадратной решётки

На рис. 3 изображена количественная связь между дифракционным ковром Тальбота и садом Евклида. Высота деревьев в саду Евклида соответствует интерференционным максимумам на ковре Тальбота.

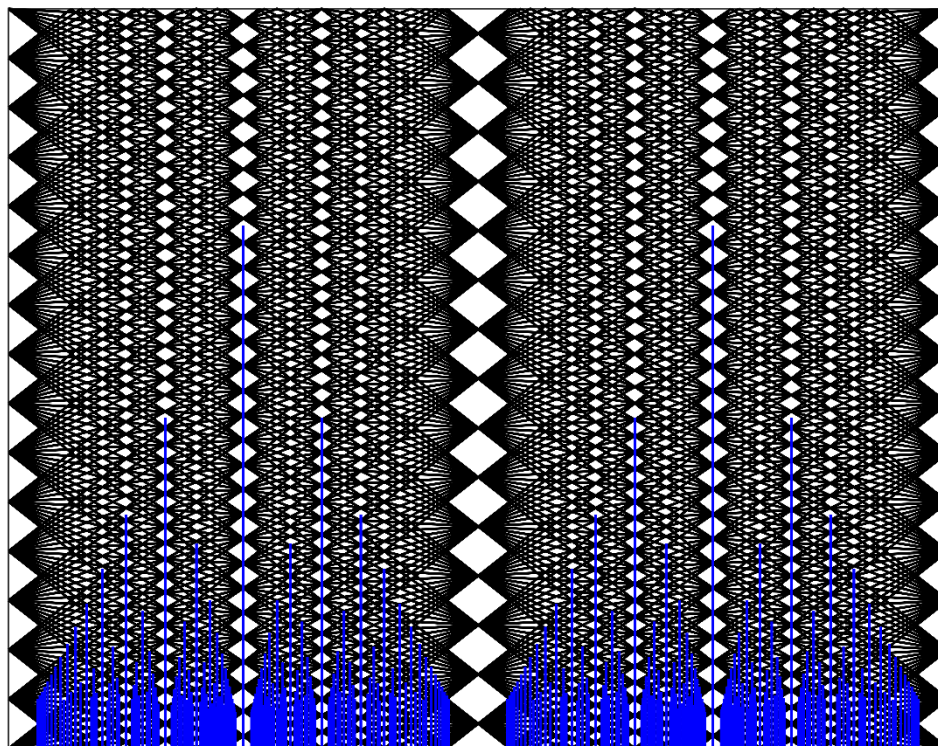


Рисунок 3. Сад Евклида и ковер Тальбота.

Максимумы интенсивности и высота деревьев совпадают

Таким образом, обнаружена математическая связь между различными самовосстанавливающимися структурами. Размывающееся световое поле может восстанавливаться по мере распространения в пространстве. Так же звуковое сочетание создает музыкальное ощущение в случае, когда форма вибрации восстанавливается во времени. Предлагается использовать дифракционную фокусировку, подобную эффекту Тальбота, вместо импульсов стробоскопа для исключения шума в противотуманном лидаре.

Список литературы

1. Park J., Jeong B. G., Kim S. I. et al. All-solid-state spatial light modulator with independent phase and amplitude control for three-dimensional LiDAR applications // Nat. Nanotechnol. 2021. Vol. 16, № 1. P. 69–76.
2. Bikbaev R. G., Chen K.-P., Timofeev I. V. Two-Dimensional Dynamic Beam Steering by Tamm Plasmon Polariton // Photonics. 2023. Vol. 10, № 10. P. 1151.
3. Волков В. Активно-импульсные ПНВ и тепловизионные приборы // Фотоника. 2007. №4. С. 24
4. Case W. B., Tomandl M., Deachapunya S., Arndt M. Realization of optical

carpets in the Talbot and Talbot-Lau configurations // Opt. Express. 2009. Vol. 17, № 23. P. 20966.

5. Нечаев С. К., Половников К. Статистика редких событий и модулярная инвариантность // УФН. 2018. Т. 188. С. 106–112.

6. Шилов Г.Е. Простая гамма. Устройство музыкальной шкалы. М.: ФМЛ. 1963.

7. Tymoczko D. The Geometry of Musical Chords // Science. 2006. Vol. 313, № 5783. P. 72–74.

УДК 621.396.67

ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЁТА ОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ОДИНОЧНОМ ПРОВОДЕ НА СВЧ

Д. В. Римацкий¹

Научный руководитель А. С. Волошин¹

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Известно, что на радиочастотах почти весь ток в проводниках протекает в тонком поверхностном слое, а во внутренней части их объема плотность тока очень мала, в связи с чем на СВЧ в качестве элементов конструкций проволочных антенн (штыревые, вибраторные, «волновой канал») используют полые трубки [1]. Глубина проникновения тока в металл, которую определяют по уровню убывания плотности тока в e раз по отношению к плотности тока на поверхности и называют глубиной скин-слоя, зависит от частоты, магнитной проницаемости материала проводника и его удельной проводимости (удельного сопротивления). К сожалению, в известных учебных пособиях приведены формулы, описывающие частные случаи: для двух- и четырехпроводных линий передачи с проводниками из меди [2], для медных однопроводных линий передачи, покрытых диэлектриком [3], либо же вообще приведены с ошибками [1]. Наиболее точная формула общего вида для расчёта последовательного сопротивления проволочной перемычки с учётом магнитных свойств проводника и потерь на излучение приведена в работе [4], куда выражение для погонного омического сопротивления провода сечения круглой формы входит в неявном виде.

Учёт омических потерь в проволочных антеннах является важным вопросом, поскольку на этапе проектирования позволяет оценить потери в них, а, значит, и их коэффициент полезного действия. В связи с этим получение

актуальной рабочей формулы общего вида для учёта омических потерь в одиночном проводе на СВЧ является важной и актуальной задачей.

На постоянном токе сопротивление одиночного (уединённого) провода можно найти по формуле:

$$R = \frac{\rho}{S} l = \frac{1}{\sigma S} l, \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление металла, из которого изготовлен проводник, σ – его удельная проводимость, S – площадь поперечного сечения, l – длина этого провода. Очевидно, что погонное сопротивление этого провода в данном случае будет определяться формулой:

$$R_1 = \frac{1}{\sigma S}. \quad (2)$$

Для получения формул для погонного сопротивления на переменном токе обратимся к формулам, представленным в задачнике [2]. Коэффициент затухания, обусловленный потерями в проводниках, выражается через параметры фидера по приближённой формуле:

$$\alpha_m \cong 4.35 \frac{R_1}{W_b}, \quad (3)$$

где R_1 – погонное сопротивление металла, из которого сделан проводник, а W_b – волновое сопротивление этого фидера. С другой стороны, потери в уединённом проводнике круглого сечения диаметром d можно оценить по другой приближённой формуле, через поверхностное сопротивление металла R_s :

$$\alpha_m \cong \frac{1.38 \cdot R_s}{d W_b}, \quad (4)$$

в которую диаметр проводника d следует подставлять в метрах. Отметим, что формула (4) получена путем модификации формулы (взятия предела $\lim_{D \rightarrow \infty} \alpha_m$, т.е. при бесконечном удалении оплётки от жилы коаксиального кабеля) из задачника [2], приведенной для погонных омических потерь в проводниках коаксиальной линии передачи.

Поверхностное сопротивление металла на СВЧ можно найти по формуле:

$$R_s \cong 1.987 \sqrt{\frac{f}{\sigma}} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где σ – удельная проводимость металла (в См/м), f – рабочая частота (в Гц) [2].

Приравняв левые части формул (3) и (4) и выразив из полученного уравнения R_1 , с учетом формулы (5) получаем рабочую формулу для погонного сопротивления уединённого провода круглого сечения на переменном токе:

$$R_1 \cong \frac{0.63}{d} \sqrt{\frac{f}{\sigma}}, \quad (6)$$

куда диаметр провода d следует подставлять уже в миллиметрах.

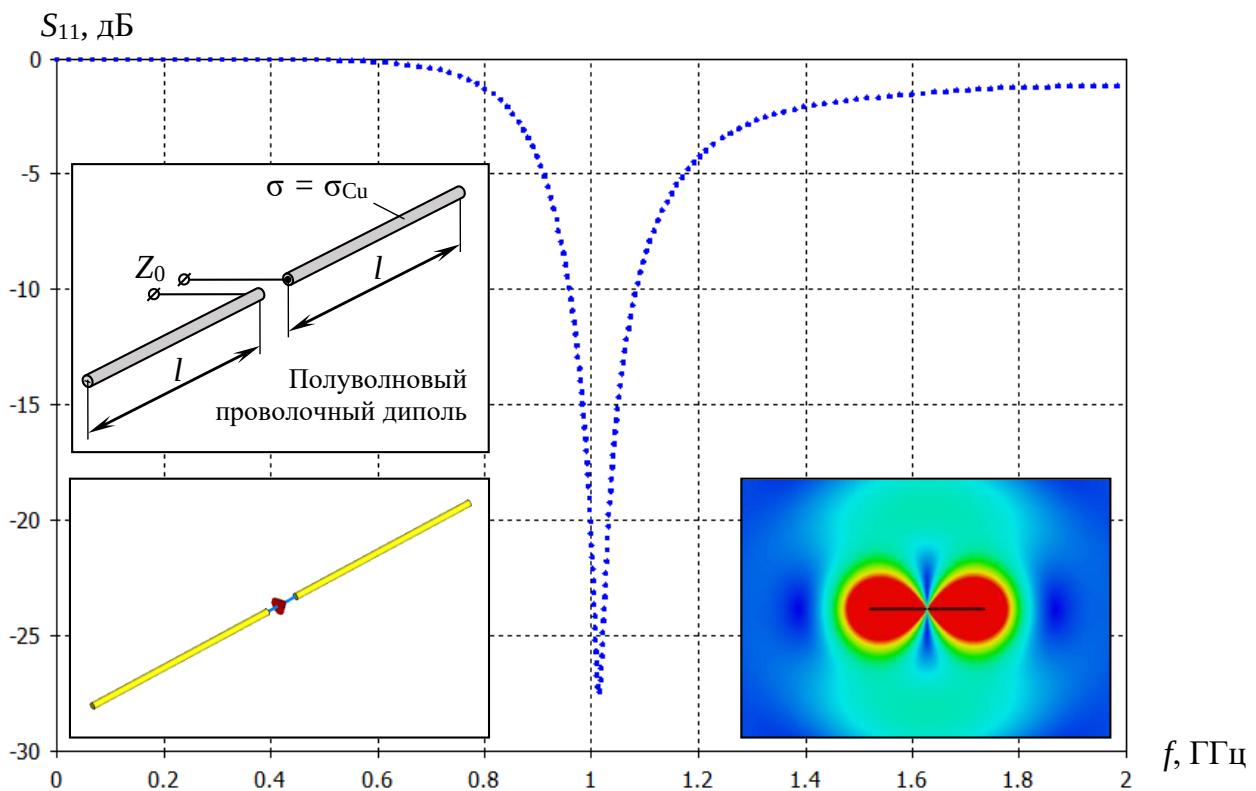


Рисунок. Модель полуволнового проволочного диполя

Для подтверждения полученных результатов в системе автоматизированного проектирования «CST Studio Suite» был проведён численный эксперимент – была создана трехмерная модель полуволнового проволочного диполя, показанная на вставке сверху слева на рисунке выше. В данном случае плечи диполя моделировались из медных проводников, при этом длина каждого из них равнялась $l = 61$ мм, а диаметр – $d = 2$ мм. Предварительно, путём подбора длины плеч l диполя и величины волнового сопротивления дискретного порта Z_0 конструкция настраивалась на частоту $f = 1$ ГГц, как показано для характеристик обратных потерь (S_{11}) на входе

антенны на рисунке. Дополнительно на вставках приведены вид модели в «*CST Studio Suite*» (внизу слева) и распределение электрического поля в ближнем поле антенны на резонансной частоте (внизу справа).

После завершения расчёта в результате постобработки характеристик диаграммы направленности были получены значения коэффициента направленного действия (КНД) и коэффициента усиления (КУ) антенны на рабочей частоте. Зная эти коэффициенты, коэффициент полезного действия (КПД) антенны можно найти по формуле:

$$\text{КПД} = \frac{\text{КУ}}{\text{КНД}}. \quad (7)$$

С другой стороны КПД антенны можно найти следующим образом:

$$\text{КПД} = \frac{R_{\Sigma \text{ВХ}}}{R_{\Sigma \text{ВХ}} + R_{\Pi}}, \quad (8)$$

где $R_{\Sigma \text{ВХ}}$ – сопротивление излучения антенны относительно её входа, R_{Π} – сопротивление потерь в антенне, которое и вызвано омическими потерями [2]. С учётом формул (7) и (8) можно выразить сопротивление потерь в антенне в виде:

$$R_{\Pi} = R_{\Sigma \text{ВХ}} \frac{1 - \text{КУ} / \text{КНД}}{\text{КУ} / \text{КНД}}. \quad (9)$$

В результате, расчёт сопротивления потерь в антенне для её модели в «*CST Studio Suite*», согласно формуле (9), дал значение $R_{\Pi} = 0.174$ Ом, в то время как расчёт для идентичного провода длиной $2l$ по выведенной формуле (6) – $R_{\Pi} = 0.171$ Ом. Как видно, полученные значения совпадают вплоть до третьего знака после запятой, что позволяет говорить о достоверности полученной рабочей формулы для расчёта омических потерь в одиночных проводах на СВЧ.

Список литературы

1. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн: пер. с польск. под ред. О. П. Фролова / З. Беньковский, Э. Липинский // Москва: Радио и связь, 1983. 480 с.
2. Гошин Г. Г. Антенны и фидеры: учебное пособие. Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2003. 242 с.
3. Антенны и устройства СВЧ: учебное пособие / В. Ф. Хмель, А. Ф. Чаплин, И. И. Шумлянский // К.: Выща шк., 1990. 232 с.
4. Проволочные соединения и их характеристики на высокой частоте / К. Сингх, А. Нирмал // СВЧ-электроника. 2017. №3 С. 20–22.

