



#2 (42), 2019 część 2

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)

Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michałak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

#2 (42), 2019 part 2

East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)

The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michałak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
**Peter Clarkwood(University College
London)**
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**
**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**
**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo
Naukowe**

**Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001
Warszawa, Polska**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
**Peter Clarkwood(University College
London)**
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**
**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**
**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-
001 Warsaw, Poland»**

East European Scientific Journal

**Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Po-
land**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Sabitova S., Ruide Y., Bakhtiyorov.Z., Massakbayeva.A , Botagoz I. TREE RING BASED SUMMER PRECIPITATION RECONSTRUCTED FOR SOUTH WESTERN TIAN SHAN MOUNTAIN IN TAJIKISTAN SINCE 1790-2016.....	4
Драгавцев В.А. РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ СЕЛЕКЦИОННОГО ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЕВ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ ТЕОРИИ ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ	9
Ладутько Е.И., Леонович С.И., Калинина А.Н, Соколова Л.Н., Заборонок И.М., Новик Г.И. ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА НОВЫХ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ РОДА <i>PSEUDOMONAS</i> – ПЕРСПЕКТИВНЫХ АГЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ	17
Бабаев М.Ш., Мамедова Р.Ф. ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ВРОЖДЕННЫЕ ПОРОКИ РАЗВИТИЯ У ДЕТЕЙ.....	24
Мустафаева Р.С., Абдуллаева Н.Ф. ГИДРОЛИЗ МОЛОЧНЫХ БЕЛКОВ ПРОТЕАЗАМИ ШТАММОВ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ И ИХ ГИПОАЛЛЕРГЕННЫЕ СВОЙСТВА	27
Krivobochek V.G., Sttsenko A.P., Vichreva V.A., Kostinevich.V.V., Kamardina.N.V., Ulbasheva.R.D., Statcenko A.P. ASSESSMENT OF THE SALT RESISTANCE OF FIELD CULTURES.....	31

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Айтенова Г.М., Абдикаликова Г.А., Сартабанов Ж.А. СУЩЕСТВОВАНИЕ МНОГОПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕГРО- ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ	34
Баранов И.В., Гусева И.А. К ВОПРОСУ ОБ ОДНОМ ФЕНОМЕНЕ КОЛЛЕКТИВНОЙ ПАМЯТИ.....	38
Кофман В. М. МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГТД НА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ	45
Chernyayeva T.P., Grytsyna, V.M., Krasnorutskyy, V.S., Riedkina A.P., Petelguzov, I.A., Slabospitskaya Ye.A. EFFECTS OF FUEL ROD CLADDING TEMPERATURE AND STRESSED CONDITIONS ON HYDRIDE REORIENTATION	55

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Saltanat Sabitova^{1,2},
Ruide Yu^{1,2,*},
Zulfiyor Bakhtiyorov^{3,4},
Assiya Massakbayeva^{1,2},
Botagoz Issina^{1,2}

*1 State Key Laboratory of Environment Change in Arid Lands,
 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences,
 818 South Beijing Road, Urumqi 830011, Xinjiang, China.*

*2 University of Chinese Academy of Sciences,
 52 Sanlihe Road, Beijing 100864, China.*

*3 Laboratory of Introduction and Dendroindication of Plants,
 Khujand Science Center, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan.
 735714 Khujand, north-eastern Industrial Zone*

*4 Faculty of Geoecology, Department of Ecology and Environmental Protection,
 Khujand State University named after B. Gafurov.
 735700 Khujand, st. Mavlombekova 1.*

**Corresponding Author: Yu Ruide, yuruide@sina.com;*

TREE RING BASED SUMMER PRECIPITATION RECONSTRUCTED FOR SOUTH WESTERN TIAN SHAN MOUNTAIN IN TAJIKISTAN SINCE 1790-2016

Abstract: Our study was motivated by insufficient data on dendrochronological studies limited to the north-western part of Tajikistan due to the lack of access to such a remote part of the country. Current studies in South Western Tian Shan Mountain have revealed that a reconstruction of climate change based on tree chronologies of Juniper (*semiglobosa* and *seravschanica*) tree species are possible. A 227-year tree-ring chronology was constructed and analyzed from cores collected in Shahrstan. We presented a reconstruction of summer precipitation (June-August), covering 1790-2017, which is in good agreement with pale climatic data, and also reflects the main climatic changes in the study area.

Key words: South Western Tian Shan Mountain, tree-ring chronology, juniper, Shakhristan.

Introduction

The chronology of tree rings has been widely used to reconstruct climate change during the growing season over centuries and millennia (Frank et al. 2010; Foster and Rahmstorf 2011). However, climate information in the rings can be analyzed individually to give an idea of what the climate was in the past and how it is likely to be characterized in the near future (Fritts 1976). The population history of many tree species in Europe and North America, compared to other continents such as Central Asia, is relatively well studied. There are many studies on the reconstruction of temperature, precipitation, drought, associated with the width of the ring of juniper trees.

In Tajikistan, interest in dendrochronology was briefly touched upon by A. V. Gursky in the 30s of the last century, but it did not have any success (Chen et al. 2015). Later in the same XX century, Soviet scientists made a series of works on radial growth of trees, in the XXI century very little research in the field of aridity, earthquake reconstruction and climatic connections of ring chronology, and in the Turkestan Ridge there are also no reconstructions that would explain climatic anomalies and in order to fill this gap in knowledge, we studied the changes in the growth of the width of the annual rings from core, hemispherical juniper (*J. Semiglobosa*) and zerafshan juniper (*J. Seravschanica*) tree trunks from Shahrstan, Sughd region, northern Tajikistan. This study is the first of its kind reconstruction

based on tree-ring chronology of 1790-2016, which also shows wet and dry periods for northern Tajikistan over 227 years. This study is also important because it is the first study in this part of the Turkestan Range.

Materials and method

Sampling area

The northern ridges of the Pamir-Alai system are the Alai and Turkestan ranges, bordering the Fergana Valley from the south. The duration of drought in the mountains is much less than on desert plains, only August and September are sharply arid. During the expedition work in the autumn of 2016, at an altitude of 2900-3000 m above sea level. m, north-west direction at an angle of 10-45 ° from Sughd region (TPA 39 ° 34' - 39 ° 40'N / 68 ° 50' - 68 ° 43'E), Tajikistan, (Figure 1) of the Pamir-Alai mountains, Shahrstan (TPSH), for the dating and measurement of the characteristics of the radial growth of wood, cores were taken mainly on 2 radii of 5 mm diameter. In total, 37 cores were collected from 17 non-rotten or damaged living trees. After being transported to the laboratory, they were carefully dried, then they were pasted on a wooden base, and then polished and polished. For dating, we used the full package of standard norms (Stokes and Smiley 1968; Fritts 1976; Pilcher 1990). To minimize non-climatic effects on tree growth, only trees with no injury or disease were sampled. Tree height ranged from 8 to 12 m depending on site conditions; the diameter ranged from 144 to 345 cm.

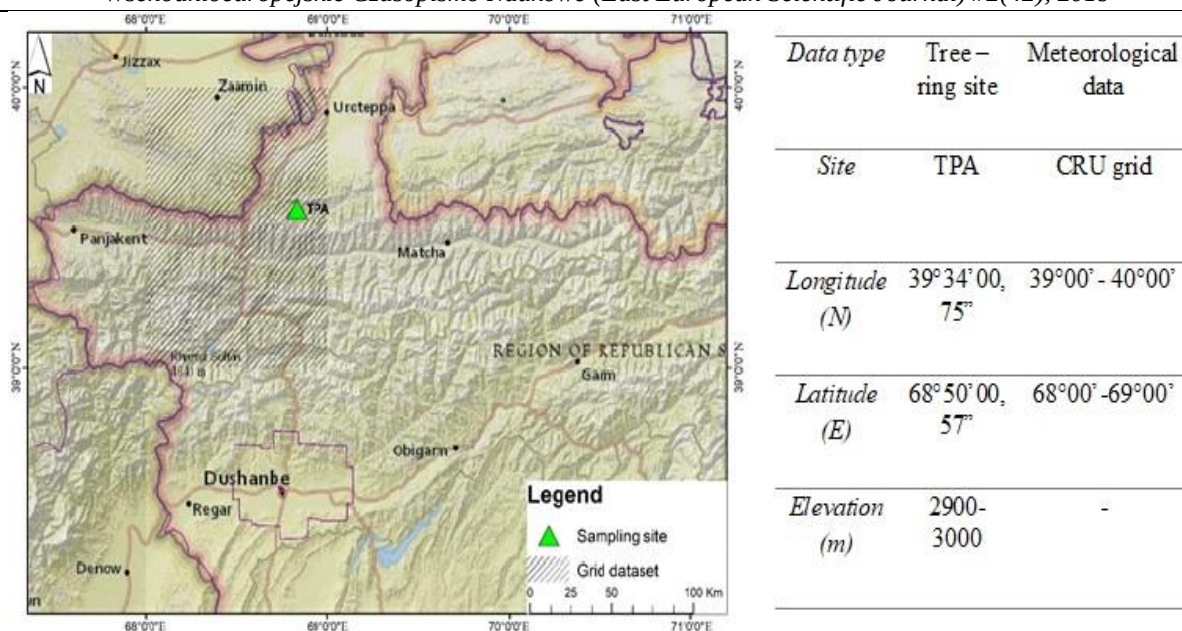


Figure 1. Map showing the two tree-ring sampling sites and the gridded dataset in Southwest of Tian Shan Mountain (Tajikistan) and Information about the sampling site

For recording and identifying drop-down and spurious rings, a measuring semi-automatic installation LINTAB VI was used together with the TSAPWin Scientific 4.80 program with an accuracy of 0.01-0.05 mm. In order to estimate within which segment of the compared curves the greatest and what is the magnitude of the possible shift, we used the program COFECHA v 6.06. We used ARSTAN 41d to remove the effect of endogenous stand disturbances and apply an estimate of the function of the mean value based on the use of negative exponents and linear regression. The quality

of the chronology we constructed was based on traditional dendrochronological indicators — the standard deviation SD (characterizing the amplitude of the climatic variability of growth), EPS — showing the relationship of tree-ring chronology to changes in external climatic parameters, RBAR — average correlation among tree-ring series, MS evaluating the sensitivity of chronology to external changes (Cook, E L; Kairiukstis 1990; Opała et al. 2017).

Analysis of meteorological data

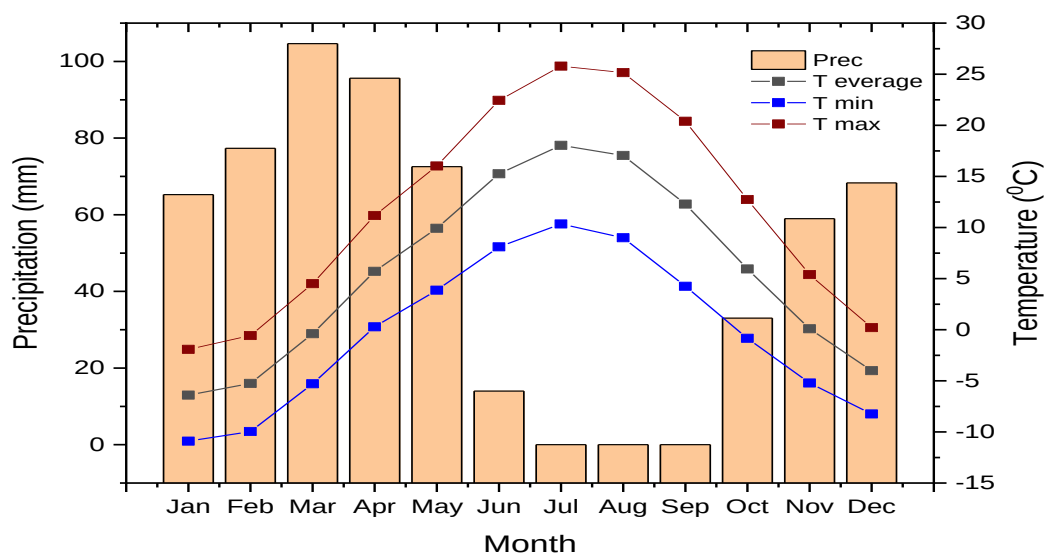


Figure 2. Climate diagram (Tajikistan) interpolated to sampling site from gridded dataset (1950-2016)

Meteorological data has shown that climate of the study area is characterized by very scarce summer rainfall. The gridded monthly precipitation and mean/max/min temperatures data from near Sampling

area were received with covering the period of 1950 to 2017 (average over 39°00' – 40°00' N, 68°00' – 69°00' E), were received from the Climatic Research Unit (CRU TS 4.00), East Anglia, UK database (CRU)(CRU.).

Mean annual precipitation is 580 mm, with maximum monthly precipitation in early spring (February, March, April and May). Summer period (July-August) is a high-temperature period, with highest maximum temperature existent in July at 25.8°C and coldest month is January with a minimum air temperature -10.9°C (Fig. 2). At altitudes of 1500-3500 m, the climate has the characteristic features of the mountain, it is cooler and more humid in the majority of the territory.

Results and Discussion

Tree-ring growth and climate trends

The summary statistics of the standard chronology produced by standardization program ARSTAN (Figure 3). The mean sensitivity (0.274) show low correlation, with significant standard deviation (0.291), these reflect good responses to the variation of climate (Cook & Kairiukstis 1990). Mean correlation with master series is 0.171 (Table 1). Reliable ring-width chronology spanning 1760-2016 was developed based on an EPS value ≥ 0.85 .

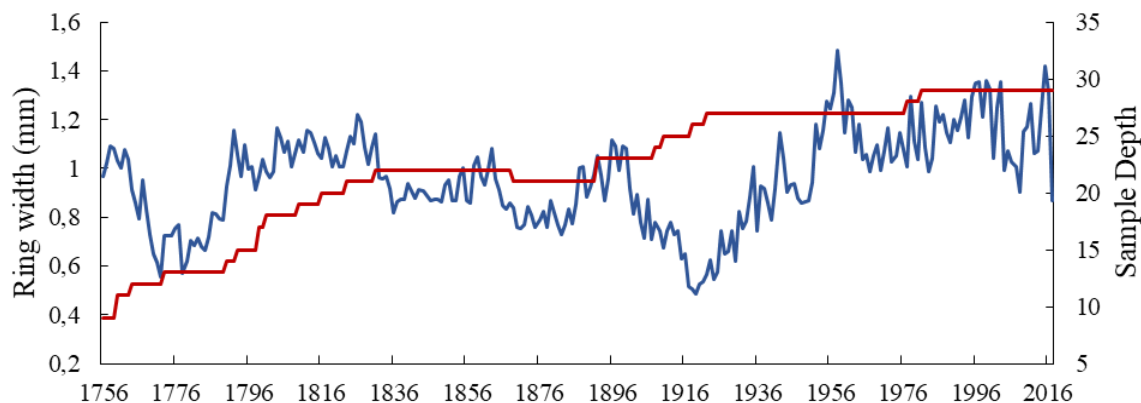


Figure 3. the chronology measurements of samples and their corresponding sample depths at the site (TPA)

Table 1.

Statistics for the standardized tree-ring chronologies used in this study

Type of tree-ring width	Mean sensitivity	Mean correlation	Standard deviation	signal-to-noise ratio	expressed population signal	EPS>0.85	Core/tree number
<i>Junipers</i>	0.274	0.171	0.291	-0.111	-0.125	1760	30/17

Climate response analysis

Figure 4 depicts the significant coefficients for correlation functions. Coefficient correlation between standard chronology and gridded precipitation significant $p < 0.001$ from the prior June-October period. Figure 4a shows the correlation between ring-chronology and instrumental data (temperatures and precipitation) for the period 1950-2016. The correlation coefficient between the instrumental average/min/max temperatures and the radial increment showed a positive effect

in January ($r < 0.320$, $p < 0.01$) and negative in November ($r < 0.250$, $p < 0.05$), this is probably due to the retention of moisture, i.e. January, which has a beneficial effect on tree growth, as it prevents the possibility of moisture evaporation. We also found good connections to precipitation in June (0.404, $p < 0.001$), and negative in October (-0.272, $p < 0.05$), probably due to the limitation of humidity occurring in the middle of the current season.

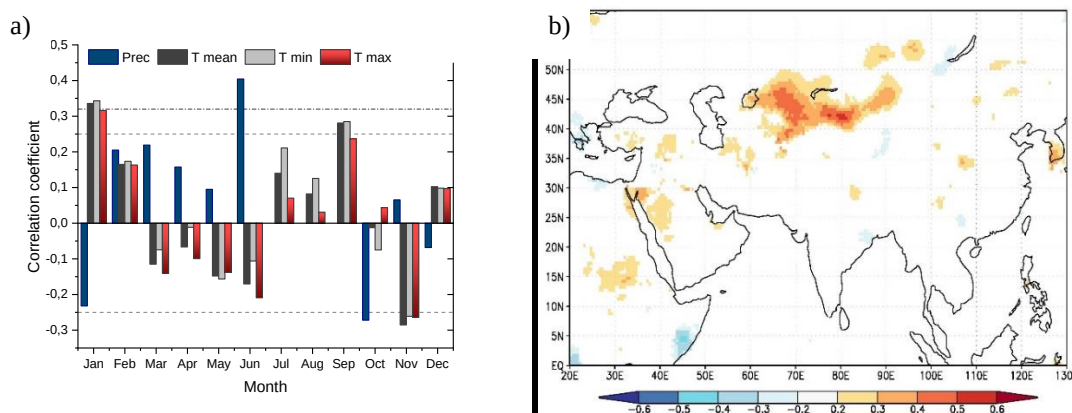


Figure 4. a) The correlation coefficients between standard chronologies of the North Western Tian Shan Mountain with the monthly sum of precipitation, monthly mean/max/min temperatures of the CRU dataset. The dotted ($p < 0.05$) and dashed ($p < 0.001$) lines indicate significant variables. b) The spatial correlation between tree ring-width and summer precipitation of CRU gridded date during 1950–2016 (Tajikistan)

Based upon our correlation estimates is scarce with precipitation in both points of meteorological data, positive correlation just in prior January and September (CRU grid dataset) with average/min/max temperature, it determines drought area in this part of Tajikistan (Treydte et al. 2004; Fang et al. 2012). Precipitation also plays a significant role in causing drought stress which is demonstrated by higher correlation coefficients with precipitation than temperature (Opala et al. 2017).

Deficiency of water in the growing season suppresses the expansion of tracheids. Also, with increasing temperature, evaporation increases in June-September due to low precipitation, which accelerates water stress (Fig. 1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**6). When the tracheid's become narrower, the proportion of the cell wall in the annual ring increases due to a decrease in the size of the lumen (Pant et al. 2000). In fact, this connection reflects short and intense

interactions (high frequency signals) between precipitation and monsoon deposition. These findings suggest that consistency of climate variations in radial growth has increased during the latter half of the twentieth century due to global warming.

We conducted spatial correlation between our precipitation reconstruction (Tajikistan) and the gridded precipitation dataset of HadlSST1 (Rayner et al. 2003) for the period 1950-2016 (Fig. 4b). The good positive correlations of the summer precipitation reconstructed related to the CRU grid dataset good connections between the precipitation in the southern Tian Shan Mountains and in the remote ocean area. The positive areas of correlation were found close to the research area (Chen et al. 2014) and negative in north of Tian Shan.

Characteristics of reconstruction based on ring width

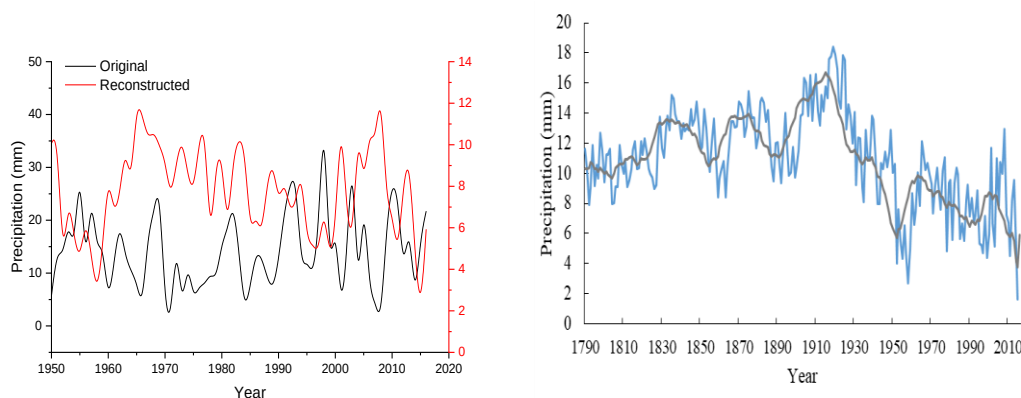


Figure 5. (a) Comparison between original and reconstructed July-September precipitation over 1950-2012 (Tajikistan). (b) Reconstruction of summer precipitation and 10-year simple smoother moving average.

Table 2.

Results of regression model statistics for calibration test results Tajikistan						
Year	Correlation coefficient (r)	Correlation square (r ²)	Reduction of error	Coefficient of efficiency	Sign test	Durbin-Watson
1950-2016	0.404	0.164	8.368	0.054	18/29 ⁺	2.073

Based on the results of correlation coefficient analyzes, summer precipitation is most suitable for climate reconstruction. By calculating the regression relationship between the TPA chronologies with summer precipitation of CRU grid data, the precipitation of these months for the period of 1790 to 2017 was reconstructed. (Fig. 5b). For the estimated verification of the constructed reconstruction of the course of these precipitations, we compared them with the data of instrumental observations at the meteorological station for the period from 1950 to 2016. (Fig. 5a). The results of the regression dependence were as follows - the correlation coefficient $R = 0.404$, $p < 0.001$, we also got an equation for our reconstruction:

$$Y = -18,8 \cdot X + 29,11$$

where Y is the sum of the June-August sedimentary reconstruction and X is the standard chronology.

Results of regression model tests were further employed to evaluate the statistical fidelity of our reconstruction model, exceed the 95% confidence level (Table 2). The values of the two most rigorous tests of model validation, the reduction of error (RE) and the coefficient of efficiency (CE) are both positive, which indicates significant skill in the tree-ring estimates. These test results demonstrate the validity of our regression model. On the basis of this model, the local history of temperature in the study area has been reconstructed for the period 1840–2017 A.D. (Fig. 5b).

During reconstruction we considered dry and wet years, years / periods, the table below indicates the extreme years that were found in 1952, 1955, 1958, 1904, 1905, 1910, 1920, 1924 and 1999. Dry periods/decades with a lower value from the average rainfall were found in 1860, 1970, 1960, 1980 and 2000. Wet periods/decades with a higher value from the average precipitation

amount were found in 1870, 1910, 1920, 1930 and 1940. Year / period characteristics were based on a sedimentary reconstruction with a smoothed filter, where smoother transitions are visible, rather than random jumps. Periods with long terms means: three wet fifty years 1790-1849, 1850-1899, 1990-1949, and one dry period, which fell in 1950-2017.

Spectral analysis and Spatial correlations

High-frequency peaks 1.1-year (95%), 0.9-year (99%) and 0.5-year (99%) relate to the range of variability the Western and Tibetan plateaus (Figure 6a)(Pederson et al. 2001). Therefore, these high-frequency cycles suggest that precipitation variability in

our area of research may have strong associations with large-scale ocean and atmosphere circulation systems (Glueck & Stockton, 2001; Allan et al. 1996). But low-frequency cycles and multi-decade cycles of 78.6-year (99%), 16.6-year (99%), relate to the total width of the winter North Atlantic oscillation, which indicates the influence of these fluctuations on the climate of Central Asia(Hoyt et al. 1997; Glueck and Stockton 2001). However, the mechanism of influence of these circulation systems and how they control climate variability in Tajikistan at different times, is awaiting further study.

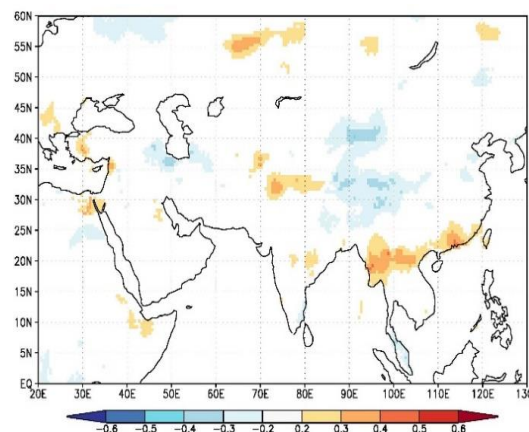
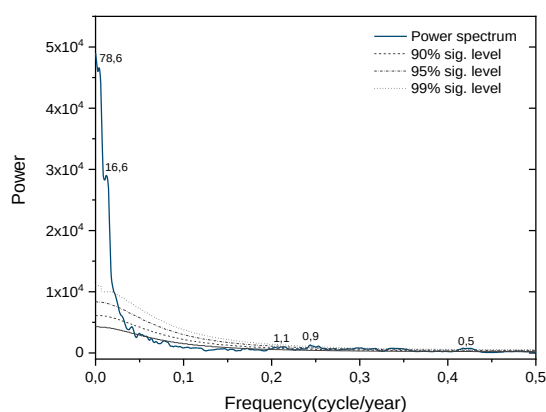


Figure 6. MTM spectral densities of Shahrstan precipitation reconstruction. The dash, dash-dot and dotted lines represent 90, 95 and 99% significance level, respectively. The bold line indicates the null hypothesis. (b) With the gridded surface precipitation in South Western Tian Shan Mountain data set with reconstructed precipitation

To find the connection between our reconstruction and the geographical representation. We used spatial correlation between instrumental data spanned 1950-2012 (Fig.6b). The positive correlation showed that the research area is closely connected with east and west of Tajikistan and in particular South Tien Shan Mountains.

Conclusion

We tend to assume that a mean correlation between the tree-ring and the summer climate is probably related to the moisture limitation occurring in the middle of the current growth season. Although February-April is the most plentiful season of rain and we didn't find any strong and significant correlations. The precipitation of Shahrstan is low and highly variable and in warm regions with low altitude and a large interannual change in precipitation lead to a decrease in both temperature and soil moisture, which leads to a sharp growth of the tree during the heavy rainy season.

The good positive correlations of the summer precipitation reconstructed related to the CRU grid dataset good connections between the precipitation in the southern Tian Shan Mountains and in the remote ocean area. These low frequency cycles and multidecadal cycle 78.6-year (99%) relate to the total width of the winter North Atlantic fluctuation, which indicates the influence of these fluctuations on the climate Asia. However, the mechanism of influence of these circulation systems and how they control the temperature variability of Tajikistan at different times, awaits further study.

Acknowledgements

This study was supported by Xinjiang key research project (2016B02017-4) and the Project of Thousand Youth Talents (Y672141). Data collection and analysis were supported by the Research Center for Ecology and Environment of Central Asia, Chinese Academy of Sciences. Special thanks to "high-level talents project" (Y871171) of Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences.

Reference

- Allan R, Lindesay J, Parker D (1996) El Niño southern oscillation & climatic variability. CSIRO publishing
- Chen F, He Q, Bakytbek E, et al (2015) Climatic signals in tree rings of *Juniperus turkestanica* in the Gulcha River Basin (Kyrgyzstan), reveals the recent wetting trend of high Asia. *Dendrobiology* 74:
- Chen F, Yuan Y, Wei W, et al (2014) Precipitation reconstruction for the southern Altay Mountains (China) from tree rings of Siberian spruce, reveals recent wetting trend. *Dendrochronologia* 32:266–272
- Cook, E L; Kairiukstis LA (1990) Methods of Dendrochronology
- CRU. Climatic Research Unit CRU TS4.00. <http://www.cru.uea.ac.uk>.
- Fang FC, Steen RG, Casadevall A (2012) Misconduct accounts for the majority of retracted scientific publications. *Proc Natl Acad Sci* 109:17028–

17033

Foster G, Rahmstorf S (2011) Global temperature evolution 1979–2010. *Environ Res Lett* 6:44022. doi: 10.1088/1748-9326/6/4/044022

Frank DC, Esper J, Raible CC, et al (2010) Ensemble reconstruction constraints on the global carbon cycle sensitivity to climate. *Nature* 463:527. doi: 10.1038/nature08769

Fritts HC (1976) *Tree Rings and Climate* (Academic, New York). doi: 10.1126/science.198.4315.399

Glueck MF, Stockton CW (2001) Reconstruction of the North Atlantic oscillation, 1429–1983. *Int J Climatol A J R Meteorol Soc* 21:1453–1465

Hoyt D V, Schatten KH, Schatten KH (1997) *The role of the sun in climate change*. Oxford University Press on Demand

Opała M, Niedźwiedz T, Rahmonov O, et al (2017) Towards improving the Central Asian dendrochronological network—new data from Tajikistan, Pamir-Alay. *Dendrochronologia* 41:10–23

Pant S, Andre DL, Watson G, et al (2000)

Computer system with user-controlled relevance ranking of search results

Pederson N, Jacoby GC, D'Arrigo RD, et al (2001) Hydrometeorological reconstructions for northeastern Mongolia derived from tree rings: 1651–1995. *J Clim* 14:872–881. doi: 10.1175/1520-0442(2001)014<0872:hfrnmd>2.0.co;2

Pilcher JR (1990) Sample preparation, cross-dating and measurement. *Methods Dendrochronology Appl Environ Sci* 40–51

Rayner NA, Parker DE, Horton EB, et al (2003) Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J Geophys Res Atmos* 108:

Stokes MA, Smiley TL (1968) 1968: *An introduction to tree-ring dating*. Chicago: University of Chicago Press

Treydte K, Welscher C, Schleser GH, et al (2004) The climatic signal in oxygen isotopes of junipers at the lower timberline in the Karakorum, Pakistan. *Tree Rings Archaeol* 2:100–106

Драгавцев В.А.

Агрофизический ин-т,

195220, С-Петербург, Гражданский проспект 14.

(При поддержке Гранта РФФИ № 16-04-00199)

РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ СЕЛЕКЦИОННОГО ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЕВ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ ТЕОРИИ ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

Dragavtsev V.A.

Agrophysical institute, 195220, St.-Petersburg, Grazhdansky prospect 14.

(With support of Grant of Russian Foundation of Basic Research № 16-04-00199)

SOLUTIONS OF TECHNOLOGIC PROBLEMS OF BREEDING YIELD INCREASING, WHICH ISSUE FROM THE THEORY OF ECO-GENETIC ORGANIZATION OF QUANTITATIVE CHARACTERS

Аннотация. В период 1984–2014 наша научная школа (к 2017 г. - 35 кандидатов и 12 докторов наук) развила новую Теорию эколого-генетической организации количественных признаков. Теория базируется на открытии нового эпигенетического феномена – смены спектров продуктов генов под количественным признаком при смене лимитирующего фактора внешней среды. Из Теории вышли 24 приоритетных следствия и 10 ноу-хау, способных устранить «узкие места» традиционных технологий селекции на повышение урожая. В статье описаны экспериментально проверенные на многих с/х культурах методы элиминации 16-ти «узких мест» традиционных селекционных технологий повышения урожая и показана перспективность конструирования новых прорывных сортов в Селекционном фитотроне, в котором можно искусственно создавать любые динамики лим-факторов среды для типичных лет любого региона Земли.

Abstract. In period 1984–2014 our scientific school (to 2017 year – 35 doctors of sci. and 12 professors) evolved the new Theory of eco-genetic organization of quantitative traits. The Theory based on discovery of new epigenetic phenomenon – change of genes products under quantitative trait when the limiting factor of environment change. From Theory arise 24 of priority issues and 10 know-how, which can to eliminate the “tight places” of traditional breeding technologies for rise of yields. In paper described the experimental take for granted on many agricultural plants the methods of elimination of 16 “tight places” and demonstrate the perspective of creation of new varieties in Breeding phytotron, in which quite possible to create any dynamics of limiting factors of environment for typical years of any region of globe.

Ключевые слова: Задачи устранения «узких мест» селекционных технологий повышения урожая, теория эколого-генетической организации количественных признаков.

Keywords: Problems of elimination of “tight places” of breeding technologies for rise of yield, theory of eco-genetic organization of quantitative traits.

«Применение биотехнологий, включая генную инженерию,

не увеличивает максимальные урожаи.

Нужны более

фундаментальные научные прорывы, если мы хотим

наращивать валовую продукцию растениеводства»

(USDA Agricultural Information Bulletin, 2001.

С/х Информационный Бюллетень МСХ США, 2001)

«Утверждение, что биотехнология ускорит селекцию –

голословно» (Е.Д. Богданова, Эпигенетика мягкой пшеницы,

Алматы, 2012, С. 92)

В наши дни за сутки на Земле рождаются 250 000 младенцев. К 2030 г. население Земли достигнет 8 млрд человек. Если аграрии всех стран не смогут за это время увеличить объем растениеводческой продукции в мире в 2 раза, то над 2,5 млрд людей нависнет угроза голодной смерти. Сегодня на Земле голодают 1,5 млрд человек. Только за один 2011 г. в странах АТЭС число голодающих выросло на 40 млн человек, а всего к 2012 г. достигло 200 млн (из доклада В.В. Путина на САММИТЕ АТЭС-2012). По данным ФАО за последние 50 лет совокупный объем мирового производства с/х продукции вырос в 2,5-3,0 раза, а площадь с/х территорий Земли лишь на 12%. Дальнейший рост с/х территорий в мире – невозможен (Отчет ФАО за 2014 г. Рим). Сегодня в развитых странах агротехнологии доведены почти до возможного «потолка». Дальнейшее повышение урожаев зерновых и зернобобовых в этих странах на 95% зависит от улучшения селекционных технологий, и только на 5% от улучшения агротехнологий. Эксперты ФАО (в Отчете за 2014 г.) подчеркнули: *«Мировой опыт показал, что техногенная интенсификация растениеводства не способна решить проблему дальнейшего повышения урожаев, но при этом связана с ростом энергозатрат и нарушением экологического равновесия в природе. Глобальный кризис в с/х производстве XXI века требует новой стратегии – биологизации растениеводства, т.е. создания устойчивых к биотическим и биотическим факторам среды новых сортов, гибридов и видов с/х растений».*

В соответствии с этой общемировой ситуацией в РФ приняты важные документы.

1) В Решении Президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию РФ от 24.11.2014 подчеркнуто: *«Необходимым условием инновационного развития растениеводства в РФ является использование новых сортов и гибридов с/х культур».*

2) В послании Президента РФ Федеральному собранию от 08.12.2015 указано: *«Совместно с РАН и при участии ФАНО обеспечить разработку... программы... по созданию отечественных посевного и племенного фондов».*

3) В Стратегии национальной безопасности РФ, утвержденной Указом Президента РФ от

31.12.2015, пункт 54, с. 17 отмечено: *«Продовольственная безопасность РФ осуществляется за счет... развития племенного дела, селекции и семеноводства...».*

Эти документы полностью соответствуют утверждению: **«Кто обладает продовольствием, тот имеет оружие сильнее атомной бомбы. В мире есть только две реальные силы – сила энергетических ресурсов и сила продовольствия»** (Эрль Батц, министр сельского хозяйства США в администрации президента Форда – 70-е годы XX в.)

Эйфория от достижений генной инженерии растений начинает понемногу угасать. Многие страны сокращают площади под генно-модифицированными (ГМ) растениями. В 2016 г. Аргентина сократила посевы ГМ-растений на 3%, Индия на 7%, Китай на 24%,

Уругвай на 7%. В Испании, Судане, Мексике, Колумбии, Вьетнаме, Португалии, Бангладеш, Коста-Рике, Словакии, Чехии площади ГМ-растений (в каждой стране) менее 100 тыс. га и не обнаруживают приращения. Румыния в 2016 г. покинула клуб ГМО-стран. ГМ-картофель, устойчивый к колорадскому жуку, не выращивается сегодня нигде в мире. В большинстве стран Европы и в РФ посевы ГМ-растений запрещены. Все более актуальной становится позиция Дж. Л. Брюбейкера: **«Более половины населения нашей плодородной земли имеет слишком мало пищи, и даже очень глубокое знание гена даёт небольшое утешение голодным людям, пока оно не выражается в калориях»** [1]. Появляются и более резкие оценки: **«Генная инженерия – это единственная «инженерия», которая не знает своих объектов и действует наобум. «Генный инженер» подобен сварщику или резчику, лезущему с переделками в машину, устройство и назначение которой ему неизвестно»** [2, С. 303]. Действительно, внедрение генной инженерии в растениеводство началось без всякого понимания эколого-генетического «устройства» признаков продуктивности растений и при полном игнорировании эколого-генетических механизмов взаимодействия «генотип-среда», только управление которым (бессознательное или сознательное) и определяет рост продуктивности и урожая новых сортов растений.