УДК 537.622.4*537.9*538.955*538.911

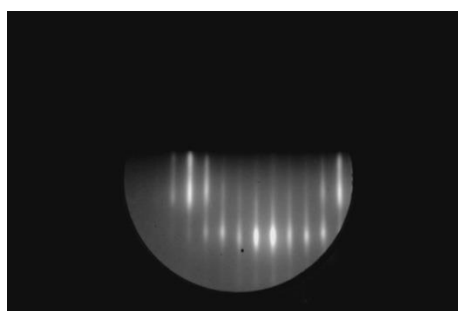
**СТРУКТУРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК
 Mn_5Ge_3 НА ПОДЛОЖКАХ Si (1 1 1)****И. А. Соболев^{1,2}**Научный руководитель А. С. Тарасов^{1,2}

Кандидат физико-математических наук

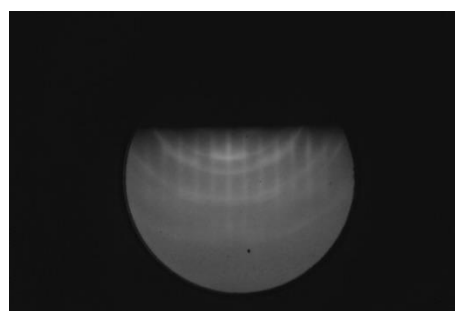
¹*Сибирский федеральный университет*

Mn_5Ge_3 — ферромагнитный материал, обладающий высокими температурой Кюри (296 К) и спиновой поляризацией (до 42%) [1]. Помимо прочего, данный материал обладает также значительным магнитокалорическим эффектом вблизи температуры перехода, наблюдаемым как в объёмных кристаллах [2], так и в пленках [3]. Данные свойства делают Mn_5Ge_3 перспективным материалом как для внедрения в устройства спинтроники, так и для его использования в магнитокалоритронике. В данной работе были проведены систематические исследования, а также анализ кристаллической структуры и магнитных свойств тонких пленок Mn_5Ge_3 выращенных на подложках Si(111) путем молекулярно-лучевой эпитаксии и твердофазного синтеза, где кристаллографическое направление гексагональной ячейки Mn_5Ge_3 параллельно направлению Si(111).

На рисунке 1 Представлена картина ДОБЭ полученных образцов. Из рисунка для образца Sample_7 можно увидеть только дифракционные полосы, что указывает на наличие монокристалла германида, в то время как для образца Sample_15 помимо полос также наблюдаются дифракционные кольца и тяжи, указывающие на наличие поликристаллитов и, возможно, примесных фаз.



Sample_7 (d = 180nm)



Sample_15 (d = 30 nm)

Рисунок 1. Картина ДОБЭ образцов

Для более детальной характеристики кристаллической структуры образцов был проведен рентгеноструктурный анализ (РСА) (рисунок 2). Как видно из данного рисунка, практически на всем диапазоне углов наблюдаются пики, указывающие на ориентации исследуемого материала и подложки. Кроме того, в образце Sample_15 также наблюдаются пики от буферного слоя, а также примесей силицидов и германия

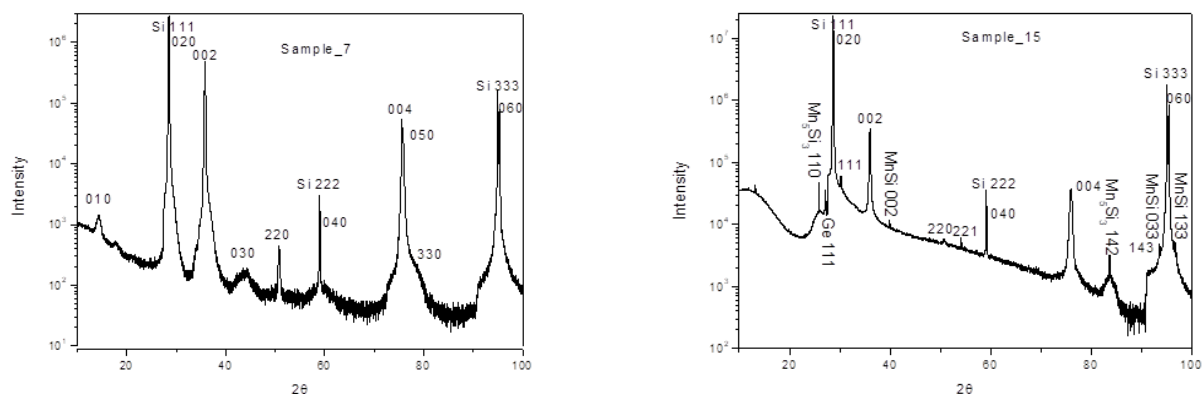


Рисунок 2. Рентгенограмма образцов

Для определения температуры Кюри была измерена температурная зависимость магнитного момента образцов в одной из ориентации в поле, составляющем 100 Э (рисунок 3), откуда получают $T_C=300$ К (Sample_7) и $T_C=299$ К (Sample_15), что соответствует температуре Кюри, варьирующейся в диапазоне 290 – 305 К в зависимости от типа подложки [3].

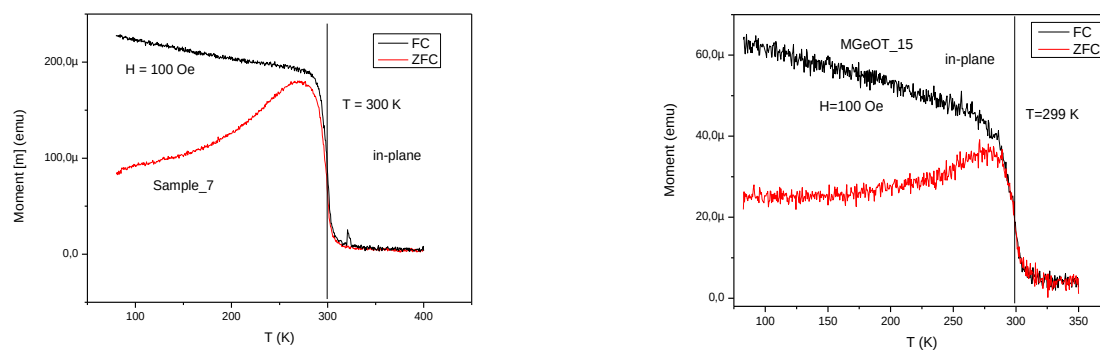


Рисунок 3. Температурная зависимость магнитного момента образцов

Поведение намагниченности в режиме ZFC в планарной ориентации, возможно, связано со сложной магнитной структурой и, соответственно, сложной анизотропией. Для проверки данного предположения, были измерены петли гистерезиса в разных ориентациях при температуре 100 К (рисунок 4).

Как видно из рисунка 4 данные по намагниченности насыщения сопоставимы с намагниченностью объёмного образца, составляющей $1070 \text{ emu} \cdot \text{cm}^{-3}$ [4]. Наблюдаемая форма петель указывает на конкуренцию двух типов анизотропий: анизотропии типа «легкая ось» и анизотропии типа «легкая плоскость». В то же время, форма петель гистерезиса в планарной ориентации указывает на полосатую доменную структуру.

Также образцы демонстрируют высокий магнитокалорический эффект при $H=15 \text{ кЭ}$ (рисунок 5). Эти данные сопоставимы с данными как для объёмного материала [2], так и для многокомпонентных и редкоземельных материалов [5,6]. Полученные результаты позволяют надеяться на использование этого материала для проектирования и разработки магнитокалорических и спинтронных устройств.

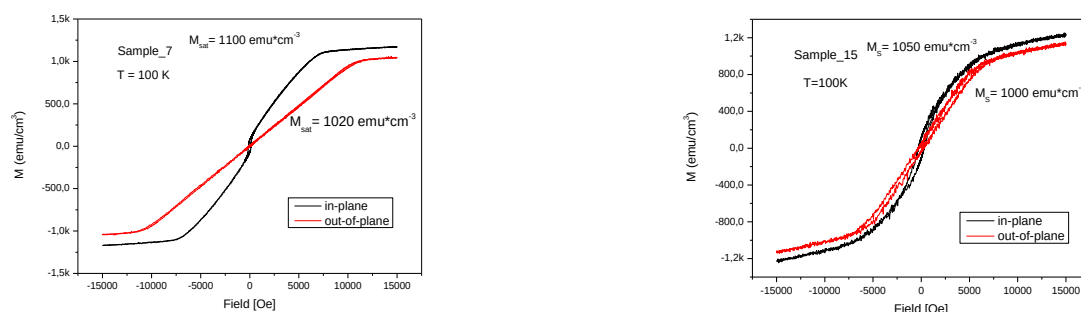


Рисунок 4. Петли гистерезиса образцов при $T = 100 \text{ K}$

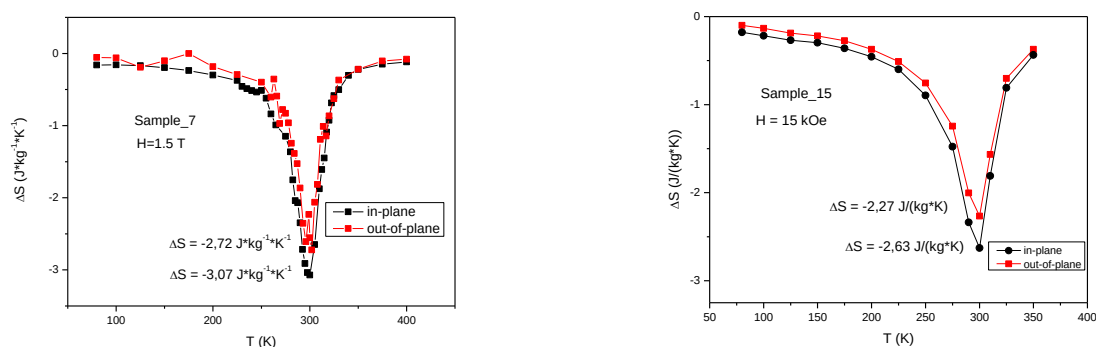


Рисунок 5. Магнитокалорический эффект образцов в поле $H=15 \text{ кЭ}$

Список литературы

1. Spin polarization and electronic structure of ferromagnetic Mn_5Ge_3 epilayers / Panguluri R. P., Zeng C., Weitering H. H., Sullivan J. M., Erwin S. C. et al. // *physica status solidi (b)*, 2005, Vol. 242, No. 8, P. R67-R69.
2. Anisotropy of the magnetocaloric effect: Example of Mn_5Ge_3 / Maraytta N.,

Voigt J., Mejía C.S., Friese K., Skourski Y. et al. //Journal of Applied Physics, 2020, Vol 128, No. 10.

3. Magnetic and structural properties of $Mn_{5-x}Ge_3+y$ thin films as a function of substrate orientation/ de Oliveira R.C., Demaille D., Casaretto N., Zheng Y.J., Marangolo M. et al. //Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2021, Vol. 539, P. 168325.

4. Magnetic anisotropy in epitaxial Mn_5Ge_3 films/ Spiesser A, Virot F., Michez L. A., Hayn R., Bertaina S. et al //Physical Review B, 2012, Vol. 86, No. 3, P. 035211.

5. Large anisotropic magnetocaloric effect in all-sputtered epitaxial terbium thin films/ El Hadri M. S., Polewczyk V., Xiao Y., Mangin S., Fullerton E.//Physical Review Materials, 2020, Vol. 4, No. 12, P. 124404.

6. Magnetocaloric refrigerant with wide operating temperature range based on $Mn_{5-x}Ge_3$ (Co, Fe) x composite/ Kim Y., Kang K.H., Kim J.H., Kim E. J., Choi K. et al.//Journal of Alloys and Compounds, 2015, Vol. 644, P. 464-469.

УДК 538.955*535.8*533.583.2*543.427*535.375.54

АДСОРБЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО КРАСИТЕЛЯ КОНГО РЕД НАНОЧАСТИЦАМИ ШПИНЕЛИ $Fe_xCo_{3-x}O_4$

Е. С. Торопова¹

Научный руководитель И. С. Эдельман^{1,2}

Доктор физико-математических наук, профессор

¹Сибирский федеральный университет

Шпинели с формулой AB_2O_4 (где А и В - ионы металлов) обладают хорошими магнитными, оптическими, электрическими и каталитическими свойствами, поэтому играют важную роль во многих областях техники. Их функциональные свойства в значительной степени зависят от структур и составов, а в случае с наночастицами (НЧ), еще и от морфологии частиц. Развитая площадь поверхности НЧ позволяет легко адсорбировать многие вещества, а простота магнитного извлечения из водной среды делают НЧ шпинели перспективными материалами в качестве адсорбентов различных органических красителей и ионов металлов.

Целью данной работы являлось исследование адсорбционных свойств образцов НЧ $Fe_xCo_{3-x}O_4$ в зависимости от концентрации железа (х изменялся от 1 до 0 с шагом 0.2), температуры и времени дополнительного отжига. Образцы были получены методом самовозгорания гидратов солей $Fe(NO_3)_3$ и $Co(NO_3)_2$ под действием катализатора – лимонной кислоты. Полученный «исходный»

продукт, был разделен на порции, каждая из которых была отожжена в атмосферных условиях при температурах от 400 до 800 °С с различной длительностью. Таким образом, была получена серия наночастиц одинакового химического состава, но отожженных при разных температурах и различной длительности.

Кристаллическая структура НЧ определялась с помощью порошковой рентгеновской дифракции на дифрактометре XRD 6000, Shimadzu (CuK α -излучение с длиной волны 1.54056 Å. Морфология НЧ была изучена с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на микроскопе JEM-2100. Магнитные измерения проведены на вибрационном магнетометре VSM 8604. Адсорбционные свойства определялись по изменению интенсивности максимума при 500 нм в спектре оптического поглощения растворов красителя Конго красный (CR) до и после реакции с НЧ. Спектры поглощения записывались на спектрометре кругового дихроизма СКД-2МУФ.

Рентгеноструктурные исследования показали, что структура всех образцов Fe_xCo_{3-x}O₄ соответствуют структуре шпинели Co₃O₄. Рефлексы наблюдаются и для исходных наночастиц, указывая на их кристалличность. По мере увеличения температуры отжига средний размер кристаллитов растет приблизительно в одинаковой степени для всех составов и при температурах выше 600 °С, практически на порядок отличается от исходных НЧ, при этом длительность термообработки не оказывает существенного влияния на размеры кристаллитов.