У современного трансгеноза очень много слабых мест. Во-первых, он может работать только с одним главным геном, затем с другим и т.д., но не может «пересаживать» сложные полигенные системы, управляющие признаками продуктивности, да еще «блуждающие» под признаком при сменах лимитирующих факторов среды. Во-вторых, пересаженный ген может «сесть» в любую хромосому и не только между генами, но и внутри любого гена, что может привести к серьезным нарушениям генома – продукта длительной эволюции. В третьих, пересаженный ген не подчиняется «замку корреляций» целостного организма (собственные гены индуцируются или «глохнут» в зависимости от фазы развития, чужой ген работает всегда и везде, в любых органах и тканях организма, т.е. он ведет себя

так же, как раковая клетка, не подчиняющаяся командам целостного организма). В четвертых, пересаженный ген не может поднять урожай, поскольку урожай формируется эффектами взаимодействия «генотип-среда», а не отдельными генами. В пятых, «существующие методы трансформации растений малоэффективны, видо- и сортоспецифичны, приводят к случайному встраиванию чужеродной ДНК в геном реципиента, накладывают ограничения на количество переносимой информации и т.д. Переброс трансгенов из одного сорта в другой требует многократных возвратных скрещиваний и, главное, не является генетически чистой процедурой, поскольку вместе с чужеродной ДНК в процессе случайной рекомбинации происходит перенос различных «кусков» ДНК сорта-донора... Поскольку эффективной процедуры встраивания трансгенов в заранее заданный участок генома не существует, то манипулирование даже несколькими независимыми признаками и их координированный переброс в сотни сортов превращаются в логистический кошмар для селекционных компаний» [3].

5 мая 1966 г. Президиум АН СССР утвердил решение Секции химико-технологических и биологических наук по докладу члена-корреспондента АН СССР Н.П. Дубинина «Практические задачи генетики в сельском хозяйстве». В решении сказано: «Первоочередными проблемами в области генетики растений... являются следующие: а) генетические основы гетерозиса и методы получения высокоурожайных гетерозисных гибридов с/х растений, в первую очередь у пшеницы, кукурузы, овощных и технических

культур; б) закономерности наследования количественных признаков, определяющих продуктивность с/х растений...; в) дальнейшее совершенствование методов отбора в селекции с/х растений». «Поручить дальнейшую разработку научных основ новых методов генетической селекции – ИО-Ген АН СССР, ИЦиГ СО АН СССР, Ин-ту хим. физики АН СССР, Ин-ту генетики и цитологии АН БССР, Ин-ту микробиологии АН СССР, Ин-ту цитологии АН СССР.» (Генетика № 8, 1966. С. 186-188).

Однако, из всех НИИ, только группой сибирских генетиков (ИЦиГ СО АН) и селекционеров 8-и сибирских НИИСХ, в процессе выполнения кооперированной межведомственной программы ДИАС (Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири – на территории от Урала до Забайкалья и от Тюмени до Усть-Каменогорска, 1974-1984), [4], была открыта новая система регуляции развития свойств продуктивности – смена спектров продуктов генов, детерминирующих один и тот же признак продуктивности, при смене лимитирующего фактора внешней среды. На основе этого открытия в период 1984-2014 гг. научной школой В.А. Драгавцева (к 2017 г. – 35 кандидатов и 12 докторов наук) была развита приоритетная Теория эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП) с 24-мя

оригинальными научными следствиями и 10-ю селекционно мощными ноу-хау [5,6]. Теория и её элементы включены в Международную энциклопедию “Basic Life Sciences”, Vol. 8. Р. 233-240. Plenum Press – New York and London [7], в Толковый словарь по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, селекции, ДНК-технологии и биоинформатике, Т. 2. С. 308, [8], в Толковый словарь по инновационным вопросам селекции, семеноводства и размножения растений (русско-английский), Симферополь, «ДИАЙПИ», С. 122 [9], в Краткий словарь терминов по лесной генетике, Красноярск, Наука СО РАН. 2015, (метод фоновых признаков В.А. Драгавцева) [10].

Предоставим читателю самому судить о степени научного прорыва, привнесенного ТЭГОКП в теорию и технологии селекции, ознакомив его с новыми возможностями высоких селекционных технологий, созданных на базе ТЭГОКП.

Проблема 1. Необходимость создания методов надежной идентификации лучших генотипов по продуктивности при индивидуальном отборе в расщепляющихся гибридных поколениях, начиная с F2 (или в диких популяциях). До ТЭГОКП принципиальная возможность быстрой (без смены поколений) идентификации (узнавания) генетически лучших растений по их фенотипам в расщепляющихся генерациях категорически отрицалась следующими утверждениями.

Проф. Н.П. Кренке [11, С. 167] отмечал: *«Начиная от первых стадий развития не существует константно особого феногенетического выражения для модификаций и наследственных признаков».*

Проф. Н.А. Плохинский [12, С. 5] подчеркивал: *«Для одной особи бессмысленно определять, какая часть её фенотипа обусловлена наследственностью, а какая – условиями жизни. Генетическая информация, полученная одним индивидуумом, реализуется в таком взаимодействии с условиями жизни, при котором обе причины неотделимы друг от друга».*

Проф. У. Уильямс [13, С. 350] утверждал: *«В продуктивности одного организма невозможно разделить генетические и внешние воздействия на признаки со слабой наследуемостью, и отбор в F2 ненадёжен».*

Зав. лаб. ИЦиГ СО АН З.С. Никоро и соавторы [14, С. 300] сожалели: *«Для оценки генотипа необходимо знать величину генотипического значения признака, однако, нет способа отделить генотипическое значение от экологического для каждой отдельной особи».*

Акад. П.Ф. Рокицкий [15, С. 200] писал: *«Фенотип особей – это единый целостный организм. О генотипе особей непосредственно, без анализа их потомства, судить невозможно».*

Проф. В.К. Савченко [16, С. 19] считал: *«Вычленишь непосредственно для каждого организма влияние на развитие признака генотипа и среды – не представляется возможным».*

Экспериментальная оценка эффективности традиционных визуальных отборов по фенотипам показала, что из 10 000 отобранных растений с лучшими фенотипами (при отборах на фоне легкой засухи) генетически ценным оказалось лишь одно растение, т.е. точность «узнавания» генотипа по его фенотипу составила 0,0001 [17]. В таких ситуациях случайный отбор может быть эффективнее отбора по лучшим фенотипам. Создается впечатление, что постулаты шестерых крупнейших фенотипиков и генетиков – справедливы. Однако, первое следствие ТЭГОКП – принцип фоновых признаков (ПФП) – теоретически и экспериментально отверг эти утверждения [18,19] и создал методы быстрой (без смены поколений) идентификации генотипического значения любого признака продуктивности у отдельной особи в расщепляющейся популяции с точностью в 1000 раз превышающей точность традиционного визуального «узнавания» генетически ценной особи [20].

Дальнейшее развитие ПФП и открытие 7-и генетико-физиологических систем, де-факто повышающих урожаи новых сортов, породили принцип разнонаправленной («ортогональной») идентификации (ПРИ) [21], что позволило, во-первых, быстро (без смены поколений) идентифицировать плюсовые генетические вклады каждой из семи генетико-физиологических систем (ГФС) в продуктивность любой особи, во-вторых, отказаться от традиционных низко эффективных визуальных отборов по фенотипическим значениям признаков, (что делали и делают все селекционеры мира уже в течение многих сотен лет) и, в третьих, использовать величины признаков продуктивности в качестве специальных двумерных координат, в которых все «шумы» (экологический, конкурентный генотипический и конкурентный экологический) сдвигают точку сорта по положительной линии регрессии, а ценный плюсовой сдвиг ГФС, напр. аттракции, – по отрицательной (эффект «ортогональности»). При этом ценный вклад в урожай любой ГФС «очищается» от маскирующих эффектов всех шумов и проявляется (и измеряется) с абсолютной точностью. ПФП и ПРИ при отборах в лесной селекции оценивают в лесных популяциях генотип любого отдельного дерева за 3-4 мин., тогда как при оценке по семенному потомству отобранных по фенотипам «плюсовых» деревьев – необходимо ждать 10-20 лет.

Проблема 2 . Необходимость устранения больших ошибок методов визуальных индивидуальных отборов (даже с использованием ПФП и ПРИ) в нетипичные годы для конкретной зоны селекции. Селекционер испытывает в коллекционном питомнике коллекцию исходных сортов для селекции в своей зоне минимум 3 года, подбирая, по его мнению, лучших родителей. На 4-й год он высевает в питомнике гибридизации этих родителей, скрещивает их и получает семена гибридного поколения F1 . На 5-й год он высевает семена F1 в питомнике отборов и производит визуальные отборы лучших фенотипов. Но если год отборов выдался

нетипичным для данной зоны селекции, то лучшую продуктивность проявляют другие генотипы, которые не дадут в типичные годы максимального урожая. Отобрав их в нетипичный год, селекционер совершит большую ошибку, поскольку в типичный год отобранные генотипы «просядут», а имеющиеся в популяции лучшие генотипы для типичного года – в основном (после отборов в нетипичный год) будут потеряны, поскольку невозможно весь материал всех семей F2 пересевать в F3, F4 и т.д. В итоге 5 лет напряженной работы селекционера часто пропадают впустую [4, С. 111]. Именно отборы в нетипичные годы приводят к тому, что сорт, созданный в одной географической точке, после испытания в системе Госсортосети районирован за сотни (и даже тысячи) км от места его выведения. Так в наши дни в Ленинградской области районирован сорт Красноуфимская 100, созданный на Урале; в Липецкой области возделывали сорта из Одессы; на казахстанской целине и в Западной Сибири высевали Саратовскую 29, созданную в Саратове; сорт Харьковская 46 оккупировал Алтай, но не Харьковщину; шведский сорт Ранг в 70-е годы занимал огромные площади в Тюменской и Омской областях. Это говорит о низкой разрешающей способности методов традиционной полевой селекции. Ситуация в полевой селекции сегодня подобна той, что была в прыжках с шестом: когда спортсмены прыгали в бамбуковыми шестами, мировой рекорд был на уровне 4-х метров. Новые химические технологии создали фиброглассовые шесты, и мировой рекорд сразу поднялся до 6 м.

Это узкое место можно убрать, если проводить отборы в F2 и последующих поколениях в Селекционном фитотроне, в котором поворотами рукояток можно легко создавать типичные динамики лим-факторов для любой зоны селекции на Земле.

Проблема 3. Отсутствие технологий селекции на гомеостаз урожая (на повышение «пластичности» сорта) в ряду лет в одной географической точке или в один год в разных точках. До создания ТЭГОКП природа гомеостаза урожая (пластичности сорта) была неизвестна. Селекцию на повышение гомеостаза урожая вели методом проб и ошибок (методом «тыка») с огромными затратами времени и средств. ТЭГОКП расшифровала ранее неизвестный эколого-генетический механизм гомеостаза урожая (пластичности сорта [4, С.172] и позволила создать приоритетную технологию селекционного повышения пластичности новых сортов [22].

Проблема 4. Отсутствие технологий селекции на повышение засухоустойчивости новых сортов. Ежегодно экономика РФ теряет 7-8 млрд. руб. из-за недостаточной засухоустойчивости сортов зерновых и зернобобовых культур. То же самое происходит и в других странах. Так в Австралии в 2003 г. производство пшеницы из-за засухи сократилось с 24 до 9 млн. тонн, или на 62,5%. Традиционные методы селекции – парные, диаллельные и другие схемы скрещиваний и визуальные отборы на фоне

засухи – не способны повысить наследственную засухоустойчивость, вклад в которую вносят минимум 22 компонентных признака, каждый из которых детерминируется числом генов от 10 до 9 000 [23]. Созданный в рамках ТЭГОКП приоритетный фенотайпинг позволил создать новую неканоническую высокую технологию наследственного повышения засухоустойчивости в Селекционном фитотроне [23].

Проблема 5. Отсутствие эффективных технологий селекции на повышение холодостойкости и жаростойкости новых сортов. Приоритетный фенотайпинг, вышедший из ТЭГОКП, позволил создать новую инновационную технологию селекции для наследственного повышения холодо- и жаростойкости новых сортов при селекции в Селекционном фитотроне, последовательно повышая устойчивости для каждой фазы онтогенеза (напр. у пшеницы – 12 фаз онтогенеза), [25].

Проблема 6. Отсутствие технологий преодоления нежелательных отрицательных генотипических корреляций между экономически важными свойствами и проблемы прогноза положительных генотипических корреляций между легко наблюдаемым признаком и трудно регистрируемым невидимым признаком. ТЭГОКП впервые выяснила эколого-генетические механизмы сдвигов знаков и величин генотипических корреляций в разных средах и создала методы прогноза их изменений от среды к среде [26].

Проблема 7. Отсутствие знаний о природе трансгрессий, их прогнозов и надежных алгоритмов подбора родительских пар для получения трансгрессий по продуктивности и урожаю. Трансгрессии – главный рычаг повышения урожая у растений самоопылителей. Во многих учебниках генетики излагается комбинаторно-генетическая гипотеза природы трансгрессий: $AaBb \times aabb = AaBb$ (в случае направленного доминирования генотип $AaBb$ будет превышать по продуктивности лучший родительский сорт). ТЭГОКП отвергла эту гипотезу, не позволяющую селекционеру прогнозировать возникновение трансгрессий в F_2 , расшифровала эколого-генетическую природу трансгрессий, создала методы прогноза трансгрессий и технологии подбора родительских сортов для скрещивания [26], что позволяет сократить ежегодные объемы скрещиваний каждым селекцентром (а их обычно 1000 и более) – до 5-10 кроссов. Сейчас в РФ около 40 селекцентров, так что сокращение объемов скрещиваний в 100 и более раз существенно снизит затраты и поднимет эффективность селекции на повышение урожая.

Проблема 8. Отсутствие знаний о природе гетерозиса у перекрестников и самоопылителей и задача создания новых алгоритмов подбора пар в селекции на гетерозис. ТЭГОКП подтвердила мнение Ю.Н. Иванова: *«Гетерозис – явление, не имеющее под собой генетической теории. Оно скорее физиологическое, чем генетическое. Ни одна красивая генетическая теория гетерозиса не уцелела;*

ожидания эффекта гетерозиса у гибридов кататрофически лопались, но это замалчивалось» [2, С. 367]. ТЭГОКП расшифровала эпигенетический (эколого-генетический) механизм экологически зависимого гетерозиса, создала инновационную технологию его прогнозирования и экспериментально доказала возможность получения гетерозисного эффекта по продуктивности у яровой пшеницы – более 100% от лучшего родителя [27,28]. Это позволяет на базе этого нового знания вернуться к проблеме создания высокоурожайной гибридной пшеницы.

Проблема 9. Отсутствие знаний о природе важнейшего для селекции явления – взаимодействия «генотип-среда» (ВГС). ВГС – это смена рангов продуктивности в наборе сортов, выращиваемых в разных средах (в разные годы в одной географической точке, или в один год в разных точках). В период с 1905 по 1918 гг. К. Пирсон, С. Спирмен и Р. Фишер [29,30,31] предложили количественные методы («линейки») для измерения эффектов ВГС – коэффициент ранговой корреляции и двухфакторный дисперсионный анализ, которые с успехом применяются и поныне. Однако природа ВГС была неизвестна до 2010 г, и, что очень интересно, ни одна из ветвей традиционной генетики (менделевская, биометрическая и молекулярная) с 1918 по 2010 г. не выдвинула ни одной гипотезы о природе феномена ВГС. Из ТЭГОКП вышла гипотеза об эколого-генетической природе ВГС, она была экспериментально подтверждена, так что сегодня природа ВГС полностью расшифрована. Это позволяет прогнозировать эффекты ВГС для любых сред, а при интродукции генотипа в новые условия среды – заранее знать «портрет» данного генотипа (сорта) в новой среде, до его экспериментального переноса в новую среду [32].

Проблема 10. Отсутствие методов точной оценки эколого-генетического потенциала повышения урожая при скрещивании конкретного набора сортов по диаллельной схеме. На основе ТЭГОКП, используя огромный банк данных (программы ДИАС) замеров признаков продуктивности (около 5 млн. значений), созданы инновационные алгоритмы количественной оценки возможного наследственного превышения урожая будущего сорта над урожаем лучшего сорта из взятого набора сортов для любых географических точек [4, С.189-199].

Проблема 11. Необходимость нового знания всех возможных «рычагов» повышения урожая в процессе селекции. ТЭГОКП показала, что существуют 4 главных рычага повышения урожая новых сортов [33]: 1) типизация динамики лим-факторов среды для каждой зоны селекции, для того чтобы потом воспроизводить типичные динамики типичных лет в Селекционном фитотроне; 2) точная идентификация генотипов при отборах на фоне типичной динамики лим-факторов. (Существует альтернатива: либо, при селекции в поле, ждать прихода типичного года и не вести отборы в нетипичные годы, утопая в огромных объемах семей

второго, третьего и др. поколений, либо создавать в Селекционном фитотроне динамики лим-факторов типичных лет для любой географической точки и проводить отборы в фитотроне); 3) «введение» путем скрещиваний в критические фазы онтогенеза конкретного сорта - генетических систем устойчивости к стрессорам («фазовая селекция»). Этот рычаг способен поднять урожаи на 20-30%; 4) снятие генетических лимитов в суточной динамике физиологических процессов. Так продление нормальной «работы» физиологических систем на 2 часа в сутки даст за 100 дней вегетации прибавку биомассы, которую дает более позднеспелый (на 9 суток) сорт, т.е. 20-30%. Суммарно возможное эколого-генетическое повышение урожаев яровой пшеницы в Западной Сибири – 50-70%; в Европейской части РФ – 60-80%. Взять этот потенциал можно только с помощью Селекционного фитотрона [33].

Проблема 12. Отсутствие технологий быстрой (без смены поколений) оценки генетической (аддитивной) дисперсии признаков продуктивности. Применение в селекционных технологиях ПФП и ПРИ позволяет очень точно оценивать генотипическую дисперсию признаков продуктивности, однако, эта дисперсия имеет сложную природу: в нее входят эффекты межallelельных взаимодействий в локусах (доминирование и сверхдоминирование), эффекты межлокусных взаимодействий (парные эпистазы - комплементарный и дубликатный) и мультилокусные эпистазы. Генетическую (аддитивную) дисперсию порождает изменчивость только аддитивных вкладов генов. Поскольку генетическое улучшение самоопылителей происходит только за счет накопления плюсовых аддитивных генов, то селекционеру необходимо знать не только генотипическую дисперсию, но гораздо более важную для него – генетическую (аддитивную). До появления ТЭГОКП аддитивную дисперсию оценивали либо по корреляции «родитель-потомок», либо по корреляции родственников (сибы и полусибы). Эти оценки требуют смены поколений, т.е. больших затрат времени, и при этом нельзя прогнозировать уровень возможного генетического повышения продуктивности у будущего сорта. ТЭГОКП предложила принцип быстрой оценки (без смены поколений) аддитивной дисперсии по степени «симилярности» реагирования родительских генотипов в экологическом градиенте [34], что позволило делать количественные прогнозы прибавок продуктивности у будущего сорта.

Проблема 13. Отсутствие теории построения оптимальных селекционных индексов для разных динамик лимитирующих факторов в разных зонах селекции. Ю.А. Филипченко [35, С. 38-39] подчеркивал: *«На основании своего опыта я должен предостеречь всех изучающих наследование количественных признаков от пользования индексами – если не совершенно, то в громадном большинстве случаев. Только в очень немногих случаях метод индексов дает нечто большее, чем*

пользование одними абсолютными величинами... В громадном же большинстве случаев пренебрежение абсолютными величинами при выяснении хода наследования может вызвать только путаницу и ошибки».

Однако физиологи растений изучают только количественные признаки (генетики еще и качественные), при этом только в виде индексов. Интенсивность фотосинтеза или транспирации в абсолютном значении не имеют никакого смысла (в отличие от «массы колоса» или «числа колосков в колосе»). Физиологи рассчитывают эти интенсивности на клетку, на единицу площади листа, на единицу массы листа (сырой или сухой), на число хлоропластов и т.п. Но отношение двух признаков – это и есть индекс, значит использование индексов в физиологии растений – обычная и повсеместная процедура. Почему же индексы при изучении генетики количественных признаков приводят к «путанице и ошибкам», а индексы тех же количественных, но физиологических, признаков имеют повсеместное распространение, более того, без них вообще невозможно изучать физиологические процессы?

Из ТЭГОКП вышла новая теория селекционных индексов (НТСИ) [36, 37], которая увязала информативность индексов с лим-факторами внешней среды. Так, отбор по «индексу аттракции» (отношению массы колоса к массе соломины главного стебля одного растения) при селекции пшеницы в Северной Индии (на фоне полива, оптимального минерального питания, оптимальной температуры и освещенности) будет отражать генетические различия растений по качеству ГФС аттракции, и отбор по этому индексу даст новый сорт с наилучшими системами аттракции. Но если мы будем вести отборы по этому же индексу в Саратове (на фоне засухи), то у генотипа, имеющего лучшие гены засухоустойчивости, параллельно увеличатся и «масса колоса» и «масса соломины», т.е. «индекс аттракции» останется неизменным. Отбор по этому индексу в Саратове приведет к потере самых ценных засухоустойчивых генотипов. В Саратове надо вести отборы по признаку – «максимальная общая сухая биомасса растения на фоне средней оводненности листьев и стебля». НТСИ показала, что в одной среде конкретный селекционный индекс может давать прекрасные селекционные результаты, а в другой – приводить к потерям наиболее ценных генотипов. НТСИ предложила конкретные индексы для конкретных сред с четким прогнозом успешности селекции на продуктивность и урожай.

Проблема 14. Необходимость удешевления создания новых прорывных сортов. Все селекционные компании мира проводят экологические испытания новых предсортов (в РФ это делает Госкомиссия по сортоиспытанию МСХ РФ). Так компания KWS (ФРГ) имеет 150 испытательных полигонов в 55 разных странах. Предсорт, напр. сахарной свеклы, испытывается в каждой географической точке не менее 3-4-х лет. Это очень дорого – создание одного нового сорта сахарной свеклы

длится 15-16 лет и обходится в 15-18 млн. евро. В Селекционном фитотроне можно поворотами рукоятки создать типичную динамику лим-факторов для любой географической точки Земли. Объемы испытаний можно резко сократить по времени (4 месяца вместо 3-4-х лет) и по объемам (вместо полевых делянок с тысячами растений достаточно 100 растений (для каждой среды) в вегетационных сосудах Селекционного фитотрона с убранными экологическими и конкурентными шумами. Эти испытания не будут зависеть от сезона года и от любых случайных парадоксов погоды. Стоимость экологических испытаний в фитотроне можно уменьшить в разы, тем самым снизить стоимость создания сорта и существенно увеличить конкурентоспособность сортов РФ на мировых рынках.

Проблема 15. Необходимость новых технологий для упреждающего создания сортов для будущего климата, который сформируется в зоне селекции через 10-15 лет. Потепление (как и похолодание) климата на Земле идут не равномерно, а «пятнами». Климатологи создают прогнозы изменений климата для каждого «пятна». Только в селекционном фитотроне можно создать климат, который будет через 10-15 лет в данном регионе, и за 5-6 лет на фоне этого будущего климата, созданного в фитотроне, сконструировать сорт, идеально подогнанный к будущему климату. Полевая селекция этого сделать не может, т.к. сорт в поле создается 10-15 лет. Полевая селекция всегда будет отставать на 10 лет от идеального соответствия созданного в поле сорта изменившемуся климату. Это приводит и будет приводить к большим недоборам валовых урожаев. ТЭГОКП создала фитотронные технологии упреждающего создания идеально приспособленных сортов к будущим климатам в любых точках Земли.

Проблема 16. Необходимость повышения экспортных перспектив новых сортов, создаваемых в Селекционном фитотроне. В Селекционном фитотроне можно создавать типичную динамику лим-факторов для любой точки Земли. Сегодня почти все сорта с/х растений, растущие на Земле, выведены в полевых условиях, где очень низкий процент (0,001%) достоверного «узнавания» самых лучших индивидуальных генотипов при визуальных отборах, кроме того, отсутствует «фазовая» селекция (т.е. селекционное улучшение адаптивности каждой фазы онтогенеза), а если год проведения отборов совпадет с нетипичным годом для данной зоны селекции, то предыдущие 5 лет работы селекционера могут просто пропасть. Поэтому все сорта Мира, выведенные в поле имеют большой резерв повышения продуктивности [38].

Из ТЭГОКП вышли фитотронные технологии фазовой селекции, быстрые методы идентификации лучших генотипов при отборах (без смены поколений), методы фитотронного управления лим-факторами, «ударяющими» по разным фазам развития, продление суточной физиологической активности растений, которые могут повысить урожай сортов, выращиваемых сегодня в РФ на 50-80%.

По нашему мнению именно ТЭГОКП с её 24-мя следствиями и 10-ю ноу-хау и является тем самым «**фундаментальным научным прорывом**», о необходимости которого пишет Сельскохозяйственный Информационный Бюллетень МСХ США (см. эпиграф).

ТЭГОКП – это мощная альтернатива генной инженерии, особенно при решении проблемы повышения продуктивности и урожаев новых сортов растений. В компактной форме ТЭГОКП и следствия из неё представлены в публикациях – [6,39,40,41].

Ноу-Хау высоких инновационных технологий эколого-генетического (полевого и фитотронного) улучшения компонентов продуктивности растений, вышедшие из ТЭГОКП.

1. Типизация динамики лим-факторов среды для каждой зоны селекции и вида растений на основе приоритетных алгоритмов.
2. Прогнозы возникновения трансгрессий и методы подбора лучших родительских пар на основе расшифрованной природы трансгрессий.
3. Методы экспрессной оценки аддитивности действия ГФС для создания предсортот и сортов.
4. Методы прогноза экологически зависимого гетерозиса и подбор родительских пар для гетерозисной селекции.
5. Методы прогноза эффектов взаимодействия «генотип-среда» с помощью алгоритмов анализа типичной динамики лим-факторов в онтогенезе.
6. Методы прогноза генотипических, генетических (аддитивных) и экологических корреляций и оптимальные методы отбора на основе этих прогнозов.
7. Теория и новые принципы построения селекционных индексов (с позиций ТЭГОКП), и новые методы отбора по индексам с учетом типичных динамик лим-факторов среды в разных географических точках.
8. Методы идентификации генотипов по их фенотипам с помощью принципа фоновых признаков и алгоритмов «ортогональной» идентификации по конечным (результатирующим) признакам и по компонентным признакам на разных фазах онтогенеза.
9. Методы создания стартовых рабочих коллекций селекционеров для каждой зоны селекции РФ.

10. Методы создания стержневых коллекций (core-collections) в банках генетических ресурсов растений.

21 февраля 2019 г. Госкомиссия по сортоиспытаниям МСХ РФ зарегистрировала и ввела в реестр селекционных достижений сорт яровой мягкой пшеницы «Гренада», созданный по приоритетным селекционным технологиям (фенотайпинг семи генетико-физиологических систем, открытых и описанных в следствиях ТЭГОКП). Сорт «Гренада» решено возделывать в 9-ом крупнейшем уральском растениеводческом регионе, куда входят: 1) Башкирия (около 1 млн гектар пшеницы), 2) Челябинская область (1 млн га пшеницы), Оренбургская область

(4 млн га пшеницы), 4) Курганская область (1 млн га пшеницы). Сорт «Гренада» испытывался в Гос-сортосети с 2016 г. и показал мощное превышение по урожаю, устойчивости и качеству над всеми стандартными сортами, ранее районированными в этих регионах. Прибавки урожая «Гренады» с суммарной площади под пшеницей в 9-ом регионе (7млн гектар) будут давать ожидаемый ежегодный экономический эффект – около 30 млрд руб.

Литература

1. Брюейкер Дж. Л. Сельскохозяйственная генетика. – М.: Колос, 1966.
2. Иванов Ю.Н. Мысли о науке и жизни. – Новосибирск. Изд. 4-е. 2011.
3. Лутова Л.А. Современные технологии в биологии растений. Материалы Всероссийской школы молодых ученых по экологической генетике. – Краснодар, 2012. – С. 82-100.
4. Драгавцев В.А., Цильке Р.А., Рейтер Б.Г., Воробьев В.А., Дубровская А.Г., Коробейников Н.И., Новохатин В.В., Максименко В.П., Бабакишев А.Г., Илющенко В.Г., Калашник Н.А., Зуйков Ю.П., Федотов А.М. Книга: Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири. – Новосибирск, «Наука», 1984. 230 С.
5. Драгавцев В.А., Литун П.П., Шкель Н.М., Нечипоренко Н.Н. Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений. // Доклады АН СССР. 1984. Т. 274, № 3. С. 720-723.
6. Драгавцев В.А. Уроки эволюции генетики растений. // Журнал «Биосфера». 2012. Т. 4. № 3. С. 251-262.
7. Международная энциклопедия “Basic Life Sciences”, Plenum press. New York and London. Vol. 8. P. 233-240.
8. Толковый словарь по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, селекции, ДНК-технологиям и биоинформатике (В.И. Глазко, Г.В. Глазко). – М. ИКЦ «Академкнига», Изд. «Медкнига», 2008. Т. 2. С. 308.
9. Толковый словарь по инновационным вопросам селекции, семеноводства и разноможения растений (русско-английский). Авторы: Н.М. Макарушин, В.А. Драгавцев, С.И. Малецкий, А.М. Малько, Е.М. Макарушина, Р.Ю. Шабанов. Симферополь, «Диайпи». С. 122.
10. Краткий словарь по лесной генетике. Красноярск, «Наука». 2015. (Метод фоновых признаков В.А. Драгавцева).
11. Кренке Н.П. Феногенетическая изменчивость. М. 1933-1935. Т. 1. С. 167.
12. Плохинский Н.А. Наследуемость. Новосибирск, «Наука». 1964. С.5.
13. Уильямс У. Генетические основы и селекция растений. М. «Колос». 1968. С. 350.
14. Никоро З.С., Харитонова З.Н., Решетникова Н.Ф. Различные способы определения племенной ценности животных. М. «Колос» 1968. С 300.
15. Рокицкий П.Ф. Введение в статистическую генетику. Минск. «Наука и техника». 1974. С. 200.
16. Савченко В.К. Генетический анализ в сетевых пробных скрещиваниях. Минск. «Наука и техника». 1984. С. 19.
17. Литун П.П. Разрешающая способность современных схем селекционных отборов. // Материалы 4-го Всесоюзного съезда ВОГиС им. Н.И. Вавилова. Кишинев. 1982. Том 2 – Генетика растений. С. 89-91.
18. Драгавцев В.А., Острикова В.М. Поиск фоновых признаков для экспрессной оценки генетической изменчивости в растительных популяциях. // Генетика. 1972. 8(4): 33-37.
19. Драгавцев В.А., Погочев И.Б., Соколова Т.А. Количественные оценки генотипических значений признаков растений с учетом распределения экологических отклонений у фенотипов. // В сб. Модели экосистем и методы определения их параметров. Новосибирск. Вычислительный центр СО АН. 1981. С. 190-196.
20. Драгавцев В.А. Генетика количественных признаков растений в решении селекционных задач. // Диссертация на соискание степени д.б.н. по специальности 03.00.15 – генетика. Ин-т общей генетики АН СССР. М. 1984. Глава: Эффективность применения принципа фоновых признаков. С. 168-173.
21. Дьяков А.Б., Драгавцев В.А. Разнонаправленность сдвигов количественного признака индивидуального организма под влиянием генетических и средовых причин в двумерных системах признаков координат. // В сб. Эколого-генетический скрининг генофонда и методы конструирования сортов с/х растений по урожайности, устойчивости и качеству. СПб, ВИР, 1998. С. 23-40.
22. Драгавцев В.А., Кондратенко Е.Я. Генетический анализ гомеостаза количественных признаков продуктивности. // Тезисы 3-ей Всесоюзной конференции «Экологическая генетика растений и животных». Кишинев, 1987. С. 136.
23. Драгавцев В.А., Михайленко И.М., Проскуряков М.А. Неканонический подход к решению задачи наследственного повышения засухоустойчивости у растений (на примере хлебных злаков). // С/х биология. 2017. Том 52. № 3. С 487-500.
24. Diyakov A.B., Dragavtsev V.A. In: Algorithms of an ecology-genetic survey of the genefund and methods of creating the varieties of crop plants for yield, resistance and quality. St.-Petersburg, VIR, 2002. P. 22-23.
25. Драгавцев В.А., Драгавцева И.А., Ефимова И.Л., Моренец А.С., Савин И.Ю. Управление взаимодействием «генотип-среда» - важнейший рычаг повышения урожаев сельскохозяйственных растений. // Труды Кубанского Гос. Аграрного университета. Научный журнал № 2 (59), 2016. С. 105-121.
26. Dragavtsev V.A. Ascertaining of about epigenetic nature of transgressions at plants productivity traits. // Центр наукових публікацій «Велес», V Міжнародна конференція «Літні наукові читання», Київ, 31 червня 2017 р. 1 частина. С. 5-10.

27. Dragavtsev V.A., Rachman Mg. M. Problems of forecasting heterosis in quantitative genetics. Biometrics in Plant Breeding. Proc. 7th Meeting of EUCARPIA. Norway, 1988. P. 126-130.

28. Рахман Мд. Масудур, Драгавцев В.А. Новые подходы к прогнозированию гетерозиса у растений. // С/х биология. 1990. № 1. С. 3-12.

29. Пирсон Карл, Грамматика науки. М. 1905.

30. Spearman C. // American Journal of Psychology. 1904. Vol. 15. No 88.

31. Fisher R.A. The correlation between relatives on the supposition of mendelian inheritance. // Trans. Roy. Soc. Edinburgh. 1918. Vol. 52. P. 399.

32. Драгавцев В.А., Драгавцева И.А., Ефимова И.Л., Кузнецова А.П., Моренец А.С. К экспериментальному подтверждению новой гипотезы об эколого-генетической природе феномена «взаимодействие генотип-среда» // С/х биология, 2017. № 5, (принята к печати).

33. Драгавцев В.А. Презентация 2 июня 2017 г. на Петербургском Международном Экономическом Форуме – «Глобальный кризис растениеводства XXI века требует новых технологий конструирования прорывных по урожаю и качеству сортов растений» (30 мин).

34. Драгавцев В.А., Аверьянова А.Ф. О корреляции между уровнем аддитивной вариации и степенью симилярности реакции количественных признаков пшеницы. // Генетика. 1979. Т. 15. № 3. С. 518-526.

35. Филиппченко Ю.А. Генетика мягких пшениц. 2-е изд. М. «Наука», 1979. 311 С.

36. Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. СПб. 2008. «Дон Боско». 87 С.

37. Драгавцев В.А., Михайленко И.М. Введение в эколого-генетическую теорию селекционных индексов. В кн. Современные проблемы адаптации (Жученковские чтения IV). Часть 1. Сборник научных трудов Международной научно-практич. конференции, Белгород, 2018. С. 51-61.

38. Якушев В.П., Михайленко И.М., Драгавцев В.А. Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожаев зерновых культур в России. // С/х биология, 2015. Том 50. № 5. С. 550-560.

39. Драгавцев В.А., Малецкий С.И. Эволюция парадигм наследования и развития и их ведущая роль в создании инновационных селекционных технологий. // Журнал «Биосфера», 2015. Том 7. № 2. С. 155-168.

40. Малецкий С.И., Драгавцев В.А. Обзорное рассмотрение эпигенетической революции. // Журнал «Политическая концептология», 2016. № 1. С. 249-254.

41. Драгавцев В.А., Малецкий С.И. Пути «гены-признаки» неисповедимы. // Журнал «Биосфера», 2016. Том 8. № 2. С. 143-150.

Верно: акад. В.А. Драгавцев

9 февраля 2019 г. Санкт-Петербург

Ладутько Е.И.

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси,

Леонovich С.И.

младший научный сотрудник
Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси,

Калинина А.Н.

научный сотрудник

ФГБУ "Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов национального исследовательского центра "Курчатовский институт",

Соколова Л.Н.

Заведующая отделом семеноводства зерновых и зернобобовых культур
РУП «Минская ОСХОС НАН Беларуси»

Заборонок И.М.

директор

РУП «Минская ОСХОС НАН Беларуси»,

Новик Г.И.

кандидат биологических наук,

заведующий лабораторией

Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси,

ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА НОВЫХ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ РОДА *PSEUDOMONAS* – ПЕРСПЕКТИВНЫХ АГЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Ladutska A.I.Candidate of Biol. Sci., leading researcher
Institute of Microbiology Belarus National Academy of Sciences,**Leanovich S.I.**Junior researcher
Institute of Microbiology Belarus National Academy of Sciences,**Kalinina A.N.**researcher
Federal Institution "State Research Institute of Genetics and Selection of Industrial Microorganisms of the
National Research Center" Kurchatov Institute",**Sokolina L.N.**Head of the Department of seed grain and leguminous crops,
Republican unitary enterprise Regional Agricultural Experiment
Station of the Belarus National Academy of Science,**Zaboronok I.M.**Director
Republican unitary enterprise Regional Agricultural Experiment
Station of the Belarus National Academy of Sciences,**Novik G.I.**Candidate of Biol. Sci., head of laboratory
Institute of Microbiology Belarus National Academy of Sciences,

ISOLATION AND CHARACTERISTICS OF NEW HIGHLY ACTIVE BACTERIAL STRAINS OF THE GENUS *PSEUDOMONAS* – PROMISING BIOLOGICAL CONTROL AGENTS

Summary. Ten new strains of bacteria of the genus *Pseudomonas*, potential biological control agents, were isolated from the potato herb. The method of molecular typing proved strain-specific differences in bacterial cultures. Based on the results of the polymerase chain reaction with the genus-specific primers *OpriF* and *OpriR* and phylogenetic analysis, the taxonomic diagnosis of pseudomonads was confirmed. Bacterial cultures are susceptible to bacteriophages and display antifungal activity against phytopathogenic micromycetes of the genera *Alternaria* and *Fusarium*. Using the analysis of the nucleotide sequences of the 16S rRNA gene, highly active bacterial strains KaTp1-4, KaTp2-1 and KaTp1-11 were identified as *Pseudomonas koreensis* and *Pseudomonas* sp.