Результаты ПЭМ подтвердили эти выводы. Так, средний размер исходных составлял 3-5 нм, для частиц, отожжённых при температурах 550-600 °С средний размер частиц составлял 20-35 нм, а при увеличении температуры прокаливания до 800-900 °С он достигал 120-300 нм. На рис. 1 представлены ПЭМ изображения исходных и отожженных при 600 и 900 °С НЧ Fe_{0.55}Co_{2.45}O₄. Отметим, что во всех случаях образцы частиц являются кристаллическими без заметных аморфных поверхностных слоев или доменов.

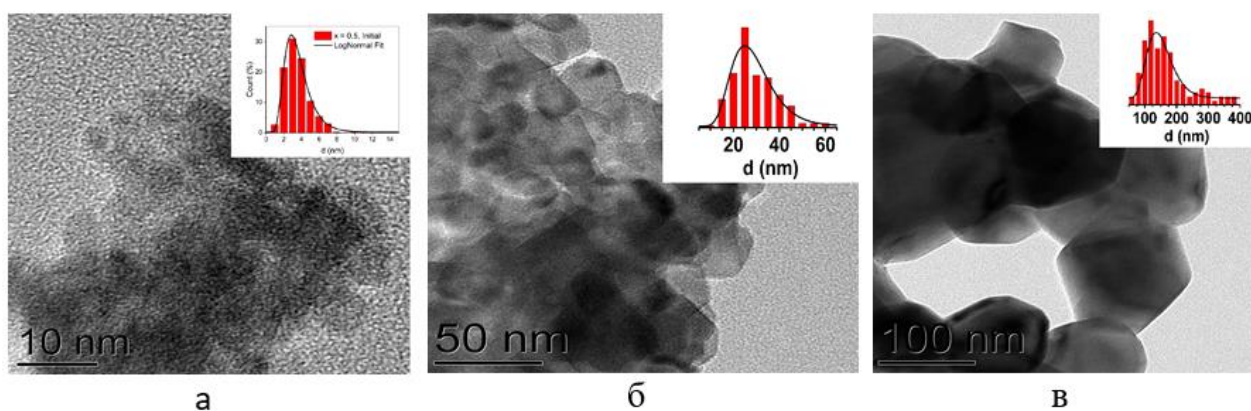


Рисунок 1. ПЭМ изображения наночастиц Fe_{0.55}Co_{2.45}O₄: а) без обработки, б) при T=600 °С в) при T=900 °С. Вставки: гистограммы размеров частиц

Кривые адсорбции представленные на рисунке 2 показывают количество красителя CR адсорбированного на единицу веса наночастиц $\text{Fe}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ с течением времени. Для исходных НЧ всех составов значительной разницы в величине и скорости адсорбции замечено не было (рис. 2а). Кинетические кривые адсорбции характеризуются высокой скоростью на начальном участке и быстро, приблизительно за 15-20 мин выходят на насыщение (достигая более 80 % удаления молекул красителя). НЧ с составом с $x=0.6$ имеют несколько меньшую величину адсорбционной емкости. Адсорбция анионного CR исходными образцами НЧ, возможно, обусловлена диполь-дипольными водородными связями между электроотрицательным остатком ($-\text{NH}_2$) молекул CR и группами $-\text{OH}$ на поверхности адсорбента. При изменении относительного содержания ионов железа и кобальта в отожженных НЧ разница между их адсорбционной емкостью становится более заметной, изменяется скорость и эффективность удаления красителя CR из раствора. Более высокие значения получаются для образцов с большими значениями x . Для сравнения на рис.2б приведены кинетические кривые НЧ с различным x , отожжёнными при 800 °С.

Отжиг НЧ существенно снижает как скорость, так и адсорбционную емкость поглощения CR (рис.2б). Отжиг выше 500 °С приводит к резкому снижению адсорбционной ёмкости, что согласуется с резким увеличением размеров НЧ и уменьшением их удельной поверхности. При этом размерный эффект не является единственным механизмом, возможно также изменение зарядового состояния поверхности в процессе отжига.

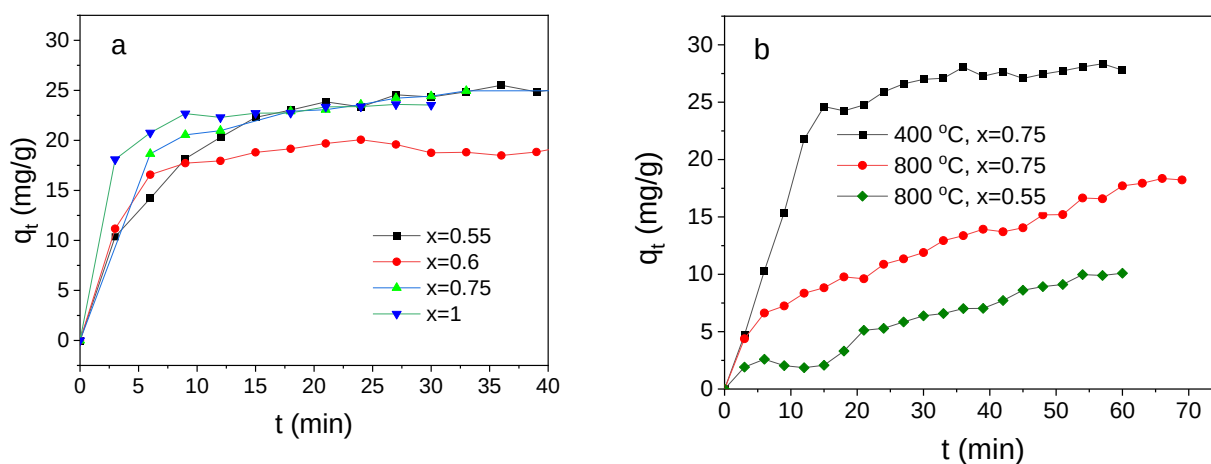


Рисунок 2. Кинетические кривые адсорбции: (а) адсорбция исходными НЧ $\text{Fe}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ с разным значением x ; (б) адсорбция наночастицами $\text{Fe}_{0.75}\text{Co}_{2.45}\text{O}_4$ с разным значением температуры прокаливания 400 и 800 °С, и данные для НЧ $\text{Fe}_{0.55}\text{Co}_{2.45}\text{O}_4$ с температурой отжига 800 °С. Условиях эксперимента $C_0=15$ mg/L, $m=1$ mg, $V=2$ mL

Полученные нами результаты близки к результатам, полученным в [1], где полное удаление красителя CR нанопористыми частицами $\text{Fe}_{1.8}\text{Co}_{1.2}\text{O}_4$ было

достигнуто при дозе НП 1.6 г/л при начальной концентрации красителя 50 мг/л. Авторы цитируемой работы показали, что наличие поровых каналов размером 2–4 нм позволяет молекулам CR мигрировать во внутреннюю часть НП, что вносит решающий вклад в процесс. В нашем случае большая внутренняя поверхность возможна и при образовании конгломератов НЧ в водной среде.

Таким образом, исследованы монокристаллические $\text{Fe}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ НЧ, температура дополнительной термообработки являлась основным фактором, определяющим их размер. А изменение скорости и адсорбционной емкости с ростом температуры отжига свидетельствует об изменении как количества, так и природы активных адсорбционных центров на поверхности НЧ.

Список литературы

1. L. Hua, Y. Huang, Q. Chen, $\text{Fe}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ nanoporous particles stemmed from metal–organic frameworks $\text{Fe}_3[\text{Co}(\text{CN})_6]_2$: A highly efficient material for removal of organic dyes from water, *Journal of Alloys and Compounds* 559 (2013) 57–63.

УДК 54.055*54.057 *534.222

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВА Д16, МОДИФИЦИРОВАННОГО МИКРОЧАСТИЦАМИ CuFe

М. Ю. Чулкова¹, П. О. Суходаев¹, В. И. Турчин¹, П. П. Турчин^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет

Композиты с металлической матрицей (ММК), сочетающие легкую матрицу и твердые армирующие частицы, достигли стадии коммерческого производства в начале 1990-х годов, в частности, в аэрокосмической, автомобильной, электронной, оружейной и спортивной областях [1]. Помимо непрерывных армирующих волокон, композиты со случайно распределенными частицами позволяют удешевить и упростить процесс изготовления ММК, обладающих необходимыми свойствами для конструктивных применений, то есть высоким модулем упругости, прочностью и износостойкостью [2]. Ряд недостатков обычных композитных материалов, таких как низкая пластичность и плохая ударная вязкость, препятствуют их широкому применению [3]. Причины значительного снижения пластичности и ударной вязкости таких композитов, как полагают, связана со структурой области сопряжения армирующего материала с матрицей.

В последние годы, оценка свойств материалов с помощью ультразвуковых методов все чаще используется как метод контроля образцов, обладающий рядом преимуществ по сравнению с широко используемыми разрушающими методами

контроля. В работе [4] показано, что возможно оценить свойства материала акустическими методами с помощью измерения скорости ультразвуковых волн или их затухания.

В данной работе исследовано влияние концентрации микрочастиц CuFe на упругие характеристики.

Материалы, методы получения и исследования образцов

Для создания композитов использовалась порошок из алюминиевого сплава Д16 (химический состав приведен в таблице) и порошки железа и меди высокой чистоты.

Таблица

Химический состав сплава Д16 в масс.%

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Cr	Ti	Zn
90,9 – 94,7	3,8 – 4,9	1,2 – 1,8	0,3 – 0,9	до 0,5	до 0,5	до 0,1	до 0,15	до 0,25

Массовое соотношение исходных порошков меди и железа соответствовало стехиометрическим соотношениям компонентов квазикристаллических соединений $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ [5, 6].

Предварительно порошки Cu и Fe были сплавлены путем механоактивации в планетарной шаровой мельнице Pulverisette 6 в атмосфере аргона в течение 15 часов со скоростью 200 об/мин. Микропорошок имеет размерность от 1 до 125 мкм. Сплав Д16 измельчался в мельнице в течение 3 часов со скоростью 300 об/мин. В измельчённый порошок Д16 добавляли микрочастицы CuFe (размер фракции составлял от 50 мкм до 100 мкм) с различной концентрацией и перемешивали в мельнице в течение 5 часа. Затем механоактивированную смесь прессовали при комнатной температуре и давлении 2,2 ГПа. Спекали методом ГИП [7] при постоянной температуре 590°C и давлении 15 МПа.

Скорость ультразвука измерялась методом эхо-импульса при частоте 5 МГц [8].

Плотность рассчитывалась делением массы на объем образцов в форме прямоугольного параллелепипеда, который, в свою, очередь рассчитывался как произведение сторон, измеренных с точностью до 0,5 мкм.

Результаты

Исследования акустических характеристик и упругих свойств полученных ММК проведено для серии образцов с меняющейся от 1% до 20% концентрацией микропорошков CuFe.

Значения скоростей объемных акустических волн (ОАВ) имеют характерный минимум при концентрации частиц 1%, что требует дополнительных объяснений. Скорости сдвиговых ОАВ лежат в пределах 2400÷3000 м/с. Скорости продольных ОАВ в пределах 4300÷5200 м/с. Результаты обобщены на рисунке 1.

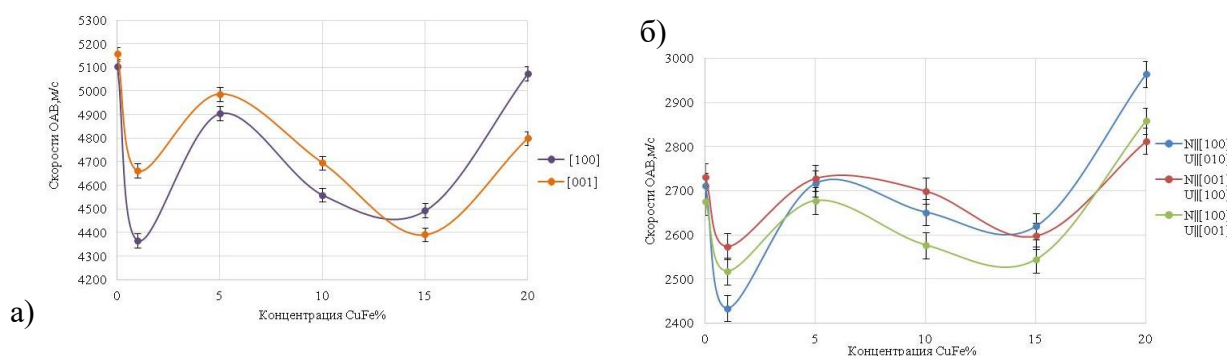


Рисунок 1. Скорости продольных (а) и сдвиговых (б) ОАВ

Для нахождения осредненных модулей упругости $\langle C_{\alpha\beta} \rangle$ было решено уравнение Кристоффеля. Зависимости $\langle C_{\alpha\beta} \rangle$ от концентрации микрочастиц CuFe приведены на рис. 2.

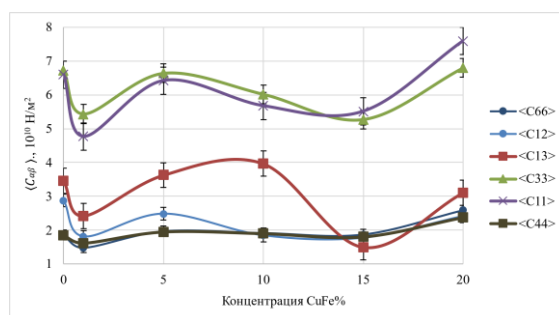


Рисунок 2. Осредненные значения модулей упругости

Из зависимостей видно, что характерным являются минимумы при концентрации микропорошков CuFe 1% и 15% для продольных и сдвиговых модулей упругости.

Зависимости упругих постоянных повторяют характерные особенности концентрационных зависимостей скоростей ОАВ.

Список литературы

1. Miracle D. B. Metal matrix composites—from science to technological significance //Composites science and technology. 2005. V. 65. No. 15-16. P. 2526–2540.
2. Butler R. Ready for take-off //Professional Engineering. 2005. V. 18. №. 1.
3. Suresh S., Needleman A. Analyses of Deformation and Ductility in Metal-Ceramic Composites // ASME APPLIED MECHANICS DIVISION-PUBLICATIONS-AMD. 1993. V. 150. P. 191
4. Wu J., Zhou S., Li X. Ultrasonic attenuation-based inspection method for scale-up production of A206-Al₂O₃ metal matrix nanocomposites //Journal of manufacturing science and engineering. 2015. Vol. 137. No. 1.
5. Characterization in the Icosahedral Phase of Al₆₃Cu₂₅Fe₁₂ System / L.

Nascimento, A. Melnyk //Orbital: The Electronic Journal of Chemistry. 2019. P. 155–160.

6. Особенности синтеза квазикристаллических соединений в системах $\text{Al}_{63}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}$ и $\text{Al}_{62}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}\text{Si}_3$ / П. П. Турчин, А.И. Зайцев, А.Д. Васильев [и др.] // Вестник КрасГУ. 2006. №1. С 29–33.

7. Отчет о работе объединенной научно-учебной лаборатории «Керамические материалы»: препринт. № 804Ф / К. С. Александров [и др.] // Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т физики им. Л.В. Киренского, Краснояр. науч.-образоват. центр высоких технол. - Красноярск : ИФ СО РАН, 2000. С 22.

8. Импульсные автоматизированные измерения скоростей упругих волн в кристаллах / П. П. Турчин, А. А. Парферов, Н. А. Токарев [и др.] // Ползуновский вестник. 2011. № 3/1. С.143–147.

УДК 537*537.6*537.9

ВЫРАЩИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{HoFe}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ЗОННОЙ ПЛАВКИ

В. А. Шевченко¹

Научный руководитель К. А. Шайхутдинов¹

Кандидат физико-математических наук, доцент

¹*Сибирский федеральный университет*

Редкоземельные ортоферриты с общей формулой $R\text{FeO}_3$ представляют собой интересное, с точки зрения магнитных свойств, семейство ромбических кристаллов (пространственная группа №62). Они обладают слабым ферромагнитным моментом, вызванным скосом антиферромагнитных подрешеток. В них наблюдается множество эффектов, таких как, спонтанный спин-переориентационный переход [1-3], наблюдение нетривиальной спиновой динамики в редкоземельной подсистеме и др. Многие из этих эффектов имеют значительный потенциал практического применения. Наиболее изученным из вышеперечисленных явлений, наблюдающихся в ортоферритах, является спонтанный спин-переориентационный переход, который был впервые обнаружен более полувека назад. Для изменения температуры спин-ориентационного перехода T_{SR} часто используется изовалентное замещение в подсистеме железа [3,4], при этом можно наблюдать спин-переориентационный переход, как при азотных, так и при комнатных температурах.

В недавней работе, посвященной росту и исследованию серии монокристаллов $\text{HoFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($0 < x < 1$) [4], было показано, что при замещении железа на марганец температура спин-ориентационного перехода существенно

увеличивается. Так, при концентрации марганца $x = 0.4$, $T_{SR} = 294$ К, тогда как для незамещенного соединения HoFeO_3 $T_{SR} = 58$ К. Кроме этого, при таком замещении меняется тип магнитного ориентационного перехода от перехода II рода ($\text{AxFeGz} \rightarrow \text{CxGyFz}$) ($x = 0$), при котором происходит вращение слабого ферромагнитного момента из направления b к направлению c кристалла по мере уменьшения температуры, к переходу первого рода ($\text{AxFeGz} \rightarrow \text{GxCyAz}$) с наличием слабого ферромагнитного момента только в направлении b (для установки Pnma) в области высоких температур.

Данная работа является логическим продолжением работы [4], в которой изучается изовалентное замещение железа на немагнитный алюминий в серии монокристаллов $\text{HoFe}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$.

Рост монокристаллов осуществлялся методом оптической зонной плавки. Подготовка поликристаллического образца происходит следующим образом: сначала производится взвешивание исходных оксидов в определенной пропорции и их перемешивание до однородного состояния. Далее с помощью резинового шарика формируется заготовка в виде стрежня, которая прессуется и отжигается в трубчатой печи. Затем полученную заготовку можно помещать в печь оптической зонной плавки. Этапы подготовки образца схематично изображены на Рисунке 1.

Таблица 1- Массы оксидов

X, %	Оксиды	Масса, г
0,05	Ho_2O_3	17,18
	Fe_2O_3	6,89
	Al_2O_3	0,23
0,1	Ho_2O_3	14,53
	Fe_2O_3	5,53
	Al_2O_3	0,39
0,2	Ho_2O_3	14,53
	Fe_2O_3	4,91
	Al_2O_3	0,78

1450 °C в
течение 10
часов



300
МПа



Рисунок 5. Этапы подготовки поликристаллического образца

Фотографии процесса роста и полученного монокристаллического образца представлены на Рисунок 6.

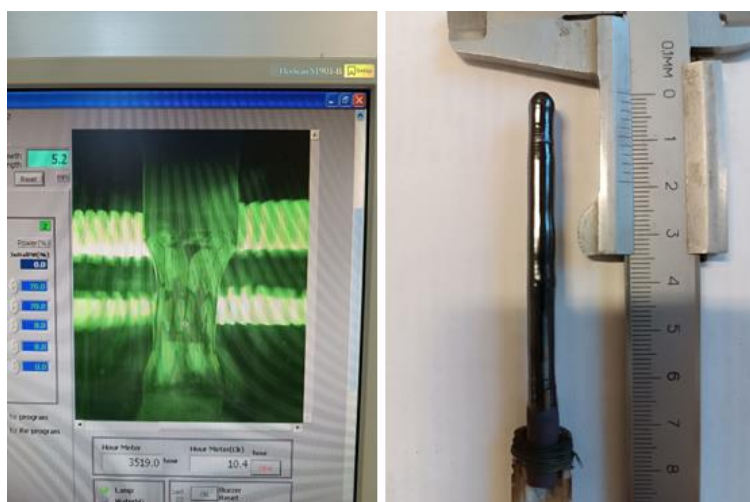


Рисунок 6. Процесс роста и полученный образец

Рост монокристаллов осуществлялся в печи оптической зонной плавки FZ-T-4000 (Crystal System Corp., Japan). Рост осуществлялся при нормальном давлении, в качестве газовой среды выступал воздух, относительная скорость вращения стержней составляла 30 об/мин, скорость роста 3 мм/ч.

Кроме этого, целью работы являлось определение предела растворимости алюминия в $\text{HoFe}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$. Оказалось, что при вышеописанных условиях роста максимальная концентрация алюминия составила порядка 25%.

На полученных образцах $\text{HoFe}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ ($x=0.05, 0.1, 0.2$) были проведены магнитные измерения. На Рисунке 3 представлены температурные зависимости намагниченности вдоль кристаллографических осей b и c при внешнем магнитном поле $H=100$ Э.

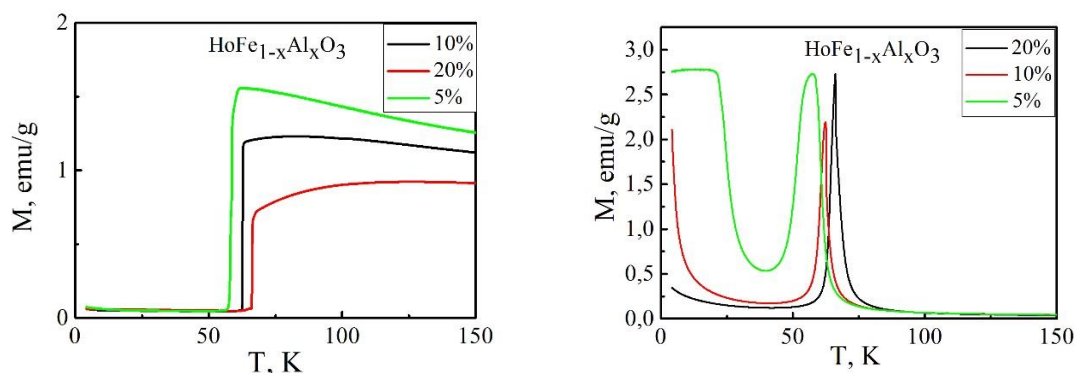


Рисунок 3 а,б. Температурная зависимость намагниченности $M(T)$ в серии монокристаллов, измеренных вдоль направления b, c . Величина внешнего магнитного поля $H=100$ Э.

Из рисунка 3а видно, что температура спин-ориентационного перехода возрастает при увеличении концентрации алюминия. При этом величина магнитного момента монотонно уменьшается. Однако, измерения, проведенные вдоль оси c показали нетривиальный вид зависимостей $M(T)$. Видно, что есть

пик намагниченности в области спин-ориентационного перехода, а также возникновение еще одной магнитной фазы в области низких температур для образца с концентрацией алюминия $x=0.05$.

В ходе выполнения работы методом оптической зонной плавки были выращены монокристаллы $\text{HoFe}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ ($x=0.05, 0.1, 0.2$). Определен предел

р

а

с

т

в

о

р

и

м

б

с

т

и

ж

к

р

ю

м

и

н

и

я

в

п

о

д

с

и

с

т

е

м

е

ж

е

л

е

з

а

Список литературы

1. R. L. White. Work on the Magnetic and Spectroscopic Properties of the Rare-Earth Orthoferrites // J. Appl. Phys. 40. 1969. С. 1061.
2. О новых ориентационных переходах в ортоферритах, индуцированных внешним полем / К. П. Белов, А. К. Звездин, А. М. Кадомцева, И. Б. Крынецкий // ЖЭТФ. 1974. С. 67.
3. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках / К. Белов, А. Звездин, А. Кадомцева, Р. Левитин // Наука. 1979. 317 с.
4. Управление температурой спин-переориентационного перехода в монокристаллах $\text{HoFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ / К. А. Шайхутдинов, С. А. Скоробогатов, Ю. В. Князев, Т. Н. Камкова, А. Д. Васильев, С. В. Семенов, М. С. Павловский, А. А. Красиков // ЖЭТФ. 2024. №5. С. 685–699.

Экология водных и наземных экосистем

УДК 574.55*592*577.115.3

БИОХИМИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И ПРОДУКЦИЯ ЗООБЕНТОСА РЕКИ ОБЬ И ЕЕ ПРИТОКОВ

С. В. Андрущенко^{1,2}

Научный руководитель М. И. Гладышев^{1,2}

Доктор биологических наук, член-корреспондент Российской академии наук,
профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Для поддержания нормальной жизнедеятельности живых организмов необходимо содержание в достаточном количестве физиологически важных компонентов, среди которых можно выделить полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК). Полиненасыщенные жирные кислоты, в частности эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая кислоты (ДГК), являются неотъемлемыми компонентами функционирования сердечно-сосудистой и нервной систем, регулируют работу мышечной ткани, влияют на процессы воспаления и выполняют ряд иных физиологически необходимых функций организма животных [1]. Однако, животные не способны самостоятельно синтезировать данные жирные кислоты в достаточном количестве и должны получать их с пищей [2]. Так, бентосные организмы могут получать данные жирные кислоты при питании фитопланктоном и далее передавать их по трофическим цепям рыбам [1]. Рыбы являются основным источником ЭПК и ДГК для человека [3]. В верхнем течении реки Обь значительную долю ихтиофауны составляют бентоядные рыбы, однако, состав и содержание жирных кислот их кормовой базы – зообентоса, в настоящий момент недостаточно изучен [4].

Пробы зообентоса в реке Обь (на участке реки в черте г. Новосибирск) и её притоках первого порядка - реках Иня и Тула, собирали круговым скребком Дулькейта (площадь захвата в 0,1 м²) на глубине 0,5 метра в августе 2021 года, с мая по сентябрь 2022 года и в августе 2023 года. Проводили камеральную обработку для последующего установления видового состава, а также численности и биомассы зообентоса. Пробы зообентоса для определения состава и содержания жирных кислот собирали в августе 2023 года. После пробы разбирались по систематическим группам и выстаивались в течении суток в емкостях с водой для опорожнения кишечных трактов. Далее организмы промакивались фильтровальной бумагой и взвешивались, после чего фиксировались смесью хлороформ:этанола в соотношении 2:1. Процесс анализа

жирных кислот проводился согласно методике, описанной в статье Андрущенко и др., 2024 г. По полученным данным проводился корреляционный и однофакторный дисперсионный анализ, рассчитывались средние и стандартные ошибки.

Отмечается относительно высокое суммарное содержание ЭПК и ДГК во всех систематических группах исследования, за исключением Trichoptera, Bivalvia и Gastropoda. Во всех случаях данные значения были сопоставимы с литературными данными по соответствующим систематическим группам из различных местообитаний. Полученные данные подтверждают литературные данные о том, что основной вклад в содержание ЭПК и ДГК в организмах зообентоса вносит филогенетический фактор.

Продукция и продуктивность зообентоса по сумме ЭПК и ДГК не отличалась между реками Обь, Иня и Тула, однако существенно отклонялось от данных показателей рек Енисейского бассейна (рек Енисей, Кача и Мана) по литературным данным, имеющих иной доминирующий комплекс донных беспозвоночных. Таким образом, при сопоставимых величинах биомассы и продукции зообентоса рек, определяющее влияние на его продуктивность по ЭПК и ДГК, то есть, на биохимическое качество кормовой базы рыб, оказывает видовой состав, формирующийся в результате взаимодействия комплекса биотических и абиотических факторов.

Список литературы

1. Gladyshev M. I., Sushchik N. N. Long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids in natural ecosystems and the human diet: assumptions and challenges // *Biomolecules*. 2019. V. 9. P. 485.
2. Patel A., Rova U., Christakopoulos P., Matsakas L. Introduction to essential fatty acids // *Nutraceutical Fatty Acids from Oleaginous Microalgae: A Human Health Perspective*. 2020. P. 1-22.
3. Gladyshev M. I., Makhutova O. N., Gubanenko G. A., Rechkina E. A., Kalachova G. S., Sushchik N. N. Livers of terrestrial production animals as a source of long-chain polyunsaturated fatty acids for humans: An alternative to fish? // *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2015. V. 117. P.1417–1421
4. Визер А. М., Визер Л. С. Особенности воспроизводства рыб реки Оби в черте города Новосибирска // *Вестник НГАУ*. 2018. №. 1. С. 120-126.