Аннотация. Из травянистой части картофеля выделены десять новых штаммов бактерий рода *Pseudomonas* – агентов биологического контроля. Методом молекулярного типирования подтверждены штаммоспецифические различия бактериальных культур. На основании результатов полимеразной цепной реакции с родоспецифичными праймерами *OpriF* и *OpriR* и филогенетического анализа подтвержден таксономический диагноз псевдомонад. Культуры бактерий обладают чувствительностью к бактериофагам и антифунгальной активностью в отношении фитопатогенных микромицетов родов *Alternaria* и *Fusarium*. С помощью анализа нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК высокоактивные штаммы бактерий KaTp1-4, KaTp2-1 и KaTp1-11 идентифицированы как *Pseudomonas koreensis* и *Pseudomonas* sp.

Key words: *Pseudomonas*, molecular-genetic identification, molecular typing, bacteriophages, antifungal activity.

Ключевые слова: *Pseudomonas*, молекулярно-генетическая идентификация, молекулярное типирование, бактериофаги, антифунгальная активность.

Введение. Картофель является одной из основных сельскохозяйственных культур. Известно, что в период вегетативного размножения картофеля наблюдается присутствие возбудителей болезней на ботве в период вегетации культур и в клубнях во время хранения. Рост устойчивости возбудителей к химическим средствам защиты растений и постоянные вспышки заболеваний приводят к увеличению применяемых доз химических препаратов, что, в свою очередь, индуцирует новое повышение устойчивости патогенов. Поэтому для повышения эффективности растениеводства актуальны подходы, предполагающие использование биологических средств защиты на основе микроорганизмов — естественных обитателей экосистемы [1], которые обладают избирательностью действия и позволяют избежать нежелательных изменений в биоценозах,

а также сохранить полезные свойства продукции. Большинство таких микроорганизмов синтезируют различные метаболиты, индуцирующие в растении каскад защитных реакций [2]. Кроме того, при взаимодействии с растением бактерии могут повышать его жизнеспособность, тем самым регулируя численность фитопатогенов. В результате формируются несколько уровней защиты, включающих прямую конкуренцию с фитопатогеном, продукцию биопленок и антибиотических веществ, а также индукцию собственного иммунитета растения. Особый интерес представляют эндофитные бактерии [3], обитающие в растительных тканях, что делает их менее зависимыми от внешних факторов. Эндофиты с комплексом хозяйственно полезных признаков могут способствовать формированию длительной защиты растения от стрессовых

факторов [4]. Бактерии рода *Pseudomonas* – одна из наиболее изученных групп микроорганизмов с точки зрения объектов биологического контроля бактериальных и грибных заболеваний сельскохозяйственных культур. Механизмы антагонистического взаимодействия псевдомонад и фитопатогенов включают способность к синтезу широкого спектра антибиотических и ростстимулирующих веществ, конкуренцию за источник питания, эффективную колонизацию филлосферы [5–7]. В связи с большой востребованностью биопрепаратов, актуален вопрос точной идентификации входящих в их состав микроорганизмов. Для устранения недостатков классических фенотипических методов идентификации за последние несколько лет созданы молекулярные методы таксономической идентификации бактерий различных таксономических групп, в том числе рода *Pseudomonas*. Развитие методов на основе полимеразной цепной реакции (ПЦР) открыло новые возможности для четкой и быстрой идентификации псевдомонад [8]. Удобные в исполнении методики на основе ПЦР являются альтернативой классическим микробиологическим методам и предпочтительны в случае необходимости немедленного получения результата. Молекулярно-генетические методы позволяют решать задачи индикации, относящиеся к указанному роду, и точной видовой идентификации.

Целью данной работы явилось выделение из травянистой части картофеля новых высокоактивных штаммов бактерий рода *Pseudomonas* перспективных агентов биологического контроля, таксономическая характеристика и молекулярно-генетическая идентификация культур.

Материалы и методы. Для выделения бактерий 5 г исследуемого растительного материала, предварительно промытого дистиллированной водой, измельчали и смешивали со стерильными порциями мясо-пептоного бульона (МПБ), после чего делали ряд десятикратных разведений. Бактериальную суспензию (100 мкл) из разведений 10^{-3} – 10^{-7} высевали на МПБ, культивировали при 28°C в течение 24 – 48 ч. Изолированные колонии рассевали на мясо-пептонном агаре (МПА) до получения монокультур (не менее трех пассажей). Чистоту культуры контролировали визуально и микроскопически. Изолированные бактерии культивировали на МПА и МПБ при 28°C в течение 24 – 48 ч; мицелиальные грибы – на картофельно-глюкозной жидкой среде при комнатной температуре в течение 72 ч. Проверка антифунгальной активности производилась методом лунок [9]. В качестве тест культур использованы мицелиальные грибы из коллекционного фонда Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов (БКМ): *Fusarium graminearum* БИМ F-601, *Fusarium proliferatum* БИМ F-602, *Fusarium sp.* БИМ F-603, *Alternaria brassicae* БИМ F-621. Морфологию клеток исследовали методом световой микроскопии, используя микроскоп Nikon Eclipse E2000 (Nikon corporation, Япония). При микроскопии клеток использовали окрашивание по методу Грама [10]. Идентификацию микроорганизмов

проводили на основе изучения морфологических, культуральных, физиолого-биохимических свойств выделенных микроорганизмов в соответствии с Определителем бактерий Берджи (1997), а также при помощи молекулярно-генетического метода идентификации на основании анализа нуклеотидной последовательности гена 16S рННК.

Хромосомную ДНК бактерий выделяли при помощи наборов реагентов «Jena» (Германия). Для проведения ПЦР использовали праймеры и реагенты производства «Праймтех» (Беларусь). Амплификацию нуклеотидной последовательности гена 16S рННК проводили с универсальными зубактериальными праймерами 8f (5'-agagtttgatcctggctcag-3') и 1492r (5'-gggtacacctgttacgactt-3'), используя температурно-временной профиль: 95°C – 3 мин (1 цикл); 95°C – 30 с, 57°C – 30 с, 72°C – 1,5 мин (35 циклов); 72°C – 5 мин (1 цикл). В качестве стандартов для определения размера продуктов ПЦР применяли маркер молекулярной массы фрагментов Gene Ruler DNA Ladder 1Kb Plus («Fermentas», Литва).

Для очистки амплифицированных фрагментов гена 16S рННК использовали набор DNA Extraction kit («Thermo Scientific», Литва). Реакцию секвенирования ПЦР-фрагментов гена 16S рННК проводили на автоматическом секвенаторе AE3000 с использованием набора реагентов для секвенирования BigDye Terminator Cycle Sequencing Kit («Applied Biosystems», США). Для анализа результатов секвенирования и редактирования последовательностей применяли программу eSeq. Сравнительный анализ секвенированных фрагментов генов выполняли с использованием программы BLAST базы данных GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast/>).

Для проведения молекулярного типирования геномной ДНК использовали праймеры M13 (5'-gaggggtggcggttct-3') и 1254 (5'-ccgcagccaa-3'). Амплификацию проводили в оптимизированных условиях на автоматическом термоциклере Mastercycler[®]pro (Eppendorf) и SureCycler 8800 Thermal Cycler (Agilent Technologies). В работе использовали реагенты и праймеры производства «Праймтех» (Беларусь). На один образец готовили реакционную смесь, содержащую буфер АМ (x10) для Taq-полимеразы (2 мкл), 0,25 мкл. Taq-полимеразы, 1 мкл каждого праймера (при концентрации 10 pmol/μl), 1 мкл ДНК-матрицы и бидистиллированную воду (15,75 мкл). Общий объем реакционной смеси составлял 20 мкл. Реакцию амплификации с праймером M13 проводили, используя следующий температурно-временной профиль: денатурация 3 мин при 95°C, 39 циклов элонгации – 95°C – 30 с, 45°C – 30 с, 72°C – 2 мин, достройка цепи 5 мин при 72°C; охлаждение до 4°C. Для реакции амплификации с праймером 1254: денатурация 3 мин при 95°C, 39 циклов элонгации – 95°C – 30 с, 45°C – 30 с, 72°C – 1 мин, достройка цепи 5 мин при 72°C; охлаждение до 4°C.

Амплификацию нуклеотидной последовательности гена 16S рННК проводили с использованием

родоспецифичных праймеров OpriF (5'-atgaacaacgttctgaaattctctgct-3') и OpriR (5'-cttgccggctggctttttccag-3'). Реакционная смесь объемом 20 мкл содержала 1 мкл ДНК-матрицы (10-20 нг), 2 мкл 10X "АМ" буфера для Taq-полимеразы, 2 мкл смеси дНТФ (по 2 мМ), по 1 пМ каждого праймера, 0,25 мкл Taq-полимеразы (1,25 ед.). Температурно-временной профиль амплификации: 1 цикл – 5 мин при 95 °С; 30 циклов – 95 °С – 30 сек, 60 °С – 30 сек, 72 °С – 20 сек; 1 цикл – 5 мин при 72 °С; Охлаждение до 4 °С.

Образцы ДНК и продукты ПЦР анализировали методом электрофореза в 1,5 % агарозном геле с использованием 1×TAE-буфера при напряженности электрического поля 5 В/см в течение 45 мин. Для визуализации ДНК гель окрашивали раствором бромистого этидия в концентрации 0,05 мкг/мл. В качестве стандарта для определения размера продуктов ПЦР применяли маркер молекулярной массы ДНК O'GeneRuler Mix DNA Ladder (ThermoScientific). Образцы по 3 мкл смешивали с 1 мкл красителя 6x Orange 2D (ThermoScientific) и далее 3 мкл смеси загружали в лунки агарозного геля.

При предварительном анализе нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК использовали программы BLAST. Далее нуклеотидную последовательность 16S рДНК изучаемого изолята сравнивали с нуклеотидными последовательностями ти-

повых штаммов близкородственных видов с помощью программы CLUSTAL W [11] и корректировали. Построение филогенетического дерева производили с помощью пакета программ MEGA6 (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) (<http://www.megasoftware.net/>) с использованием метода Neighbor-Joining Bootstrap. Статистическую достоверность ветвления оценивали с использованием соответствующей функции программы MEGA6 на основе 1000 альтернативных деревьев.

Результаты. Из листьев и стеблей картофеля выделены штаммы грамотрицательных бактерий, обладающих чувствительностью к бактериофагам и антифунгальной активностью в отношении фитопатогенных грибов родов *Alternaria*, *Fusarium* [12]. Десять штаммов бактерий были идентифицированы как представители рода *Pseudomonas*. На поверхности агаризованных питательных сред псевдомонады образовывали круглые, гладкие, непрозрачные колонии бледно-желтого цвета. При микроскопическом исследовании нативных и фиксированных препаратов клеток характерны грамотрицательные палочки, подвижные за счет наличия полярных жгутиков. Палочки аэробные, каталазо- и оксидазоположительные, что характерно для представителей рода *Pseudomonas*.

Для анализа генетической гетерогенности исследуемых штаммов проведена сравнительная характеристика культур с использованием метода RAPD-ПЦР (рис.1).

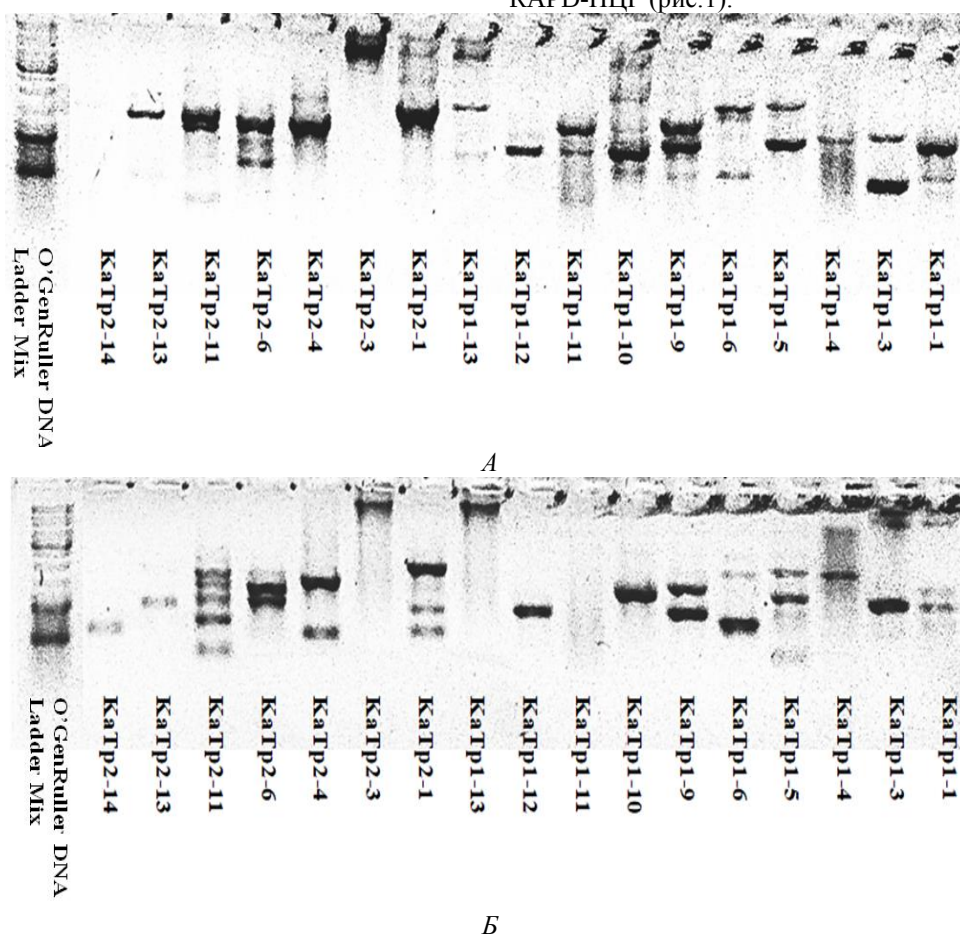


Рисунок 1. Электрофореграмма продуктов RAPD-ПЦР бактериальных изолятов.
А - праймер M13, Б - праймер 1254

При использовании праймера 1254 для анализа генетической гетерогенности псевдомонад получены штаммоспецифичные RAPD-профили, содержащие от трех до двенадцати ампликонов размером ~ 200-3500 п.н. При проведении RAPD-ПЦР с праймером M13 число ПЦР-фрагментов в фингерпринтах варьирует от шести до двенадцати, размером ~ 250-9000 п.н. Электрофоретические профили характеризовались специфическими индивидуальными ампликонами, отличались по количеству и размеру ПЦР-продуктов, что позволило их дифференцировать и выявить внутривидовую генетическую гетерогенность бактериальных штаммов.

Для подтверждения принадлежности культур бактерий к роду *Pseudomonas* были выбраны родоспецифичные праймеры O_{pri}F и O_{pri}R, амплифицирующие участок гена липопротеина I у бактерий рода *Pseudomonas* и дающих ампликон размером 249 п.н. [8]. Используя сервер NCBI Primer Blast и

базу данных GenBank, была подтверждена специфичность данных праймеров к роду *Pseudomonas* и экспериментально доказана на идентифицированных (на основе анализа гомологии нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК и референтных последовательностей баз данных GenBank и Ribosomal Database Project (RDP)) культурах из Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов. В качестве отрицательного контроля использовали коллекционные культуры бактерий видов *Arthrobacter arilatis*, *Chryseobacterium nakagawai*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, в качестве положительного контроля коллекционные культуры бактерий *Pseudomonas koreensis*, *Pseudomonas argensinensis*, *Pseudomonas extremorientalis* и *Pseudomonas asplenii*. Полученные ампликоны представлены на рисунке 2.

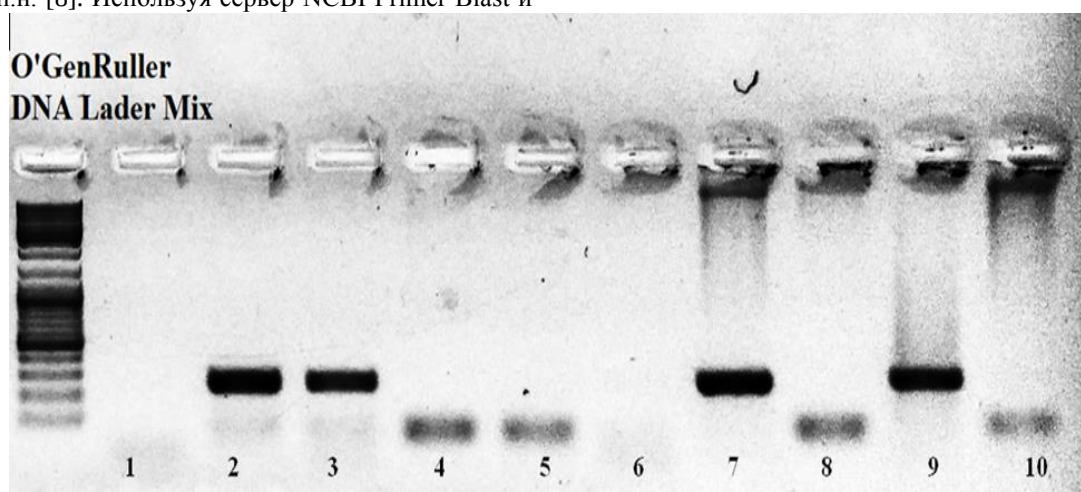


Рисунок 2. – Электрофореграмма продуктов амплификации фрагмента ДНК гена 16S рРНК коллекционных культур бактерий с использованием праймеров O_{pri}F и O_{pri}R:

б/н слева – маркер молекулярной массы ДНК O'GeneRuler DNA Ladder Mix; 1- отрицательный контроль; 2- *Pseudomonas asplenii*; 3- *Pseudomonas extremorientalis*; 4 - *Bacillus subtilis*; 5- *Bacillus cereus*; 6 - *Bacillus licheniformis*; 7 - *Pseudomonas argensinensis*; 8 - *Chryseobacterium nakagawai*; 9 - *Pseudomonas koreensis*; 10 – *Arthrobacter arilatis*;

В результате амплификации праймерами O_{pri}F и O_{pri}R были получены ампликоны размером около 269 п.н. коллекционных бактерий рода *Pseudomonas*, что соответствует размеру участка гена липопротеина I.