УДК 574.34*574.55

СЕЗОННЫЕ ТРЕНДЫ ПОПУЛЯЦИИ РУЧЕЙНИКОВ *ARATANIA CRYMORPHILA* (MCLACHLAN, 1880), АССОЦИИРОВАННЫХ С ВОДНЫМ МХОМ, НА МОДЕЛЬНОМ УЧАСТКЕ Р. ЕНИСЕЙ

Д. А. Коновалова¹

Научный руководитель Т. А. Зотина^{1,2}

Кандидат биологических наук, доцент

¹Сибирский федеральный университет

Водный мох – вечнозелёный макрофит, который вегетирует в Енисее круглый год, образуя среду обитания для беспозвоночных гидробионтов – бриофауны. В среднем течении реки Енисей на водном мхе была зарегистрирована высокая численность личинок ручейников *Apatania crymophila* (McLachlan, 1880), которые являются одним из основных компонентов питания ценной промысловой рыбы – хариуса. Причины доминирования личинок ручейников этого вида в бриофауне Енисея пока не ясны, однако очевидно, что беспозвоночные водного мха, в том числе ручейники, вносят вклад в потоки вещества в экосистеме среднего Енисея, при этом возрастная структура популяции и сезонная динамика количественных показателей этих насекомых остаются практически неизученными.

Цель данной работы – изучить сезонные тренды популяции личинок ручейников *A. crymophila* на водном мхе на модельном участке среднего течения р. Енисей, где водный мох является единственным представителем погруженных макрофитов.

Пробы сообщества беспозвоночных водного мха (водная бриофауна) и пробы беспозвоночных минерального грунта (зообентос) собирали в р. Енисей в июне-ноябре 2022-2023 гг. на расстоянии около 19 км ниже плотины Красноярской ГЭС на участке, где из-за влияния вод, сбрасываемых ГЭС, температура воды летом не превышает 13 °С, а зимой не формируется ледяной покров. Для определения биомассы популяции личинок на водном мхе возникла необходимость получения размерно-весовых зависимостей, ввиду большой численности выборок.

Анализ зависимостей между линейными размерами домика, а также ширины головной капсулы и массой личинок показал, что связь массы личинок с длиной домика является наиболее сильной и статистически значимой и описывается линейной зависимостью $y = 0,36x - 1,11$ ($R^2 = 0,74$; $p < 0,001$). Для изучения возрастной структуры популяции ручейников был предложен способ

разделения личинок на возрастные группы, основанный на математическом разделении выборки на размерные классы по длине домиков. Изучение сезонной динамики личинок ручейников на водном мхе и на галечном дне показало, что популяции достигали максимума численности и биомассы в октябре, что отличается от популяции вида в естественных водоёмах с неизменённым термическим режимом, где максимум этих показателей приходится на август. В р. Енисей было отмечено два поколения личинок, в то время как у популяции личинок этого вида в неизменённых естественных условиях отмечается лишь одно поколение [1]. Сезонная продукция личинок ручейников на водном мхе в 2023 году была в два раза выше, чем в 2022 году, что, возможно, обусловлено аномально низким уровнем воды в реке в 2022 году.

Таким образом, мы предполагаем, что изменённый термический режим в р. Енисей, вероятно, способствует массовому развитию ручейников *A. coryphila*

Список литературы

1. Irons J. G. Life history patterns and trophic ecology of Trichoptera in two Alaskan subarctic streams (U.S.A.) // Canadian Journal of Zoology. 2007. V. 66 PP. 1258-1265.

УДК 574*

ВЛИЯНИЕ АКВАКУЛЬТУРНЫХ КОРМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКЦИИ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕОНА ГОЛУБОГО

И. К. Макина¹, С. М. Максимова¹

Научный руководитель С. О. Зотов²

педагог дополнительного образования

Научный руководитель М. Н. Березина¹

учитель

¹МАОУ «Лицей № 1

²Красноярский краевой центр «Юннаты»

В условиях растущей потребности в устойчивом развитии рыбного хозяйства, одним из приоритетных направлений становится поиск альтернатив традиционным кормам в аквакультуре. Одним из наиболее перспективных решений является использование растительных кормов. Растительные корма позволяют существенно снизить затраты на содержание рыб, а также

способствуют повышению рентабельности производства за счёт использования местных и легко возобновляемых сельскохозяйственных ресурсов [1-6].

Современные исследования показывают, что разнообразные растения и побочные продукты сельского хозяйства могут эффективно использоваться в рационе аквакультурных видов. Некоторые из них, такие как южный тростник, яблочный жом, кукуруза, соя и пшеница, уже находят применение в практике кормления рыб, демонстрируя положительное влияние на рост, иммунитет. Благодаря высокой биомассе, питательной ценности и доступности, эти компоненты представляют интерес как с точки зрения кормовой базы, экологически устойчивого производства [1-6].

В качестве модельного объекта для оценки эффективности растительных кормов в данном исследовании выбран неон голубой (*Paracheiroidon innesi*) — популярная аквариумная рыба, известная своей яркой окраской, стайным поведением и адаптивностью к различным условиям содержания [4].

Актуальность: Продукция водных экосистем во многом достигла предела поскольку дальнейшее изъятие экономически нецелесообразно. Поэтому возникает необходимость замещения аквакультурных кормов источниками из наземных экосистем.

Цель: оценить влияние аквакультурных кормов с использованием продукции наземных экосистем на ростовые показатели неона голубого.

Задачи:

1. Рассмотреть и подобрать экспериментальные составы кормов для неона голубого;
2. Провести эксперимент над неоном голубым;
3. Оценить влияние состава кормов на ростовые показатели неона голубого.

Исследование направлено на оценку эффективности экспериментального корма на основе растительных компонентов (рыбная мука, соевый изолят, кукуруза) для голубого неона в сравнении с коммерческим аналогом (Tetra Cichlid Sticks). Эксперимент проведен на 30 особях голубого неона (возраст 25 недель, масса ~0.07 г), разделенных на три группы: исходные параметры (контроль 1), коммерческий корм (контроль 2) и опытная группа. Состав опытного корма включал 31% рыбной муки, 31% соевого изолята, 37% кукурузы и 1% связующих компонентов с балансом нутриентов (46% белков, 13% жиров, 30% углеводов). Условия содержания: аквариумы 35 л, температура 26°C, pH 7.5, жесткость 6 dGH, световой режим 16/8. Кормление осуществляли ежедневно (5% от массы тела) в течение двух недель.

Результаты показали, что промысловая и абсолютная длина тела рыб в опытной группе превышали значения контрольных групп ($F=17.75$ и $F=19.34$, $p>0.05$). Масса тела без внутренностей также увеличилась ($F=33.65$, $p>0.05$), тогда как общая масса осталась без значимых изменений ($F=1.87$, $p>0.05$).

Наблюдалось снижение яркости синего ($F=33.65$) и красного ($F=123.3$) цветов в опытной группе ($p>0.05$), что указывает на влияние корма на декоративные качества. Физиологические параметры (наполненность ЖКТ, жирность) оставались стабильными (0-1 балл по шкале Лебедева), смертность отсутствовала.

Экспериментальный корм продемонстрировал сопоставимую с коммерческим аналогом эффективность в стимулировании роста, однако вызвал снижение интенсивности окраски, что критично для декоративных видов. На основании полученных данных корм может быть рекомендован как рентабельная краткосрочная подкормка. Для минимизации негативного влияния на окрас требуется введение пигментных добавок. Перспективы работы включают оптимизацию рецептуры и изучение долгосрочных эффектов корма на физиологию и репродукцию рыб.

Список литературы

1. Обоснование рациональных параметров экструдирования растительных компонентов на оборудовании малой мощности для получения комбикормов для аквакультуры / Артемов Р. В., Кононова С. В., Пахомов В. И. [и др.] // Труды ВНИРО. 2019. Т. 176. С. 182–192.
2. Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Хлыстунов В. Ф. Экструдирование кормов для аквакультуры (обзор) // Таврич. вестн. аграр. науки. 2021. № 1 (25). С. 38.
3. Биотехнологические подходы при использовании белков рапса и сои в кормах аквакультуры лососевых рыб / Кононова С. В., Пахомов В. И., Плотко А. Р. [и др.] // Биотехнология. 2016. Т. 32. № 5. С. 57–68.
4. Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор) / Пахомов В. И., Плотко А. Р., Поддубная И. В. [и др.] // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 3. С. 281–294.
5. Плотко А. Р., Поддубная И. В. Влияние препарата «Каролин» на морфофизиологические показатели харациновых (Characidae) в условиях аквариумистики // Актуальные проблемы ветеринар. медицины, пищевых и. 2022. С. 497.
6. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Колос, 1966. 376 с.
7. Тростник южный в кормах для прудовых растительноядных рыб: экологический, социальный, экономический эффекты / Скоков Р. Ю., Брагинец С. В., Хлыстунов В. Ф. [и др.] // Рыбное хозяйство. 2025. № 5. С. 60–66.
8. Анализ кормов для их применения в аквакультуре с целью совершенствования механизированного кормления рыбы / Чернявский И. А., Артемов Р. В., Кононова С. В. [и др.] // Теория и практика соврем. аграр. науки. 2022. С. 641–645.

УДК 574*

ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ МЕДИ НА РОСТОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛОТВЫ СИБИРСКОЙ КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И. С. Сафонова¹

Научный руководитель С. О. Зотов¹
педагог дополнительного образования

¹Красноярский краевой центр «Юннаты»

Целью настоящего исследования является оценка влияния солей меди на ростовые параметры плотвы сибирской (*Rutilus rutilus lacustris*), обитающей в Красноярском водохранилище [1]. В исследовании проанализированы биологические и морфометрические показатели 71 особи, выловленной в Караульном заливе (Красноярское водохранилище). Определялись возраст (по чешуе), абсолютная и промысловая длина тела, масса, масса без внутренностей, половая зрелость, наполненность желудочно-кишечного тракта и жирность тканей [3]. Для количественного анализа меди в мышечной ткани применялся метод йодометрического титрования после мацерации проб (навеской в ~20 г.) в 70% этаноле [2].

Результаты показали, что ростовые параметры (длина и масса тела) плотвы увеличиваются с возрастом, что соответствует естественному распределению в стаде. Накопление меди в мышечной ткани также показало тенденцию к увеличению с возрастом и массой тела, при этом установлена линейная зависимость ($R^2 = 0.27$), позволяющая использовать массу тела как ориентир для оценки содержания меди. Несмотря на выявленные концентрации меди, они не превышали допустимых уровней, установленных для пищевых объектов, и не оказывали выраженного влияния на темпы роста и развитие особей.

Анализ корреляционной связи между содержанием меди и морфометрическими параметрами рыб не выявил статистически значимой зависимости. Это свидетельствует об устойчивости популяции плотвы к текущим уровням загрязнения и отсутствию острых токсических эффектов. Тем не менее, с учетом потенциального кумулятивного действия тяжелых металлов, результаты подчеркивают необходимость проведения регулярного экологического мониторинга водоема.

Полученные данные могут использоваться как индикаторы экологического состояния водоема и как основа для разработки природоохранных мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки и сохранение биоразнообразия.

Список литературы

1. Алимов А. Ф., Иванова М. Б., Гольд З. Г. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод. М.: Сиб. федер. ун-т, 2008. 537 с.
2. Вершинин, В. И. Аналитическая химия / В. И. Вершинин, И. В. Власова, И. А. Никифорова. 2-е, Переработанное, Дополненное. Санкт-Петербург : Издательство Лань, 2017. 428 с.
3. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Колос, 1966. 376 с.

УДК 630*641

ЛЕСНАЯ РЕГИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

О. В. Серебряков¹

Научный руководитель Н. Н. Харченко¹
Доктор биологических наук, профессор

¹*Воронежский государственный лесотехнический университет имени
Г. Ф. Морозова*

В последние годы большую актуальность набирают исследования в области изменения климата. Различные климатические факторы могут негативно повлиять на леса. Засухи, ливни, шквалистый ветер, обледенения могут привести к деградации лесных экосистем.

В ходе многолетних исследований было выявлено, что климатические изменения на территории Сибири Российской Федерации привели к смещению границ различных лесообразующих пород. Наиболее индикаторными считаются хвойные насаждения. В настоящее время на территории Западного Саяна происходит смещение кедрово-пихтовых лесов. Это связано с условиями потепления температурных показателей в горной местности данной географической территории (Пахарькова, 2023). Продолжение изменений в климатической структуре может привести к изменению состава лесных систем. По этой причине ряд ученых считают, что оценка уровня и прогнозирование опасности климатических рисков может предупредить ряд проблем и адаптировать лесное хозяйство к последующим изменениям в структуре лесных экосистем (Сорока, 2024).

Цель исследования – изучить влияние климатических изменений на лесную систему Воронежской области. Для достижения цели были решены следующие задачи: проанализирована динамика климатических изменений на территории Воронежской области, собраны данные по неблагоприятным

метеорологическим явлениям, определены основные климатические показатели, влияющие на леса Воронежской области.

В качестве объекта исследования была выбрана Воронежская нагорная дубрава, которая представляет собой уникальную природную экосистему. Главная лесообразующая порода – дуб черешчатый, который занимает примерно 85% площади объекта. Данный природная территория имеет огромное экологическое и экономическое значение для региона. Рекреационная функция лесной экосистемы выполняет оздоровительную роль и является местом отдыха для населения. На территории дубравы расположен санаторий, лесопарк, тропиночная сеть экотроп.

Климат Воронежской области – резко-континентальный умеренного пояса. Характерен достаточно теплым и засушливым летом и холодной зимой. Имеет ярко выраженную сезонную палитру, что делает регион достаточно актуальным для изучения климатических изменений.

Для исследования климата был собран и проанализирован массив данных Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных». В ходе исследования проанализирована тенденция климатических изменений температур за 10 лет с 2013 по 2023 годы. На рисунке 1 представлена гистограмма сравнения среднемесячных температурных показателей по двум исследуемым периодам. Для удобства сравнения исследуемый период был поделен на два климатических периода.

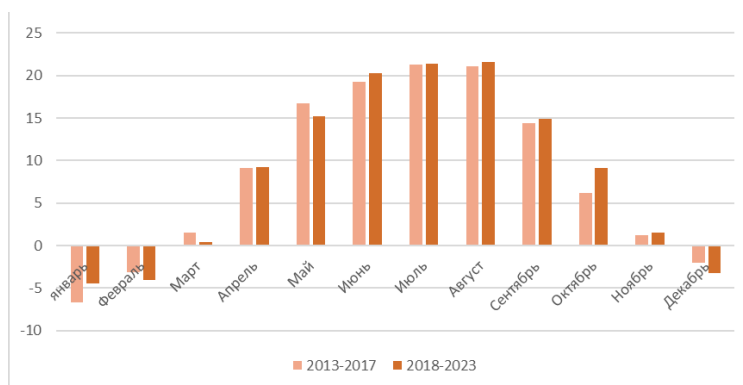


Рисунок 1. Гистограмма среднемесячных температур по данным станции 34123-Воронеж

По данным гистограммы видно, что происходит повышение температурных показателей. Особенно заметны изменения в летне-осенний период. Самый большой температурный скачок зафиксирован в октябре – изменения отразили повышение на 2,1°C. Подобные метаморфозы влияют на продолжительность теплого периода в регионе, что может повлиять на увеличение сроков пожароопасного периода в регионе.

Для понимания степени увлажненности региона необходимо проанализировать тенденцию изменения выпадения атмосферных осадков.

На рисунке 2 представлена гистограмма по сумме выпавших атмосферных осадков в теплый период на территории региона. Изменения в режиме осадков не столь заметны. В ходе исследования замечена некая цикличность. Постоянного снижения не наблюдается, но при этом в некоторые исследуемые года фиксируются ощутимые снижения.

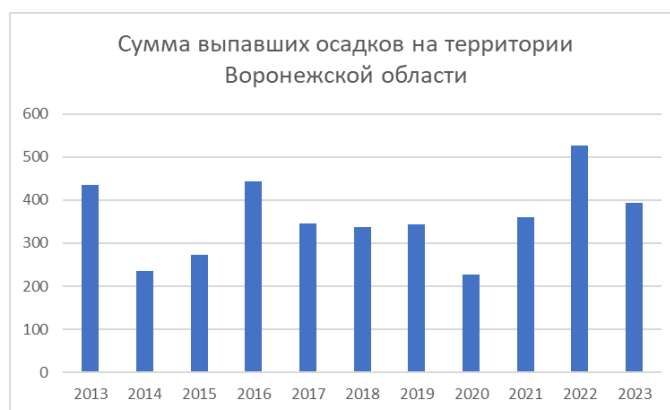


Рисунок 2. Сумма выпавших атмосферных осадков по данным станции 34123-Воронеж

В ходе исследования были отобраны дни неблагоприятных метеорологических явлений по дням пожароопасности. На рисунке 3 представлен график тенденции зафиксированной пожароопасности в регионе.

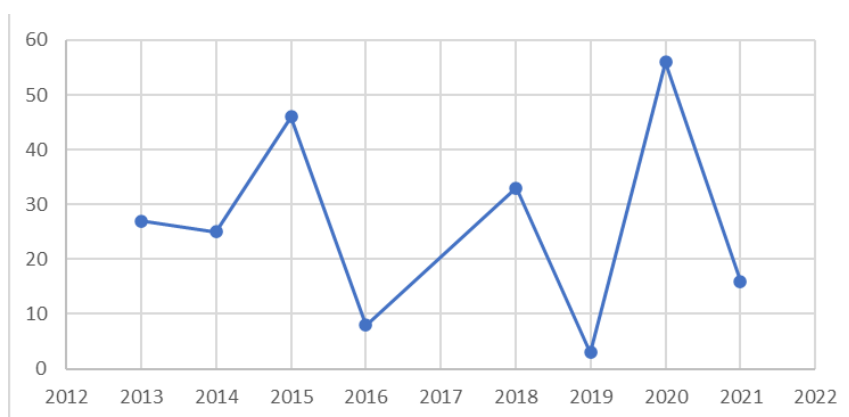


Рисунок 3. Тенденция пожарной опасности в регионе (кол-во дней)

При сопряжении климатических показателей с зафиксированными неблагоприятными явлениями можно сделать вывод, что период объявления пожароопасности напрямую зависит от температурных показателей и режима осадков в регионе. При повышенных температурах осенью и летом увеличивается период пожароопасности в регионе. В ходе проведенного исследования можно сделать вывод, что с каждым годом происходит изменения климатических показателей на территории Воронежской области. Это напрямую влияет на пожароопасность региона, что несет колоссальную опасность для

лесных массивов и может привести к лесным пожарам и деградации целых экосистем.

Список литературы

1. Инструментарий оценки уровня опасности климатических рисков в лесном хозяйстве / А. О. Сорока, Е. И. Семенова, И. С. Недбаев [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. № 251. С. 172-185. DOI 10.21266/2079-4304.2024.251.172-185. – EDN YCQNJK.

2. Подрезова, Ю. А. Оценка климатических факторов риска пожарной опасности леса на исследуемых территориях Воронежской и Калужской областей в сезон 2022 Г / Ю. А. Подрезова // Географический вестник. 2024. № 1(68). С. 138-150. DOI 10.17072/2079-7877-2024-1-138-150. – EDN CIBRLO.

3. Хантемиров, Р. М. Изменения климата и формирование возрастных поколений лиственницы на полярной границе леса на Ямале / Р. М. Хантемиров, А. Ю. Сурков, Л. А. Горланова // Экология. 2008. № 5. С. 323-328. EDN JRFUAN.

УДК 504.064.36*551.35*574

УГЛИСТЫЕ ЧАСТИЦЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАЛИВА ВАРЧА (КРАСНОЯРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ) КАК ИНДИКАТОР АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А. А. Шмурова¹

Научный руководитель Д. Ю. Рогозин^{1,2}

Доктор биологических наук, доцент

¹*Сибирский Федеральный Университет*

Донные отложения водоемов представляют собой чрезвычайно ценные природные архивы, которые сохраняют в себе многолетнюю, а зачастую и многовековую информацию о динамике окружающей среды. Благодаря своей слоистой структуре и способности аккумулировать различные биологические, геохимические и минеральные компоненты, они позволяют ученым проводить детальную реконструкцию изменений природных условий на протяжении длительных временных промежутков – от нескольких столетий до тысячелетий [1].

Особую значимость эти отложения приобретают в контексте изучения истории природных и антропогенных воздействий на водные и прибрежные экосистемы. В частности, они содержат важные маркеры, такие как углистые частицы, которые образуются в результате процессов горения растительности.

Эти микроскопические фрагменты являются своего рода «летописью» пожаров, фиксируя периоды повышенной пожарной активности в прошлом.

Анализ углистых частиц в донных отложениях дает возможность не только определить частоту и интенсивность возгораний, но и установить их возможные причины. Так, увеличение концентрации таких частиц в определенных слоях может быть связано как с естественными климатическими колебаниями (например, периодами засухи или потепления), так и с антропогенными факторами, такими как расчистка земель под сельское хозяйство, вырубка лесов или использование огня в хозяйственных целях [2,3].

Информация об интенсивности и частоте пожаров в прошлом необходима для прогнозного моделирования возможных пожарных обстановок в будущем при различных сценариях климатических изменений и антропогенных воздействий.

Целью нашей работы было на основе анализа углистых частиц в донных отложениях реконструировать динамику пожаров в окрестностях залива Варча на протяжении всего периода его существования.

Объектом исследований является обособленный залив Варча (рисунок 1), который образовался в 1971 году в результате затопления небольшого соленого озера Варча водами р. Енисей после строительства Красноярской ГЭС и образования Красноярского водохранилища. Залив имеет глубину 41 м и отделен от основного русла водохранилища узким мелководным проливом.

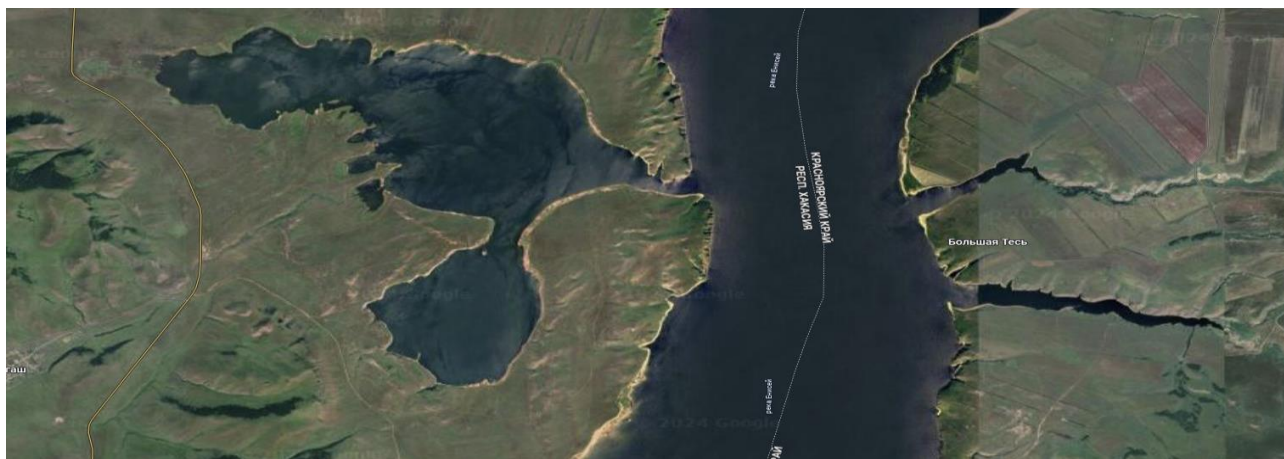


Рисунок 1. Залив Варча

Керн донных отложений был отобран 30 июля 2024 года в центральной части залива Варча в точке с координатами 54°47.09'СШ, 90°51.39' ВД с помощью гравитационного керноотборника UWITEC (Австрия).

Поток угольных частиц типа «травинки» (рисунок 2) и в наибольшей степени типа «листки» (рисунок 3) резко возрастает в последние два десятилетия, что вероятно отражает увеличение количества сжигаемых

людьми древесины и угля в окрестностях исследованных озер в современный период.

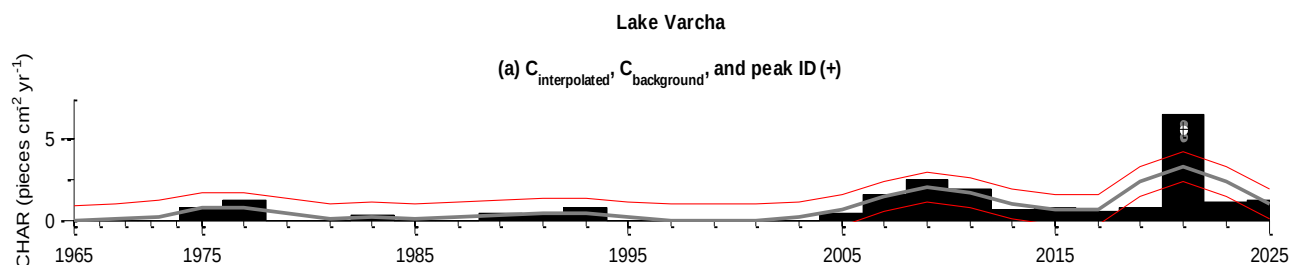


Рисунок 2. График зависимости количества частиц на см² от возраста (1д частицы)

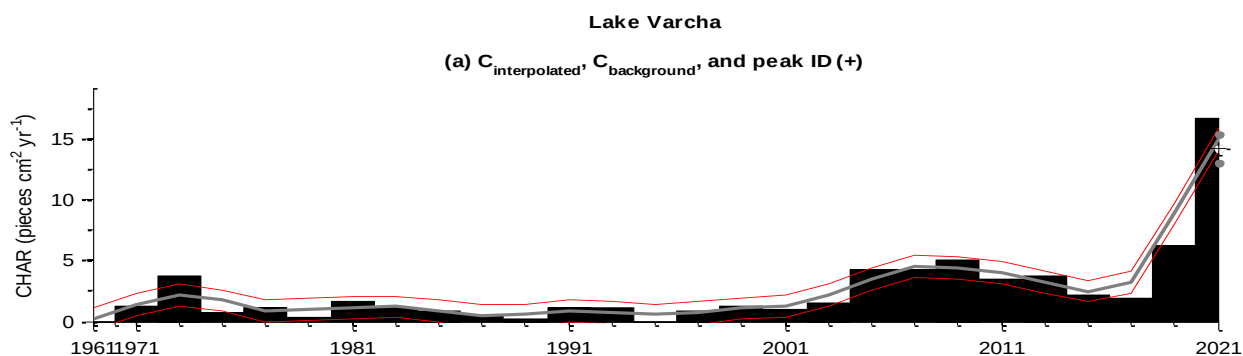


Рисунок 3. График зависимости количества частиц на см² от возраста (2д частицы)

Это увеличение согласуется с результатами для других озер Северо-Минусинской котловины и, предположительно, связано с увеличением антропогенного воздействия, как в виде случайных и преднамеренных поджогов, так и в виде сжигания древесины и углей для отопления жилых зданий и отдыха на территории, прилегающей к озерам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 25-17-68006 (продление проекта 22-17-00185).

Список литературы

1. Влияние антропогенных факторов на водные экосистемы / Пукало, П. Я., Базаева, А. В., Беспалый, А. В. [и др.] // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2020. – №. 3. – С. 33-36.
2. Marlon J. R. What the past can say about the present and future of fire / Marlon J. R. // Quaternary Research. – 2020. – Vol. 96. – P. 66-87.
3. Беспрецедентное увеличение количества углистых частиц в донных отложениях озер Северо-Минусинской котловины (юг Сибири) в современный

период как возможное свидетельство антропогенного влияния / Рогозин Д.Ю., Бурдин Л.А., Болобанщикова Г.Н. [и др.] // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2023. – Т. 511, № 2. – С. 280-286.

УДК 574.583

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА МАЛОГО РЕКРЕАЦИОННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА БУГАЧ

Е. А. Клечкина¹

Научный руководитель Е. А. Иванова¹
Доктор биологических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время интенсификация антропогенного влияния на водные экосистемы приводит к значительным изменениям их структурно-функциональных характеристик. Одним из распространенных проявлений таких нарушений является развитие «цветений» вод различными видами водорослей. Разнообразие факторов, способных индуцировать возникновение «цветений», а также масштаб их негативных экологических последствий обуславливает необходимость комплексного изучения данного явления, в особенности - в водоёмах, обладающих хозяйственной и рекреационной ценностью.

Целью данной работы является определение современного состояния фитопланктоценоза малого рекреационного водохранилища Бугач.