Проведена ПЦР образцов ДНК изолятов бактерий, выделенных из листьев и стеблей картофеля, с использованием родоспецифичных праймеров O_{pri}F и O_{pri}R. Электрофореграмма представлена на рисунке 3. В качестве отрицательного контроля были использованы образцы ДНК бактериальных

изолятов, выделенных из листьев и стеблей картофеля. Бактерии идентифицированы нами ранее как представители родов: *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Chryseobacterium*, *Pantoea*, *Stenotrophomonas* на основании анализа данных нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК. По результатам ПЦР-анализа с родоспецифичными праймерами O_{pri}F и O_{pri}R культуры: KaTp2-14, KaTp2-13, KaTp2-11, KaTp2-6, KaTp2-1, KaTp1-12, KaTp1-11, KaTp1-10, KaTp1-9, KaTp1-4 являются представителями рода *Pseudomonas*.

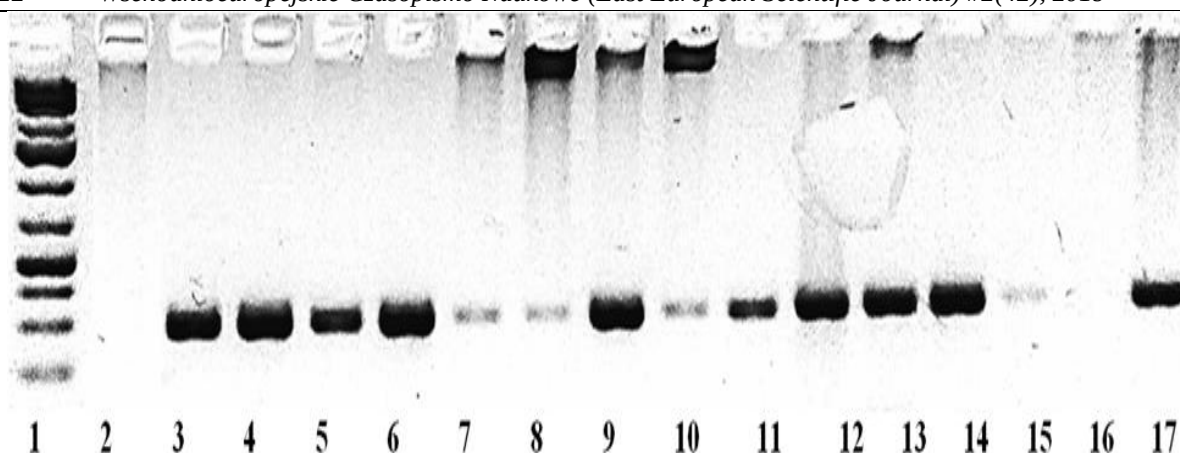


Рисунок 3 – Электрофореграмма продуктов амплификации фрагмента ДНК гена 16S рРНК бактериальных культур, выделенных из листьев и стеблей картофеля с использованием праймеров *OpriF* и *OpriR*. №1 - маркер молекулярной массы ДНК *O'GeneRuler DNA Ladder Mix* (ThermoScientific), №2 - *Bacillus thuringiensis*, №7 - *Arthrobacter arilaitensis*, №8 - *Stenotrophomonas rhizophila*, №10 - *Stenotrophomonas rhizophila*, №15 - *Chryseobacterium oncorhynchi*, №16 - *Pantoea agglomerans*; изоляты: №3-*KaTp2-14*, №4-*KaTp2-13*, №5- *KaTp2-11*, №6 - *KaTp2-6*, №9 - *KaTp2-1*, №11 - *KaTp1-12*, №12 - *KaTp1-11*, №13 - *KaTp1-10*, №14 - *KaTp1-9*, №17 - *KaTp1-4*.

Для высокоактивных штаммов *KaTp2-1*, *KaTp1-11* и *KaTp1-4*, обладающих антагонистической активностью, определены нуклеотидные последовательности гена 16S рРНК. Филогенетический анализ нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК показал, что штаммы являются типичными представителями рода *Pseudomonas*. На филогенетическом древе исследуемые штаммы

распределены в разные подгруппы псевдомонад: штамм *KaTp2-1* находится в одной подгруппе с представителями бактерий вида *Pseudomonas argentinensis*. Штамм *KaTp1-11* занимает положение в подгруппе с представителями бактерий вида *Pseudomonas koreensis* (рис. 4). Точная выдovая идентификация данных штаммов затруднительна из-за малой длины секвенированного фрагмента.

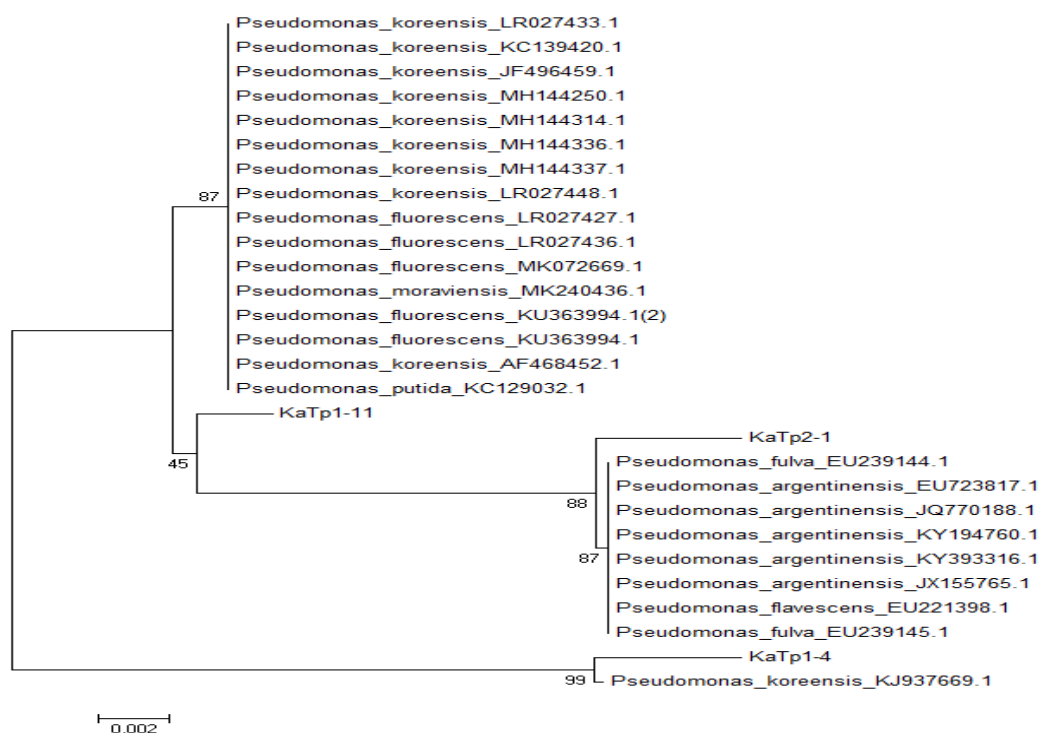


Рисунок 4. Филогенетическое древо, построенное с использованием метода «Neighbor-Joining», основанное на сравнении нуклеотидных последовательностей 16S рДНК видов рода *Pseudomonas*, близкородственных исследуемым штаммам. Цифрами показана статистическая достоверность порядка ветвления, определенная с помощью «bootstrap»-анализа 500 альтернативных деревьев.

Штамм KaTp1-4 отнесен в отдельную подгруппу представителей бактерий вида *Pseudomonas koreensis*. Исследуемые участки ДНК штамма KaTp1-4 на 99,9% схожи с геном 16S рРНК штамма *Pseudomonas koreensis* KJ937669.1 из базы данных GenBank. По результатам молекулярно-генетического исследования штамм KaTp1-4 идентифицирован как *Pseudomonas koreensis*, а два других штамма: KaTp2-1 и KaTp1-11 как *Pseudomonas* sp. соответственно.

Исследована антифунгальная активность выделенных штаммов псевдомонад в отношении фитопатогенных грибов родов *Alternaria* и *Fusarium*. Результаты исследований представлены в таблице 1. Установлено, что штамм KaTp1-4 является антагонистом фитопатогенных грибов родов *Alternaria* и *Fusarium*. Штаммы KaTp1-11 и KaTp2-1 проявляют антифунгальную активность в отношении грибов рода *Fusarium*.

Таблица 1

Ингибирование роста и развития микромицетов бактериями-антагонистами

Изолят	Штамм микромицетов			
	<i>Fusarium gramine-arum</i> БИМ F-601	<i>Fusarium prolifer-atum</i> БИМ F-602	<i>Fusarium</i> sp. БИМ F-603	<i>Alternaria brassi-cae</i> БИМ F-621
KaTp1-4	I ^S / *	I ^S / **	I ^R / ***	I ^R / **
KaTp1-11	I ^R / **	—	—	—
KaTp2-1	—	I ^S / **	—	—

Примечание: * – зона ингибирования роста фитопатогенных мицелиальных грибов лежит в диапазоне 10-30 мм; ** – 40-60 мм; *** – 70-100 мм; I^R – изолят ингибирует рост мицелия; I^S – изолят ингибирует спорообразование фитопатогенов.

Выявлено, что штам KaTp1-4 ингибирует процесс спорообразования и рост мицелия микромицетов родов *Fusarium* и *Alternaria*. Штаммы KaTp1-11 и KaTp2-1 подавляют рост и развитие грибного мицелия.

Таким образом, из травянистой части картофеля выделены десять штаммов бактерий рода *Pseudomonas*. При помощи молекулярного типирования подтверждены штаммоспецифические различия бактериальных культур. На основании ПЦР с родоспецифичными праймерами и филогенетического анализа подтвержден их таксономический диагноз. Три культуры бактерий обладают антифунгальной активностью в отношении фитопатогенных мицелиальных грибов. Штамм KaTp1-4 идентифицирован как *Pseudomonas koreensis*, а два других: KaTp2-1 и KaTp1-11 как *Pseudomonas* sp.

Литература.

1. Bale J.S., van Lenteren J.S., Bigler F. Biological control and sustainable food production. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2008. Vol. 363. № 1492. P. 761-776.
2. Rosenblueth M., Martínez-Romero E. Bacterial endophytes and their interactions with hosts. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 2006. Vol. 19. P. 827-837.
3. Schulz B., Boyle C. T.N. Sieber (eds.). What are endophytes? In: *Microbial root endophytes*. Springer-Verlag, Berlin. 2006. P. 1-13.
4. Maksimov I.V., Abizgl'dina R.R., Pusenкова L.I. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2011. Vol. 47. P. 373-385

5. Боронин А.М., Кочетков В.В. Биологические препараты на основе псевдомонад. АГРО XXI. 2000. 140 с.
6. Штерншиш М.В., Джалилов Ф.С., Андреева И.В., Томилова О.Г. Биопрепараты в защите растений. Новосибирск. 2000. 128 с.
7. Benizri E., Baudon E., Guckert A. Root colonization by inoculated plant growth-promoting rhizobacteri. *Biocontrol science and technology*. 2001. № 11. P. 557-574.
8. Gholami A., Majidpour A., Talebi-Taher M. PCR-based assay for the rapid and precise distinction of *Pseudomonas aeruginosa* from other *Pseudomonas* species recovered from burns patients. *J PREV MED HYG*. 2016. Vol.57. P. 81-85.
9. Методы почвенной микробиологии / Сэги Й. – М.: Колос, 1983. – 253с.
10. Нетрусов, А.И. А. Егорова, Л.М. Захарчук. Практикум по микробиологии / Москва: Академия. 2005. – 608 с.
11. J.D. Thompson, D.G. Higgins, T.J. Gibson CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res*. 1994. Vol. 22. P. 4673-4680.
12. Леонович С.И., Калинина А.Н., Кантерова А.В., Ладутько Е.И., Новик Г.И. Изоляция и характеристика бактерий, обладающих антифунгальной активностью в отношении фитопатогенных грибов родов *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Alternaria*. *Сб. науч. трудов Института микробиологии НАН Беларуси «Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты»* Т. 10. 2018. С. 98-106.

Бабаев Маджнун Шыхбаба оглы¹**Мамедова Рена Фирудин кызы²**¹доктор биологических наук,

Профессор кафедры генетики и эволюционного учения

Бакинского Государственного университета

²доктор философии по биологии

ст. преподаватель кафедры генетики и эволюционного учения

Бакинского Государственного Университета

Бабаев М. Ш., Мамедова Р.Ф.

Бакинский Государственный Университет

AZ-1148, Азербайджан, Баку, ул. Академика Захида Халилова, 23

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ВРОЖДЕННЫЕ ПОРОКИ РАЗВИТИЯ У ДЕТЕЙ

Babayev Majnun Shykhbaba oglu¹**Mamedova Rena Firudin kyzy²**¹doctor of Biological Sciences,

professor at the Department of Genetics and

evolutionary Studies Baku State University

²PhD in Biology

art. Lecturer at the Department of Genetics and

evolutionary Studies Baku State University

Babaev - M. Sh., Mamedova R.F.

Baku State University

AZ-1148, Azerbaijan, Baku,

st. Academician Zahid Khalilov, 23

THE INFLUENCE OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE ENVIRONMENT ON CONGENITAL MALFORMATIONS IN CHILDREN

Аннотация. В статье изложены основные причины зависимости врожденных пороков развития у детей от состояния окружающей среды. Приводятся примеры негативного влияния технологического прогресса на продолжительность жизни человека и возникновение так называемых «экоассоциируемых заболеваний», рассматривается характер загрязнения атмосферного воздуха высокими концентрациями различных химических элементов и соединений, рассматривается вопрос пассивного курения и его влияния на здоровье окружающих, в частности беременных женщин. В заключении отмечается острота проблемы организации и учета прогнозирования ВПР.

Abstract. The article describes the main reasons for the dependence of congenital malformations in children on the state of the environment. Examples of the negative impact of technological progress on human life expectancy and the emergence of so-called “eco-associated diseases” are given, the nature of atmospheric air pollution with high concentrations of various chemical elements and compounds is considered, the issue of passive smoking and its impact on the health of people around, in particular pregnant women are considered. In conclusion, the urgency of the problem of organizing and recording forecasting congenital malformations is noted.

Ключевые слова: мутация, экология, профилактика, никотин, патология, инфекции, плод, атмосфера.

Key words: mutation, ecology, prevention, nicotine, pathology, infections, fetus, atmosphere.

Throughout its existence, mankind has constantly sought to create a more comfortable living environment through the organization and implementation of the latest technological processes and production, the development of the transport network, the chemical, oil refining industry, etc. the planets. Ecological are called catastrophes that not only take people's lives, but also lead to quite deplorable consequences for the environment. As a rule, such disasters are the result of human activity. After all, the development of modern technologies, in particular in the energy sector, provides not only tangible material benefits, but also, if misused, can lead to horrendous consequences.

The transport and industry used by humans consume a large amount of oxygen from the atmosphere, and at the same time, the person does not compensate for the losses and does not comply with the established standards for the purification of waste before they enter the atmosphere. Every year at least 1,250 million tons enter the atmosphere. carbon monoxide, up to 170 million tons sulfuric anhydride, 20 million tons nitrogen oxides, as well as hydrogen sulfide, carbon disulfide, chlorine compounds, fluorine compounds and many other harmful chemical elements and compounds [6, p. 117-118].

Habitat is a complex factor contributing to the emergence of a variety of pathological processes and diseases in humans. At the same time, a complex of environmental factors is extremely diverse, has territorial features, is determined by the presence of active and potentially dangerous agents, which can either alone or in complex interaction with other factors cause disembryogenesis and ultimately contribute to the growth of common and specific frequencies of congenital malformations (CMF) in children in areas of high risk.

Pollution is the introduction into the environment or the emergence of new physical, chemical, informational or biological agents that are usually not characteristic of it, or an increase in the natural average long-term level (within its extreme fluctuations) concentration of the listed agents in the environment, often resulting in negative consequences. Pollution can occur as a result of natural causes (natural pollution) and under the influence of human activity - anthropogenic pollution, which is usually meant when discussing pollution problems [9].

Anthropogenic sources of air pollution are:

- burning of combustible minerals;
- operation of thermal power plants;
- exhausts of modern turbojets;
- production activities;
- contamination by suspended particles (during grinding, packing and loading, from boilers, power plants, shafts, quarries when burning garbage);
- gas emissions from enterprises;
- fuel combustion in flare furnaces (this produces the most massive pollutant - carbon monoxide) [9].

The causes of congenital malformations are different. This pathology can be hereditary. Most often this pathology occurs as a result of genetic mutations caused by the use of alcohol, drugs, exposure to ionizing radiation and other harmful factors. Congenital malformations can also be due to various deviations in the chromosomal sets of the father or mother, as well as a lack of vitamins in the diet of a pregnant woman, especially folic acid. There is undeniable evidence of the negative impact of technological progress on human life expectancy and the emergence of so-called "eco-associated diseases." Congenital malformations (CMF) are recognized by many authors as indicators of the environmental problems of the environment. Many researchers have recently increasingly agreed that the formation of congenital anomalies is multifactorial, and when studying the risk factor for CMF, along with genetic predisposition, all aspects of parents' lives, including the influence of environmental factors, xenobiotics,

occupational hazards of parents, demographic and national aspects, age, lifestyle, presence of chronic pathology, etc. [1,2].

According to the World Health Organization (WHO), 4-6% of children with CMF are born in the world every year, while the mortality rate is 30-40%. Congenital malformations are leading in the structure of causes of perinatal mortality. Studies conducted in different countries showed that the effect of congenital anomalies on the overall structure of infant mortality is increasing and that 25-30% of all perinatal losses are due to anatomical organ defects. Within 1 year of life, 25% of all child deaths are caused by congenital malformations [2].

In the atmospheric air of modern cities there are hundreds of substances of various chemical classes of organic and inorganic nature, coming from numerous sources, as a rule, of anthropogenic origin. The main sources of harmful substances in the atmospheric air of cities are motor vehicles and industrial enterprises. At the same time, it is necessary to take into account that each urban area has its own specific set of pollution due to the type of industry in a given territory. Each of these substances has a specific specificity of action on the human body [9].