Пробы воды, объемом 0,5 л, отбирали с поверхностного слоя водохранилища Бугач на четырех станциях (станция №1 – в устье р.Бугач; станция №2 – у пляжа; станция №3 - у плотины; станция №4 – в северной части водоёма) 6 июля и 16 декабря 2024 г., фильтровали на мембранные фильтры МФАС-ОС-2 ($\varnothing=0,45$ мкм) и фиксировали раствором Кузьмина. Определение и подсчёт водорослей проводили по стандартной методике под микроскопом «Аxiostar plus»[1]. Оценка видового разнообразия и выравненности в сообществе производилась путем расчета информационного индекса Шеннона и выравненности Пиелу[4]. Обработка и визуализация полученных данных производилась при помощи ПО Microsoft Excel 2007 и RStudio.

В летний период в фитопланктоценозе Бугача было идентифицировано 65 видов водорослей из 6 отделов: Chlorophyta - 29, Cyanobacteria - 12, Bacillariophyta - 9, Euglenophyta - 8, Dinophyta - 5 и Cryptophyta – 2. В зимний

период в сообществе было обнаружено 39 видов из тех же отделов, но в ином соотношении: Chlorophyta - 18, Bacillariophyta - 7, Euglenophyta - 6, Dinophyta – 4, Cyanobacteria - 3 и Cryptophyta – 2. По данным исследований Ивановой [2], в 1997-1999 гг. в фитопланктоценозе Бугача насчитывалось 139 видовых и внутривидовых таксонов из 8 отделов. Видовое разнообразие, фиксированное в период данного исследования, значительно ниже, что может быть связано как с меньшим количеством обработанного материала и временем отбора проб, так и с естественными сукцессионными процессами в экосистеме водохранилища. Средняя численность и биомасса водорослей на станциях в июле и в декабре представлена в таблице 1: в зимний период численность фитопланктона снижалась в среднем в 160 раз, а биомасса – в 96 раз. Вклады различных отделов в общую численность и биомассу летнего и зимнего фитопланктона отображены на рис. 1 и 2 соответственно. Индексы Шеннона по станциям летом варьировали в пределах от $1,75 \pm 0,02$ бит (станция №4) до $2,51 \pm 0,08$ бит (станция №2), что позволяет интерпретировать видовое разнообразие летнего фитопланктона как среднее: при достаточно большом количестве видов значительной численности достигали только некоторые представители отдела Cyanobacteria: *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988, *Dolichospermum flos-aquae* (Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & Komárek 2009, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault 1886, *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek 1974. Индексы Шеннона для зимних станций находились в диапазоне от $3,11 \pm 0,09$ бит (станция №3) до $3,81 \pm 0,13$ бит (станция №2) – несмотря на уменьшение количества обнаруживаемых видов, увеличивается вклад каждого из них в видовое разнообразие и в сообществе возрастает выравненность. Структурные особенности фитопланктоценоза на разных станциях оценивались при помощи расчета коэффициентов видового сходства Сьёренсена-Чекановского и коэффициентов несходства Брэя-Кёртиса, по последнему была построена кластеризация сообществ летнего и зимнего фитопланктона на станциях.

Таблица

Средние численность и биомасса водорослей на станциях в период исследований

Станция	Численность, тыс. кл./л		Биомасса, мкг/л	
	Июль	Декабрь	Июль	Декабрь

1	1656,74±13,79	1,68±0,28	1112,8±76,51	1,23±0,12
2	2258,21±36,49	13,09±1,37	1954,17±122,68	6,33±1,53
3	4625,7±104,93	25,9±0,52	396,93±38,66	12,46±1,25
4	2975,16±45,66	31,27±0,91	229,36±12,09	18,24±3,64

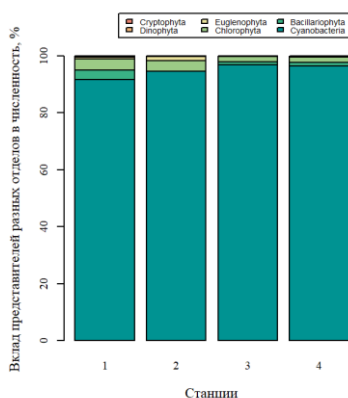
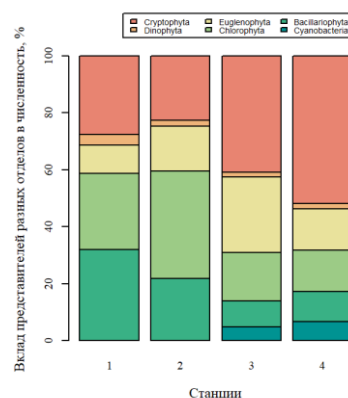
**А****Б**

Рисунок 1 – Процентный вклад представителей различных отделов водорослей в численность летнего (А) и зимнего (Б) фитопланктона

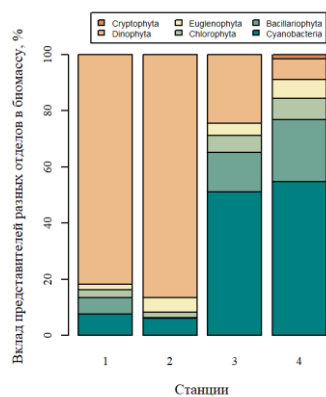
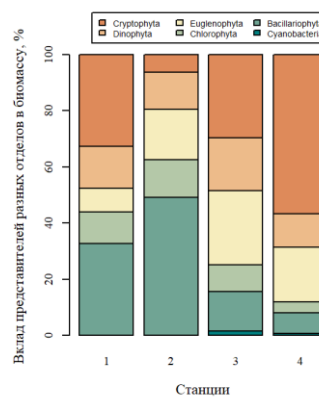
**А****Б**

Рисунок 1 – Процентный вклад представителей различных отделов водорослей в биомассу летнего (А) и зимнего (Б) фитопланктона

Совокупность структурных показателей исследуемого сообщества (биомассы, процентных вкладов представителей разных отделов в фитопланктоценоз, индекса видового разнообразия и др.) позволяет характеризовать Бугач как мезотрофный водоём, что ранее уже устанавливалось в работах Мучкиной по бактериопланктону водохранилища [3].

Анализ таксономической структуры фитопланктоценоза водохранилища показывает достоверные различия в структурах летнего и зимнего сообществ. В сезонной динамике фитопланктона можно выделить ряд паттернов. Так, в ходе сезонной сукцессии фиксируется смена доминантных комплексов видов, зимний фитопланктоценоз характеризуется менее выраженными доминантами и большей выравненностью. В зимний период также наблюдается существенное снижение численности и биомассы фитопланктона. Кластерный анализ по коэффициенту Брэя-Кёртиса показывает, что уровни несходства сообществ водорослей на разных станциях в течение года изменяются незначительно. На основании кластеризации возможно предположить, что структурные показатели фитопланктоценоза на каждой станции детерминируются не только абиотическими условиями, изменяющимися в течение года, но и характеристиками конкретного биотопа.

Список литературы:

1. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Абакумов В. А., Бубнова Н.П., Холикова Н.И. [и др.] // Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.
2. Иванова, Е. А. Динамика и функциональная роль фитопланктона в экосистемах водохранилищ бассейна Верхнего Енисея. ФГОУ ВПО" Краснояр. гос. аграр. ун-т", Красноярск, 2004. 377 с.
3. Мучкина Е. Я., Новикова В. Б. Бактериопланктон малого рекреационного водохранилища Бугач. – ФГОУ ВПО" Краснояр. гос. аграр. ун-т", 2004. 155 с.
4. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т.Д. Зинченко // Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с. ISBN 5-93424-109-5

УДК 574.583

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА МАЛОГО РЕКРЕАЦИОННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА БУГАЧ

Е. А. Клечкина¹

Научный руководитель Е. А. Иванова¹
Доктор биологических наук, профессор

¹Сибирский федеральный университет

В настоящее время интенсификация антропогенного влияния на водные экосистемы приводит к значительным изменениям их структурно-функциональных характеристик. Одним из распространенных проявлений таких нарушений является развитие «цветений» вод различными видами водорослей. Разнообразие факторов, способных индуцировать возникновение «цветений», а также масштаб их негативных экологических последствий обуславливает необходимость комплексного изучения данного явления, в особенности - в водоёмах, обладающих хозяйственной и рекреационной ценностью.

Целью данной работы является определение современного состояния фитопланктоценоза малого рекреационного водохранилища Бугач.

Пробы воды, объемом 0,5 л, отбирали с поверхностного слоя водохранилища Бугач на четырех станциях (станция №1 – в устье р.Бугач; станция №2 – у пляжа; станция №3 - у плотины; станция №4 – в северной части водоёма) 6 июля и 16 декабря 2024 г., фильтровали на мембранные фильтры МФАС-ОС-2 ($\varnothing=0,45$ мкм) и фиксировали раствором Кузьмина. Определение и подсчёт водорослей проводили по стандартной методике под микроскопом «Аxiostar plus»[1]. Оценка видового разнообразия и выравненности в сообществе производилась путем расчета информационного индекса Шеннона и выравненности Пиелу[4]. Обработка и визуализация полученных данных производилась при помощи ПО Microsoft Excel 2007 и RStudio.

В летний период в фитопланктоценозе Бугача было идентифицировано 65 видов водорослей из 6 отделов: Chlorophyta - 29, Cyanobacteria - 12, Bacillariophyta - 9, Euglenophyta - 8, Dinophyta - 5 и Cryptophyta – 2. В зимний период в сообществе было обнаружено 39 видов из тех же отделов, но в ином соотношении: Chlorophyta - 18, Bacillariophyta - 7, Euglenophyta - 6, Dinophyta – 4, Cyanobacteria - 3 и Cryptophyta – 2. По данным исследований Ивановой [2], в 1997-1999 гг. в фитопланктоценозе Бугача насчитывалось 139 видовых и внутривидовых таксонов из 8 отделов. Видовое разнообразие, фиксированное в период данного исследования, значительно ниже, что может быть связано как с меньшим количеством обработанного материала и временем отбора проб, так и с естественными сукцессионными процессами в экосистеме водохранилища. Средняя численность и биомасса водорослей на станциях в июле и в декабре представлена в таблице 1: в зимний период численность фитопланктона

снижалась в среднем в 160 раз, а биомасса – в 96 раз. Вклады различных отделов в общую численность и биомассу летнего и зимнего фитопланктона отображены на рис. 1 и 2 соответственно. Индексы Шеннона по станциям летом варьировали в пределах от $1,75 \pm 0,02$ бит (станция №4) до $2,51 \pm 0,08$ бит (станция №2), что позволяет интерпретировать видовое разнообразие летнего фитопланктона как среднее: при достаточно большом количестве видов значительной численности достигали только некоторые представители отдела Cyanobacteria: *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988, *Dolichospermum flos-aquae* (Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & Komárek 2009, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault 1886, *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek 1974. Индексы Шеннона для зимних станций находились в диапазоне от $3,11 \pm 0,09$ бит (станция №3) до $3,81 \pm 0,13$ бит (станция №2) – несмотря на уменьшение количества обнаруживаемых видов, увеличивается вклад каждого из них в видовое разнообразие и в сообществе возрастает выравненность. Структурные особенности фитопланктоценоза на разных станциях оценивались при помощи расчета коэффициентов видового сходства Сьёренсена-Чекановского и коэффициентов несходства Брэя-Кёртиса, по последнему была построена кластеризация сообществ летнего и зимнего фитопланктона на станциях.

Таблица

Средние численность и биомасса водорослей на станциях в период исследований

Станция	Численность, тыс. кл./л		Биомасса, мкг/л	
	Июль	Декабрь	Июль	Декабрь
1	$1656,74 \pm 13,79$	$1,68 \pm 0,28$	$1112,8 \pm 76,51$	$1,23 \pm 0,12$
2	$2258,21 \pm 36,49$	$13,09 \pm 1,37$	$1954,17 \pm 122,68$	$6,33 \pm 1,53$
3	$4625,7 \pm 104,93$	$25,9 \pm 0,52$	$396,93 \pm 38,66$	$12,46 \pm 1,25$
4	$2975,16 \pm 45,66$	$31,27 \pm 0,91$	$229,36 \pm 12,09$	$18,24 \pm 3,64$

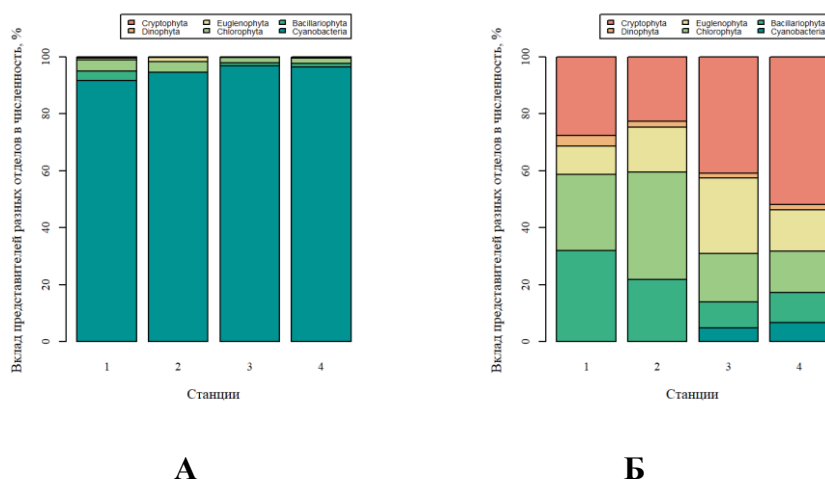


Рисунок 1 – Процентный вклад представителей различных отделов водорослей в численность летнего (А) и зимнего (Б) фитопланктона

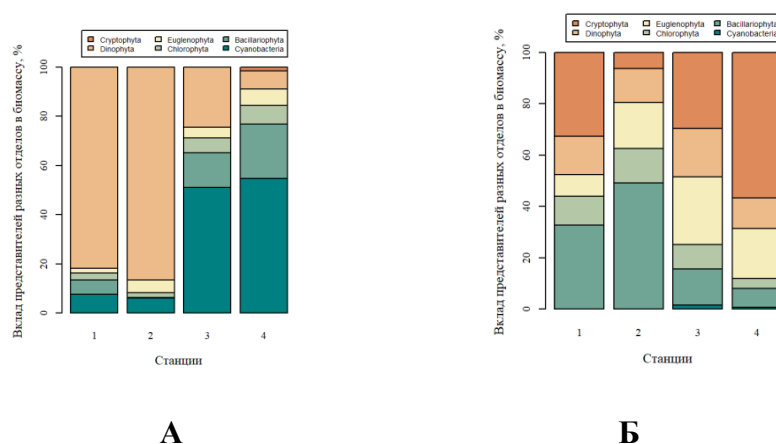


Рисунок 1 – Процентный вклад представителей различных отделов водорослей в биомассу летнего (А) и зимнего (Б) фитопланктона

Совокупность структурных показателей исследуемого сообщества (биомассы, процентных вкладов представителей разных отделов в фитопланктоценоз, индекса видового разнообразия и др.) позволяет характеризовать Бугач как мезотрофный водоём, что ранее уже устанавливалось в работах Мучкиной по бактериопланктону водохранилища [3]. Анализ таксономической структуры фитопланктоценоза водохранилища показывает достоверные различия в структурах летнего и зимнего сообществ. В сезонной динамике фитопланктона можно выделить ряд паттернов.