The nature of air pollution is determined by the high concentrations of dust, carbon monoxide, as well as lead, benzopyrene, chromium, manganese, iron, nickel, copper, rubidium, etc. Especially this trend is observed in the republics of the former Soviet Union and European countries, where migrants from African, Arab and Asian countries have rushed in recent decades. The number of inhabitants of some large megapolises has increased almost twice in the last 20-30 years. This leads to a high population density and contributes to the increase in the percentage of vehicles that pollute the atmosphere with exhaust gas from petrochemical processing. According to literature data, all these substances have teratogenic properties [5].

Gasoline, benzene, phenol, dimethyldioxane, chloroprene, nitric oxide, ether, chloroform, metals and their salts, such as calcium chloride, mercury, lead, manganese salts, widely used in industry and agriculture tsirama, DDT, gentochlora, as well as lead and zinc whitewash, varnishes, have embryotoxic properties. Harmful occupational factors are one of the significant risk factors causing adverse trends in the health status of working women. The workers associated with exposure to chemical factors at work, the frequency of birth of a child with CDF is approximately 88 cases for every 1000 newborns. [4, 8, p. 31].

Table 1 lists some pollutants and reproductive health disorders.

Table 1.

Substance	Violation
Ionizing radiation	Infertility, microcephaly, chromosomal abnormalities, cancer in children.
Mercury	Blindness, spontaneous abortions, deafness, mental retardation.
Lead	Congenital malformations, low birth weight, Infertility, spontaneous abortions, affects the blood circulation and nervous system
Cadmium	Low birth weight
Manganese	Infertility
Arsenic	Reducing the body weight of newborns, Congenital malformations.
Polycyclic aromatic hydrocarbons	Fertility reduction
Chlorine-containing substances	Congenital malformations, Disruption of the central nervous system, perinatal mortality
Dichlorethylene	Congenital malformations (heart)
Benzene	Low birth weight, ovarian atrophy
Organic solvents	Congenital malformations, cancer in children
Anesthetics	Low birth weight, tumors in the embryo, infertility
Carbon monoxide	Slows reflexes, weakens mental abilities, causes drowsiness, etc.
Nitrogen oxides	They irritate the lungs, cause bronchitis and pneumonia.

Unintentional inhalation of air filled with cigarette smoke is called passive smoking. Its danger lies in the absence of filtration. Among other things, passive smokers inhale products of metabolism - toxins exhaled by an active smoker along with smoke. The concentration of harmful substances in this case is 50 times higher than that of primary smoke from cigarettes. Passively pregnant smokers are also at risk. Tobacco smoke causes oxygen starvation and extremely negatively affects all processes of fetus formation in the mother. It can cause its prenatal death or miscarriage, as well as cause congenital deformities, the birth of a dead or non-viable infant [3].

In the smoker's light portions of tobacco smoke come after passing the filter, while family members, employees, neighbors and passers-by are forced to inhale it in its original form. Nicotine as a production factor is found in enterprises associated with the production of tobacco and tobacco products, is extremely widespread in everyday life in the form of smoking, therefore, is of great social importance. Nicotine has a versatile effect on the body, because it contains a number of biologically active substances - methyl alcohol, pyridine bases, methylamine, ethyl mercaptan, etc. [3].

Children of passive smokers often have weak immunity. They are 11 times more likely to suffer from respiratory infections, prone to the development of atopic dermatitis. Passive smoking is one of the causes of sudden death of newborns and children under the age of 1 year. Feeding an infant in a room where people smoke has a detrimental effect on its nervous system [3].

Prevention of congenital malformations includes two groups of measures: individual, consisting in preventing the birth of a child with any defect in a given family (medical and genetic counseling), and mass. The activities of the second group envisage "improving the environment" (for example, terminating a nuclear test), thoroughly testing for mutagenicity and teratogenicity of drugs, herbicides, improving working conditions for workers in a number of occupations with hazardous working conditions (employees of nuclear power

plants, radiologists, people working with radioactive isotopes, etc. [7, p. 54].

Embryopathy is the pathology of the embryo from the 16th day of pregnancy to the 75th day, inclusive, during which the formation of the main organs and the formation of the placenta are completed. The main types of embryopathy are CDF (congenital malformations), i.e., persistent morphological changes in an organ, body part or the whole organism, going beyond the limits of normal structure variations, leading to impaired function. Embryopathy prevention includes a set of measures to protect the environment, prevent air pollution, water, soil with various chemical compounds that have a toxic effect, stop testing atomic weapons, improve the working conditions of workers in certain professions (working with radioactive isotopes, radiologists, etc.) limit the use of female labor in hazardous industries. Individual prevention includes measures to comply with sanitary-hygienic and moral standards and exemption from bad habits of future parents, carrying out recreational activities in the presence of chronic foci of infections, especially the genitourinary sphere. When treating pregnant women, it is necessary to avoid drugs that can adversely affect the fetus. X-ray examination of pregnant women should be carried out only for health reasons [4].

Conclusion

Congenital malformations constitute one of the serious problems not only of health care, but also of the state as a whole, since their treatment, as well as a high level of disability of children, require huge material costs and are one of the causes of infant mortality. The level of air pollution is only one of the risk factors for the formation of congenital pathology in children. In most cases, it is possible to establish the multifactorial nature of congenital anomalies. In this regard, it remains relevant to search for the most informative risk factors for their formation, allowing to predict the likelihood of this pathology and plan preventive measures to prevent the birth of children with birth defects.

Thus, given the ever-increasing number of newborns with congenital developmental pathology, and mortality from this pathology at different periods of

life, as well as the existing shortcomings in the organization of recording and predicting CMF at various stages, this problem does not lose its severity. Moreover, the majority of authors point out the need for further research in this direction, as well as their early implementation in practical health care.

Literature

1. *Congenital malformations as an indicator of ecological environmental status* [Electronic resource] <https://cyberleninka.ru/article/v/vrozhdenneye-poroki-razvitiya-kak-pokazatel-ekologicheskogo-sostoyaniya-okruzhayuschey-sredy>
2. Antonov O.V. Problems and prospects of monitoring of congenital malformations in children / O.V. Antonov // Problems of social hygiene, health care and medical history. - 2007, №1, p. 6-8
3. *The harm of passive smoking* [Electronic resource] <https://xsmoker.ru/faq/o-vrede-kurenya/passivnoe/>
4. Aurika Lukovkina - care for weakened newborns [Electronic resource] <https://profilib.net/chtenie/155345/aurika-lukovkina-ukhod-za-oslablennymi-novorozhdennymi-33.php>

5. Kuskanov V.F. Ecological and epidemiological characteristics of anthropogenic chemical factors of small cities [Electronic resource] <http://medical-diss.com/medicina/ekologo-epidemiologicheskaya-harakteristika-antropogennyh-himicheskikh-faktorov-malyh-gorodov-vostochnogo-orenburzhya#ixzz5TsxFAUan>

6. Kulikov V.V. Ecology // Successes of Modern Natural Science - 2014. - № 10 - p. 117-118.

7. Ivanov N.M. Pollution and congenital malformations of man, Moscow State University. Ogarev - 2000, p. 54

8. Popkova L.V., Koskina E.V., Kalinina N.E., Shelepanov V.M. Formation of congenital malformations in a large industrial city // "Mother and Child in Kuzbas", №4 - 2003, p. 31

9. *Influencing environmental factors on the human body* [Electronic resource] http://vmde.org/sait/?id=Gigiena_ecologiya_ivanov_2010&menu=Gigiena_ecologiya_ivanov_2010 & page = 3

Mustafayeva R.S., Abdullayeva N.F.
Senior Assistant, Assistant professor
Baku State University,

HYDROLYSIS OF MILK PROTEINS BY PROTEASES OF LACTIC ACID BACTERIA STRAINS AND THEIR HYPOALLERGENIC PROPERTIES

Мустафаева Р.С., Абдуллаева Н.Ф.
старший лаборант, доцент
Бакинский Государственный Университет,

ГИДРОЛИЗ МОЛОЧНЫХ БЕЛКОВ ПРОТЕАЗАМИ ШТАММОВ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ И ИХ ГИПОАЛЛЕРГЕННЫЕ СВОЙСТВА

Abstract. The aim of this work was to optimize the hydrolysis of milk proteins by various proteases of lactic acid bacteria (LAB) and enzymatic hydrolysis of milk proteins for the manifestation of their hypoallergenic properties. The amount of partial hydrolysates of whey proteins obtained using pepsin in α -LA is 100%, and using papain in β -LQ is $61.8 \pm 4.8\%$; α -LA-100%. When using thermolysin, trypsin and alcalase in β -LQ and α -LA-100%, respectively. In neutral and alkaline media, papain, trypsin, alcalase, and thermolysin efficiently cleaved β -LQ, and under optimized conditions, these enzymes cleaved α -LA. Casein is considered the main source of protein for the production of hypoallergenic protein hydrolysates. Casein hydrolysis was carried out in 2 stages: protease hydrolysis with LAB strains and pepsin hydrolysis. As a result, during the fermentation of milk proteins, some LAB produce biologically active peptides that are relevant in the development and organoleptic, hypoallergenic properties of fermented milk products.

Аннотация. Целью данной работы была оптимизация гидролиза белков молока различными протеазами молочнокислых бактерий (МКБ) и ферментативный гидролиз белков молока для проявления их гипоаллергенных свойств. Количество частичных гидролизатов сывороточных белков полученных с применением пепсина в α -LA 100%, а с применением папаина в β -LQ $61,8 \pm 4,8\%$; α -LA-100%. При применении термолизина, трипсина и алкалазы в β -LQ и α -LA-100%, соответственно. В нейтральных и щелочных средах папаин, трипсин, алкалаза и термолизин эффективно расщеплял β -LQ, а в оптимизированных условиях эти ферменты расщепляли α -LA. Казеин считается основным источником белка для получения гипоаллергенных белковых гидролизатов. Гидролиз казеинов проводился в 2 этапах: гидролиз протеазами штаммами МКБ и гидролиз пепсином. В результате при ферментации молочных белков некоторыми МКБ образуются биологически активные пептиды, которые являются актуальными при разработке и органолептическими, гипоаллергенными свойствами ферментированных молочных продуктов.

Keywords: lactic acid bacteria, milk protein hydrolysis, proteases of LAB, protein hydrolysis optimization, hypoallergenic milk proteins

Ключевые слова: молочнокислые бактерии, гидролиз молочных белков, протеазы МКБ, оптимизация гидролиза белков, гипоаллергенность молочных белков

Полноценная пища должна содержать белки, жиры, углеводы, витамины и должна быть разнообразной. Жиры и углеводы считаются источниками энергии и в определенных пределах они взаимозаменяемы. Их можно заменить белками, но белки ничем заменить нельзя.

Белки входящие в состав молока по строению, физико-химическим свойствам и биологическим функциям разнообразны и в молоке в среднем содержится около 3,2% белка. Кроме белка в молоке содержится азотистые соединения небелкового характера: свободные аминокислоты, пептиды, мочевины, аммиак, мочевая кислота [1, с. 384]. Исследователи используя современные способы разделения и выделения белков установили, что в состав молока входит три группы белков. Первая основная группа это казеин, содержащий 4 фракции: α_1 , α_2 , β и κ казеин и их фрагменты. Вторая группа состоит из сывороточных белков β -лактоглобулин и α -лактоальбумина, иммуноглобулинов и альбуминов сывотки крови [18, с. 105-112]. Кроме того, в эту группу входит лактоферрин и так называемые минорные белки. Третья группа это белки оболочек жировых шариков. Они составляют всего 1 % всех белков молока. Изучение вторичной и третичной структур белков молока показало что, казеин в отличие от обычных глобулярных белков почти не содержит α -спиралей, а α -лактоальбумина, а β -лактоглобулин содержит большее количество спирализованных участков. Структура казеина обеспечивает хорошую расщепляемость казеина протеолитическими ферментами при переваривании в нативном состоянии без предварительной денатурации [7, с. 217-246; 12, с. 587-592; 13, с. 3472-3478].

Продукты с низким аллергенным потенциалом и высокой питательной ценностью можно получить при ферментативном гидролизе белкового компонента молока [3, с. 35; 10, с. 331-334]. При потреблении гидролизированных белков достигается положительный физиологический эффект. Этот эффект по сравнению с нативными белками и аминокислотами достигается за счет лучшего усвоения короткоцепочечных пептидов в кишечном тракте [2, с. 263-272; 10, с. 331-344].

Для пищевой и фармацевтической промышленности получение гипотензивных, антимикробных, иммуностимулирующих, антифунгальных и с другими эффектами биологически активных пептидов, представляет особый интерес [16, с. 3101-3106]. Протеолиз является важным биохимическим процессом при получении различных ферментированных продуктов. Протеолитическая система, участвующая в распаде казеина, обеспечивает клетки незаменимыми аминокислотами во время роста в молоке и также имеет промышленное значение за счет развития органолептических свойств в ферментированных молочных продуктах [12, с. 587-592]. Протеолитическая система состоит из внеклеточной серин-протеиназы и транспортных

систем, специфичных для ди-трипептидов и олигопептидов. Модель протеолитического пути состоит из: -(I) протеиназы имеющую широкую специфичность и способность высвобождать большое количество различных олигопептидов, -(II) транспорта олигопептидов являющихся основным путем поступления азота в клетку; -(III) всех пептидаз расположенных внутриклеточно. Для полного распада накопленных пептидов требуется действие всех пептидаз [14, с. 105-110; 15, с. 187-221; 17, с. 109-115]. Изучение физиолого-биохимических и промышленно ценных свойств молочнокислых бактерий в частности *Lb. helveticus* A7, *Lb. paracasei* A582, *E. faecalis* AN1, *E. faecalis* A121 и др. является актуальным направлением исследований прикладной биотехнологии, что связано с широким применением микроорганизмов в различных отраслях молочной промышленности, в частности сыроделии, при изготовлении йогуртов и заквасок [22, с. 969-973]. Как известно бактерии нуждаются в экзогенном источнике пептидов и аминокислот, которые образуются из основного белка молока - путем гидролиза казеина. Казеин расщепляется бактериальной протеазой, которая связана с клеточной стенкой. Образовавшиеся олигопептиды поглощаются посредством специфического пептидного транспорта и в дальнейшем под действием различных внутриклеточных пептидаз расщепляются на короткоцепочечные пептиды и аминокислоты [13, с. 3472-3478; 20, с. 1395-1410; 21, с. 139-155]. При ферментации казеина некоторыми МКБ образуются биологически активные пептиды. Эти пептиды являются актуальными при разработке продуктов функциональной направленности (таблица 1). Так пептидный и аминокислотный профиль гидролизованного белка молока определяет биологически активные, органолептические и гипоаллергенные свойства ферментированных продуктов [6, с. 207-228; 19, с. 16-20].

Материалы и методы

Оптимизация гидролиза белков молока различными протеазами. Расщепление белков-аллергенов осуществляют с использованием широкого спектра протеаз – ферментов класса гидролаз. Гидролазы катализируют гидролитический разрыв пептидных связей. Среди них известны ферменты микробного -алкалаза, нейтраза, термолизин, животного -пепсин, трипсин, химотрипсин и растительного происхождения -папаин, бромелаин, фицин [5, с. 159-203]. У этих ферментов различные механизмы каталитического действия. Изучение особенностей гидролиза белков молока специфическими протеазами, а также при совместном их воздействии направлено на установление оптимальных параметров. Этими параметрами являются получения частичного гидролизата с заданным пептидным составом, а также иммунохимическими свойствами как компонента продуктов специализированного питания [4, с. 209-223; 11, с. 4772-4778].

Белки коровьего молока представляют собой первый источник антигенов, встречающихся в больших количествах в младенчестве. Среди этих антигенов β -лактоглобулин (β -LG), α -лактальбумин (α -LA) и казеины являются основными аллергенами в коровьем молоке [12, с. 587-592].

Согласно исследованиям по оптимизации условий гидролиза основных сывороточных белков

сериновыми (алкалаза и трипсин), аспарагиновой (пепсин) и цистеиновой (папаин) протеазами, металлопротеазами (термолизин) комплексными ферментными препаратами представлена сравнительная характеристика соответствующих частичных гидролизатов (таблица 1).

Таб: 1

Количество частичных гидролизатов сывороточных белков полученных с применением различных протеаз

Фермент для получения частичного гидролизата	Количество расщепленных белков в гидролизате, %	
	β -лг	α -ла
Пепсин	0	100
Папаин	61,8 $\pm$ 4,8	29,8 $\pm$ 4,2
Термолизин	100	100
Трипсин	100	98
Алкалаза	100	100

Ферментативный гидролиз белков молока как путь их гипоаллергенности

Под действием различных технологических приемов может быть снижена аллергенность молочных продуктов. Для молекулярного изменения аллергенного потенциала белков, разрушается область антигенных эпитопов или формируются новые. В результате денатурации аллергена облегчается доступ к ранее скрытым эпитопам [5, с. 159-203].

Один из путей снижения аллергенности молочных продуктов- это ферментативный гидролиз.

Механизм ферментативного катализа состоит из трех последовательных реакций. Во первых образуется комплекс Михаэлиса из белка (субстрата) и фермента. Вторая реакция это разрыв пептидной связи и высвобождения одного пептида. На последней стадии оставшийся пептид отделяется от фермента после нуклеофильной атаки, которую осуществляет молекула воды [5, с.159-203].

Казеин считают основным источником белка для получения гипоаллергенных белковых гидролизатов. При протеолизе казеина основным недостатком является неприятный вкус и запах. Для изготовления гипоаллергенных молочных смесей также используют гидролизаты сывороточных белков. При введении в состав молочных смесей сывороточных белков необходимо уменьшить содержание ароматических аминокислот [8, с. 254-258].

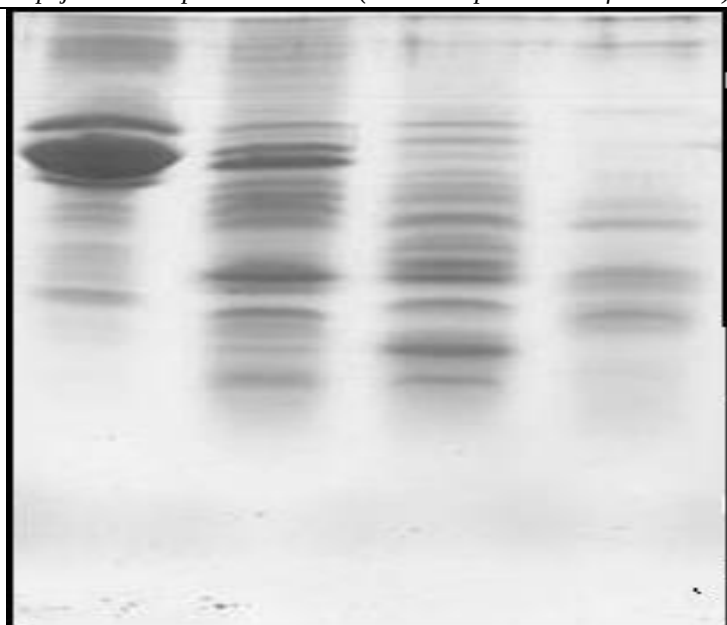
Протеолиз казеинов проводили по методике, описанной Mouesoucou и соавт. [15, с. 187-221]. Гидролизат казеинов штаммом, а также нативный субстрат, подвергали дальнейшему гидролизу пепсином. Гидролиз пепсином проводили в течении 1 часа при pH 2.0 и температуре 37 °C.