Так, в ходе сезонной сукцессии фиксируется смена доминантных комплексов видов, зимний фитопланктоценоз характеризуется менее выраженными доминантами и большей выравненностью. В зимний период также наблюдается существенное снижение численности и биомассы

фитопланктона. Кластерный анализ по коэффициенту Брэя-Кёртиса показывает, что уровни несходства сообществ водорослей на разных станциях в течение года изменяются незначительно. На основании кластеризации возможно предположить, что структурные показатели фитопланктоценоза на каждой станции детерминируются не только абиотическими условиями, изменяющимися в течение года, но и характеристиками конкретного биотопа.

Список литературы:

5. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Абакумов В. А., Бубнова Н. П., Холикова Н.И. [и др.] // Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.

6. Иванова, Е. А. Динамика и функциональная роль фитопланктона в экосистемах водохранилищ бассейна Верхнего Енисея. ФГОУ ВПО" Краснояр. гос. аграр. ун-т", Красноярск, 2004. 377 с.

7. Мучкина Е. Я., Новикова В. Б. Бактериопланктон малого рекреационного водохранилища Бугач. – ФГОУ ВПО" Краснояр. гос. аграр. ун-т", 2004. 155 с.

8. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко // Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с. ISBN 5-93424-109-5

УДК 574.587

ДОННЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

А. В. Купцова¹

Научный руководитель С. П. Шулепина¹

Кандидат биологических наук, доцент

Сибирский федеральный университет

Зейский заповедник расположен в восточной части хребта Тукурингра на территории Амурской области. Все реки заповедника принадлежат к бассейну р. Зеи. Целью создания заповедника было охрана и изучение флоры и фауны эталонных участков на его территории. В настоящее время большое значение

Купцова А. В.

приобретает использование зообентоса в целях биоиндикации качества вод малых рек. Донные беспозвоночные и их сообщества являются чувствительными индикаторами загрязнения биогенными и токсическими веществами, закисления и эвтрофикации водных объектов.

Целью работы было изучение структуры зообентоса водных объектов на территории Зейского заповедника.

Были исследованы водные объекты в приплотинной части Зейского водохранилища (северо-восточный склон хр. Тукурингра): по правому борту - руч. Тополева, р. Алгая, руч. Малый, руч. 10-й ключ; по левому борту - руч. Тёплый в районе кордона «Тёплый»; в нижнем бьефе Зейского водохранилища (р. Зея в районе водозабора в черте г. Зея). Два других водотока - р. Малая Эракингра и р. Каменушка – притоки реки Гулик, протекающей по подножию противоположного склона хребта Тукурингра.

Отбор проб проводили на 8 станциях в трёх повторностях в июле 2024 г. Пробы отбирали с помощью скребка Дулькейта [1]. На всех станциях грунт преимущественно представлен камнями, только в районе руч. Тёплый - песок, в районе р. Зея - ил. Температура воды на водных объектах варьировала от 3,3 °С до 23,6 °С.

В составе зообентоса зарегистрировано 30 видов донных беспозвоночных, из них отр. Diptera – 13 видов, отр. Plecoptera – 5 видов, отр. Trichoptera – 3 вида, отр. Ephemeroptera, кл. Hirudinea, кл. Gastropoda – по 2 вида, кл. Oligochaeta, отр. Amphipoda и кл. Turbellaria – представлены единично.

Наибольшее видовое разнообразие зообентоса зарегистрировано в районе р. Алгая (15 видов), наименьшее – в районе р. Зея (водозабор) (2 вида). Сходство видового состава бентофауны зарегистрировано между руч. Тополева и р. Малая Эракингра, между руч. Малый и руч. 10-й ключ ($K_{сч}=0,67$).

Плотность бентофауны варьировала: численность от 48 экз./м² (р. Зея) до 1128 экз./м² (руч. 10-й ключ), биомасса от 0,05 г/м² (р. Зея) до 15,65 г/м² (руч. Тёплый). Доминантами по численности в районе руч. Тополева и в р. Малая Эракингра были личинки поденок *Heptagenia sulfurea*, в районе р. Алгая – личинки хирономид *Tanytarsys* sp., *Orthocladius* sp., в руч. Тёплый – пиявки *Erpobdella octoculata*, в районе руч. Малый – личинки поденок *Ameletus* sp., *Heptagenia sulfurea*, в районе руч. 10-й ключ – личинки хирономид *Orthocladius* sp., в районе р. Зея – личинки хирономид *Pseudosmittia* sp., в районе р. Каменушка – личинки хирономид *Pagastia orientalis*.

По индексу Вудивисса [2] качество воды варьировало от II класса, вода «слабо загрязненная» (руч. Тополева, р. Алгая, руч. Малый, руч. 10-й ключ, р. Малая Эракингга, р. Каменушка) до V класса, вода «экстремально грязная» (р. Зея).

Выражаем благодарность сотрудникам Зейского заповедника за помощь в организации полевых работ на территории заповедника и в его окрестностях.

Список литературы

1. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Абакумов В. А., Бубнова Н. П., Холикова Н.И. [и др.] // Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.
2. "РД 52.24.309-2011. Руководящий документ. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши" (утв. Росгидрометом 25.10.2011)

УДК 575.17:582.711.71

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯЦИЙ ВИДОВ РОДА *ROSA* В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Г. В. Соловьева¹

Научный руководитель И. Е. Ямских¹
доктор биологических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет*

Среди кустарников р. *Rosa* L. (шиповник) занимает особое место, за счет своей хозяйственной ценности: плоды шиповника богаты большим содержанием биологически активных веществ, в частности, витамина С, или аскорбиновой кислоты, и витамина Р, по количеству которых шиповник занимает первое место, а также благодаря высокому содержанию каротиноидов, флавоноидов, витаминов К, В2, Е [1]. Также шиповник является ценным декоративным и лесохозяйственным растением.

Род *Rosa* представляет собой таксономически сложную группу, количество видов в которой может различаться у разных авторов. При отнесении шиповников к тому или иному виду определение по морфологическим

признакам не всегда надежно. Разные виды шиповника легко гибридизируют между собой, образуя комбинации родительских признаков, что доказано экспериментально [2].

Цель работы - изучение генетической изменчивости популяций видов *R. Rosa* в южной части Красноярского края..

Объектом исследований служили 5 популяций 4 разных видов *R. Rosa*: 1 популяция *R. balachensis* Stepanov, 2 популяции *R. laxa* Retz., 1 популяция *R. majalis* Herzm., 1 популяция *R. acicularis* Lindl..

Выделение ДНК производили из 30-40 г сухой гомогенизированной растительной ткани с использованием СТАВ-буфера [3] по модификации Н.В. Орешковой и И.Е. Ямских [4]. Амплификацию проводили с помощью готовой PCR-смеси (ООО «Биолабмикс», Новосибирск) и следующими праймерами: 17898B, 17899B, HB9, HB12 и HB14. Детекция бендов и оценка их молекулярного веса производилась в программе GelAnalyzer v23.1.1. Далее, серии бендов объединялись в локусы, формировалась таблица соответствия, где “0” - отсутствие локуса, а “1” - присутствие. В программе PopGene v1.32 рассчитывали следующие показатели:

N – количество локусов ;

P – процент полиморфных локусов;

H_D – генетические дистанции Нея между популяциями;

H_I – генетическое сходство Нея между популяциями;

I_0 – генетический индекс Шеннона;

G_{ST} - коэффициент подразделённости популяций.

В программе TFPGA v1.3 построены дендрограммы сходства популяций на основании дистанций Нея [5]. Для оценки генетической структуры популяций был использован байесовский подход, реализованный в программе STRUCTURE v2.3.4. Использовалось длительное выгорание (burn-in) – 10000 циклов и MCMC – 40000 циклов. Максимальное количество кластеров оценивалось с помощью ДК [6]. Количество возможных кластеров (K) тестировалось от 1 до 10 в десяти повторностях. Для визуализации результатов была использована программа STRUCTURE Harvester Web v0.6.94.

В ходе ISSR-PCR анализа выявлено 382 локуса, каждый из которых является полиморфным. Число амплифицированных фрагментов варьирует от 71 (HB14) до 84 (17899B). Все пять праймеров оказались высокополиморфными. Максимальная степень полиморфизма отмечена у праймеров HB12 и HB9 (96,27% и 95,94% соответственно). Минимальная степень полиморфизма отмечена для праймера HB14 (94,37%).

Максимальный уровень полиморфизма отмечается для двух популяций вида *R. laxa* (R11 и R12) (69.90% и 66.75% соответственно). Также, для этих популяций характерны высокие значения индекса Шеннона ($I_0 = 0,36$ и $I_0 = 0,35$ соответственно). Тогда как минимальный уровень полиморфизма отмечается у

популяции вида *R. balachtensis* (Rbal) (48,95%). Также, для этой популяции характерно низкое значения индекса Шеннона ($I_o = 0,24$).

На дендрограмме сходства также чётко выделяются 3 группы (рисунок 1). В первую кладу объединяются популяции Rm2 и Ra3. Во вторую группу объединяются популяции вида *R. laxa*. Отдельно от всех отстоит *R. balachtensis*. Распределение на данные группы статистически значимо, о чем свидетельствуют высокие значения бутстрепа.

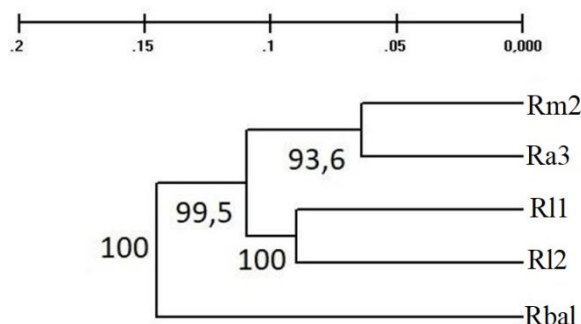


Рисунок 1 – Дендрограмма сходства исследуемых популяций рода *Rosa* по дистанциям Нея [5]

Анализ структуры распределения генотипов особей в программе STRUCTURE показывает, что исследуемые образцы 4 видов роз статистически значимо можно максимально разделить на 4 генетических кластера ($K = 4$, $\Delta K = 2822,83$) (рисунок 2).

Коэффициент подразделённости популяций (G_{ST}) равен 0,25, т.е. на долю межпопуляционного разнообразия приходится 25%, а изученные популяции имеют среднюю степень дифференциации по классификации Райта [7].

На дендрограмме сходства выделяется 3 кластера, один из которых формируют популяции Rm2 и Ra3. Во второй кластер объединяются популяции вида *R. laxa*. Отдельно от всех отстоит *R. balachtensis*. Распределение на данные группы достоверно, о чем свидетельствуют высокие значения индекса бутстрепа.

Отделение *R. balachtensis* от остальных видов соотносится с морфологическими особенностями: более крупные размеры, расширенные и зубчатые по краю чашелистики. Генетически близкими являются популяции *R. majalis* и *R. acicularis*, которые в природе часто гибридизируют друг с другом. Разделение *R. laxa* на два генетических кластера может свидетельствовать о гибридной природе одной из популяций.

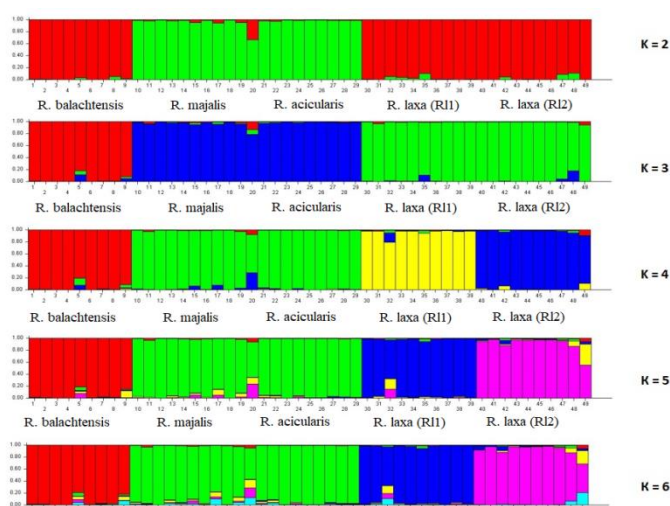


Рисунок 2 – Апостериорные вероятности отнесения образцов к генетическим кластерам

Список литературы

1. Сабарайкина С. М. и др. Динамика аскорбиновой кислоты в плодах древесных растений в условиях Якутии //Современные проблемы науки и образования. 2011. №. 6. С. 248-248.
2. Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области) / Н.Н. Цвелев // СПб.: Издво СПФХА 2000. С.781.
3. Doyle J. J. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue / J.J. Doyle, J.L. Doyle //Phytochemical bulletin. 1987. Vol. 19. №. 1. P. 11-15.
4. Методы молекулярно-генетических исследований [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие к лабораторным занятиям / Н. В. Орешкова, И. Е. Ямских. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. 53 с.
5. Nei M. Genetic distance between populations //The American Naturalist. 1972. Vol. 106. №. 5-6. P. 283-292.
6. Evanno G. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study / G. Evanno, S. Regnaut, J. Goudet // Molecular ecology. 2005. Vol. 14. №. 8. P. 2611-2620.
7. Wright S. Evolution and the Genetics of Populations. Vol. 2. London : University of Chicago Press, 1972. 511 pp.

2025

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

Ministry of Science and Higher Education
of Russian Federation
«Siberian Federal University»