Результаты и их обсуждение

Папаин, трипсин, алкалаза, термолизин эффективно расщепляет β -лактоглобулин в нейтральных и щелочных средах. В оптимизированных условиях эти ферменты расщепляют α -лактоальбумин.

При гидролизе β -лактоглобулина и α -лактоальбумина термолизином предпочтительным является pH 8. При 70°C была показана максимальная степень протеолиза. Была показана высокая эффективность гидролиза сывороточных белков при использовании трипсина и алкалазы. Для получения белкового компонента с низким антигенным потенциалом является выбор таких ферментов как термолизин, трипсин и алкалаза [3, с.35-39; 4, с. 209-233].

Гидролиз казеинов проводился в два этапа: гидролиз протеазами штаммами молочнокислых бактерий и гидролиз пепсином. Профиль протеолиза на этапах гидролиза протеазами штамма молочнокислых бактерий и гидролиза пепсином было показано на рис:1. 1 2 3 4



I-этап II-этап

Рис.1 Протеолиз казеинов протеазами штамма молочнокислых бактерий и пепсином. Линии 1, 3, соответствуют контролям, линии 2, 4 гидролизатам казеинов штаммом молочнокислых бактерий. I этап – гидролиз штаммами молочнокислых бактерий, II этап – гидролиз пепсином.

Как видно с рисунка частичный гидролиз в образовании большого количества пептидов происходит (линия 2) после 3 ч. инкубации клеток штамма с субстратом. Профиль пептидов отличался для контроля и гидролизата (линии 3 и 4). В результате предварительный гидролиз казеинов протеазами штамма молочнокислых бактерий улучшал их переваривание пепсином.

Представлено эффективность применения алкалазы, трипсина или термолизина для гидролиза нативных β -лактоглобулина и α -лактальбумина, обеспечивающих получение белкового компонента с содержанием пептидной фракции 90,9–98 %.

В результате были охарактеризованы гидролизаты казеина и сывороточных белков, которые получены с применением ферментов с различными механизмами каталитического действия и путем ферментации протеолитическими системами промышленно-ценных молочнокислых бактерий.

Было обосновано совместное использование таких протеаз как алкалазы и трипсина. Их использовали для увеличения степени гидролиза белков молочной сыворотки и для снижения остаточной антигенности продуктов протеолиза. В результате для продуктов специализированного питания был разработан способ получения частичного гидролизата сывороточных белков. Для расщепления всех белков-аллергенов способ получения частичного гидролизата сывороточных белков является преимущественным.

Литература

1. И.А. Рогов, Л.В Антипова, Н.И Дунченко, Н.А Жеребцов Химия пищи: Белки: Структура, функции, роль в питании // В 2-х кн. Кн.1- М.: Колос, 2000.- 384 с.

2. Т.Н. Головач [и др.] Изучение особенностей ферментации белков молока (казеиновой и сывороточной фракций) мезофильными и термофильными лактобациллами //Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. научн. тр. 2011. Вып. 6 /РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелешеня [и др.] – Минск, РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2012. – С. 263–272.

3. Т.Н. Головач, В.П. Курченко, Н.К. Жабанос Характеристика частичного гидролизата сывороточных белков, полученного с использованием термостабильной бактериальной эндонуклеазы // Инновационные процессы в АПК: материалы 125 III Междунар. науч.-практ. конф. преподавателей, молодых ученых и студентов, г. Москва, 13–15 апреля 2011 г. / ФГОУ ВПО Российский университет дружбы народов. – М: РУДН

4. Т.Н. Головач, В.П. Курченко, Л.И Сурвило Антигенные свойства нативных и термообработанных сывороточных белков и их частичных ферментативных гидролизатов // Труд. Белорусск. гос. ун-та. Сер.: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2011. – Т. 6, Ч. 1. – С. 209–223.

5. Adler-Nissen, J. // In Enzymes in food processing; T. Nagodawithana, G. Reed, Eds.; Academic Press: San Diego. – 1993. – P. 159–203.

6. Besler M., Steinhart H., Paschke A. Stability of food allergens and allergenicity of processed foods / M. Besler, H. Steinhart, A. Paschke // J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl. – 2001. – Vol. 756. – P. 207–228.

7. Christensen J.E [et al.] Peptidases and amino acid catabolism in lactic acid bacteria //Antonie Van Leeuwenhoek. – 1999. – Vol. 76. – P. 217–246.

8. Clemente A. Enzymatic protein hydrolysates in human nutrition // Trends in Food Science and Technology. – 2000. – Vol. 11. – P. 254–
9. Doeven M.K., Kok J., Poolman B. Specificity and selectivity determinants of peptide transport in *Lactococcus lactis* and other microorganisms // Mol. Microbiol. – 2005. – Vol. 57. – P. 640–649.
10. Edwards P.J.B. [et al.] Heat-resistant structural features of bovine β -lactoglobulin A revealed by NMR H/Dexchange observations // Int. Dairy J. – 2002. – Vol. 12. – P. 331–344.
11. Fernandez-Esplá M.D. [et al.] *Streptococcus thermophilus* cell wall-anchored proteinase: release, purification, and biochemical and genetic characterization // Appl. Environ. Microbiol. – 2000. – Vol. 66. – P. 4772–4778.
12. Heyman, M. Evaluation of the impact of food technology on the allergenicity of cow's milk proteins // Proc. Nutr. Soc. – 1999. – Vol. 58, № 3. – P. 587–592.
13. Juillard V. [et al.] The extracellular PI-type proteinase of *Lactococcus lactis* hydrolyzes β -casein into more than one hundred different oligopeptides // J. Bacteriol. – 1995. – Vol. 177. – P. 3472–3478.
14. Kleber N. [et al.] The antigenic response of β -lactoglobulin is modulated by thermally induced aggregation // Eur. Food Res. Technol. – 2004. – Vol. 219. – P. 105–110.
15. Kunji E.R.S. [et al.] The proteolytic systems of lactic acid bacteria // Antonie Van Leeuwenhoek. – 1996. – Vol. 70. – P. 187–221.
16. Laan H., Konings W.N. Mechanism of proteinase release from *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* Wg2 // Appl. Environ. Microbiol. – 1989. – Vol. 55. – P. 3101–3106.
17. Minami [et al.] Oligopeptides: mechanism of renal clearance depends on molecular structure / H. // Am. J. Physiol. – 1992. – Vol. 263, № 2. – P. 109–115.
18. Mouecoucou, J.; Villaume, C.; Sanchez, C.; Mejean, L. β -Lactoglobulin/ polysaccharide interactions during in vitro gastric and pancreatic hydrolysis assessed in dialysis bags of different molecular weight cut-offs. Biochim. Biophys. Acta 2004, 1670, 105–112.
19. Paschke A., Besler M. Stability of bovine allergens during food processing // Ann. Allergy Asthma Immunol. – 2002. – Vol. 89. – P. 16–20.
20. Peterson, S.D., Marshall R.T. Nonstarter lactobacilli in Cheddar cheese: a review // J. Dairy Sci. – 1990. – Vol. 73. – P. 1395–1410.
21. Siezen, R.J. Multi-domain, cell-envelope proteinases of lactic acid bacteria // Antonie Van Leeuwenhoek. – 1999. – Vol. 76. – P. 139–155.
22. Takagi [et al.] K. Comparative study of in vitro digestibility of food proteins and effect of preheating on the digestion // Biol. Pharm. Bull. – 2003. – Vol. 26, № 7. – P. 969–973.

UDC 632.111.5

Krivobochev Vitaly Grigoryevich
Penza Research Institute of Agriculture.

Stsenko Alexander Petrovich
Penza State University.

Statcenko Alexandr P.
ScD (Doctor in Agriculture). professor.

Shanghai University
Vichreva Valeria A.

ScD (Doctor in Biology). professor.
Penza State Agriculture University

Kostinevich. Vitalij V.
ScD. associate professor.

Penza State University
Kamardina. Natalija V.

ScD. associate professor.
Penza State University

Ulbasheva. Rauzat D.

ScD. associate professor.

Kabardino-Balkarian State University n.a. K.M. Berbekov

ASSESSMENT OF THE SALT RESISTANCE OF FIELD CULTURES

Great damage to global agricultural production is caused by soil salinity, in which the salt content (mainly chlorides and sulphates) exceeds 0.25% by mass. On our planet, 25% of the soil is precisely saline. In the Russian Federation, saline soils occupy 36 million hectares, which is 18% of the total area of irrigated land. These soils are widespread in the southeast of the European part of the country. Significant areas of saline soils occupy in the Volga region. It is known that the salinization process is intensified with irrigation of

land. This is a real disaster in the Middle Volga region, where 6% of arable land is saline and 17% is salted [1]

The most important scientific problem is the development of objective diagnostic methods for assessing the salt tolerance of agricultural plants. The most promising direction for solving this problem is the improvement of methods for comparative assessment of salt tolerance, when a plant variety with high salt-resistance is used as a standard. Moreover, comparative methods can be used in assessing the salt tolerance of

plants of close systematic groups, preferably within the same species.

Methods of diagnostics of salt tolerance of plants acquire in recent times of great importance in the breeding and seed-growing industries. Moreover, the selection of seeds of salt-tolerant plants should be carried out among the forms with the highest yield on saline soils.

A promising direction in assessing the salt tolerance of plants is the germination of seeds on saline substrates [9]. However, a significant disadvantage of this method is that it allows one to assess the plant resistance to plants only during the initial phases of their development. Meanwhile, for a complete understanding of the process, it is necessary to assess the salt tolerance of plants during the whole ontogenesis. The fact is that salt tolerance in plants varies significantly depending on the phases of their development.

The method of determining the salt tolerance of plants according to the intensity of chlorophyll destruction in leaves placed by the petioles in salt solutions deserves attention. The basis of this method is the presence of a stable bond of the "chlorophyll-protein" system in plants with high salt-resistance. Indicator of the degree of assessment of salt tolerance of plants is the rapidity of salt spots due to the destruction of chlorophyll under the influence of salts. Moreover, in salt-tolerant forms, the disintegration of chlorophyll begins later and proceeds less intensively.

Also known is a microscopic method for determining salt tolerance, the estimated indicator of which is the rate and size of the appearance of spots from salt burns on leaves of plants placed for 30 minutes by means of 0.1 M sodium sulfate solution. In addition, a method for assessing salt tolerance has been developed, which involves counting plasmolized cells after immersing for two hours sections of the epidermis of plant leaves in a 0.1 M solution of sodium chloride.

Recently, direct and indirect methods for determining the salt tolerance of plants have been developed, providing for the assessment of yield and productivity, the rate of physiological and biochemical processes in vegetative and generative organs. In this case, the main indicator of the degree of salt tolerance of a seed plant, the intensity of plasmolysis of cells, the rate of chlorophyll fading in the leaves of seedlings placed in salt solutions [3,5,6]. However, the mentioned methods are not always objective, since the germination rate, seed germination depends not only on salt tolerance, but also to a significant degree on the state of the embryo, seed membranes, the depth of rest of the seeds, etc. In addition, some of them are laborious and long-term in execution.

A widely used method for assessing salt tolerance for seed germination in salt solutions [3]. The main indicator of resistance in this case is the percentage of germinated seeds over a period of time from 5 to 15 days in saline conditions compared to water control. However, the practical use of this method is limited due to the fact that the mandatory condition for its execution is a high laboratory yield of seeds. In addition, the seed used for sprouting should be grown in the same

climatic and weather conditions, which is not always possible in practice. Along with this, there is evidence that the amino acid Proline combines protective (in particular, salt protective) properties with the ability to accumulate in the vegetative organs of plants under stress, in particular, salinity [2,4,7,8, ten]. In this regard, the degree of accumulation of free proline in vegetative organs (seedlings) is proposed by us in the diagnosis of salt tolerance of cultivated plants.

The purpose of the research is to study the effect of soil salinity on the content of amino acids (proline) in the leaves of agricultural crops and to develop a method for assessing the salt tolerance of plants.

Research methodology. Ten-day seedlings of cereals, cereals, oilseeds, and legumes that were subjected to stressful effects — salinization — were used as an object of research.

Preliminary, samples of 50–100 seeds each are taken from the seed batch of the test plants. Then the seeds were soaked for half an hour in warm (30 - 35 C) water and germinated in a thermostat for 10 days in germinators on moist multilayer filter paper at a temperature of 25 - 28 C. The control sample was germinated on a bed, moistened with water, and subjects - on a 0.5-molar solution of sodium chloride. After germination in seedlings of control and test samples, the content of free proline was determined by the method of Bates [10]. For this purpose, 0.5 g of plant material was crushed using a homogenizer, and it can be ground in a mortar with quartz sand in 10 ml of a 3% aqueous solution of sulfosalicylic acid. Then, 2 ml of the homogenate filtered through a dense paper filter was mixed with 2 ml of acid ninhydrin and 2 ml of glacial acetic acid. Sour ninhydrin was prepared in advance, one day prior to analysis, by boiling 1.25 ninhydrin in 30 ml of glacial acetic acid and 20 ml of phosphoric acid until complete dissolution. The mixture was kept in test tubes for one hour in a water bath at 100 C. The reaction was limited to cooling in an ice bath, after which 4 ml of toluene (or benzene) was poured into each tube and vigorously stirred for 15-20 seconds until complete bleaching of the mixture -sie. After 15 minutes of settling, the chromophore (the colored upper layer) was evaluated using a photoelectric colorimeter (FEC-56M) for the density of staining. Absorbance was measured on a blue light filter at a wavelength of 520 nm. Toluene or benzene was used as a control.

Research results. The content of free proline in the samples was determined by the standard curve and calculated in mg% on wet weight. The standard curve was constructed on the basis of solutions of the factory preparation of the proline of various concentrations. After that, we calculated the salt tolerance coefficients, on the basis of which three groups of plants were distinguished: highly resistant to salt stress (salt tolerance coefficients 3.0 and above); medium resistant (2.0 - 2.9); weakly resistant (1.9 and below).

The table shows the results of a comparative assessment of the salt tolerance of field plants of various systematic groups.

Culture	Traditional method	New method		Solestability coefficient
	Seed germination in saline	Content of proline, mg%		
		control	experience	
Sunflower	83	14	78	5,6
Barley	80	13	54	5,3
Sugar beet	76	10	46	4,6
Triticale	84	10	40	4,0
Mustard	71	13	51	3,9
Rye	66	11	31	3,7
Pic	63	15	41	2,7
Oats	62	15	38	2,5
Corn	59	14	32	2,3
Millet	54	13	24	2,0
Peas	46	16	29	1,8
Winter wheat	50	15	26	1,7
Beans Фасоль	43	15	26	1,7
Beans Бобы	40	14	21	1,5
Linen	47	13	20	1,5
Sorghum	45	14	20	1,4
Lupine	38	16	22	1,4
Buckwheat	42	15	20	1,4
Soy	36	13	16	1,2

The analysis shows that the content of free proline in the seedlings of the test cultures and the salt tolerance factors calculated on its basis allow us to differentiate test plants in more detail by the level of resistance to salinity. As a result of the assessment, three groups of plants were identified: highly resistant to salt stress (podsoniechnik, barley, sugar beet, triticale, mustard, rye); medium resistant (rice, oats, corn, millet); weakly resistant (peas, winter wheat, beans, beans, flax, sorghum, lupine, buckwheat, soybean)

When assessing the salt tolerance of a breeding material, it is recommended to use differentiator varieties with a known degree of salt tolerance, which will allow the breeder to carry out culling of weakly resistant lines.

Bibliography

1. Valkov, V.F. Soil salinization / V.F. Valkov, K.Sh.Kazeev, S.I. Kolesnikov // Rostov-on-Don.: Phoenix. 2014. - 165s.
2. Britikov, E.A. The biological role of proline in plants / Ye.A. Brit-kov // M.: Science. 1975. - 88c.
3. Diagnosis of plant resistance to stress, / ed. GV Udovenko // L. 1988. - 228s.

4. Kuznetsov, E.A. Proline under stress: biological role, metabolism and regulation / E.A.A. Kuznetsov, N.I. Shevyakov // Plant Physiology. 1999. v.4. Issue 2. C.305-320.

5. Methodika diagnostics of plant resistance / ed. G.V. Udovenko. - L., 1970. - 74 s.

6. Methodical instructions when using vegetative methods when studying the salt tolerance of annual agricultural plants. - L., 1977. - 20.

7. Rubin, B.A. Plant physiology. - 4th ed., Pere-rab. and add. - M.: Higher School, 1976. - 576 p.

8. Savitskaya N.N. On the biological role of proline in plants // Reports of the Higher School. - 1976. - № 2. - P.49 - 61.

9. Physiology of agricultural plants / ed. B.A. Rubin. - M., 1967. - 411 s.

10. Bates L.S. Woldren R.P. Teare G.D. Rapid determination of proline for water-stress studies // Plant and soil. 1973. T.39. No 1. P. 105 -107.

11. Shobert B.F. Schesche H. Unusal solution of proline proteins and its in-teraction with proteins // Biochem. et biophys. acta. 1978. T. 541. No 2. P.1341 - 1344

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Айтенова Г.М.

PhD студент

Актюбинский региональный государственный университет имени К.Жубанова

Абдикаликова Г.А.

кандидат физико-математических наук, доцент

доцент кафедры математики

Актюбинский региональный государственный университет имени К.Жубанова

Сартабанов Ж.А.

доктор физико-математических наук, профессор

профессор кафедры математики

Актюбинский региональный государственный университет имени К.Жубанова

СУЩЕСТВОВАНИЕ МНОГОПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Aitenova G.M.

PhD student

K.Zhubanov Aktobe Regional State University

Abdikalikova G.A.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,

Associate Professor of Department Mathematics K.Zhubanov Aktobe Regional State University

Sartabanov Zh.A.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

Professor of the Department Mathematics K.Zhubanov Aktobe Regional State University

EXISTENCE OF THE MULTIPERIODICAL SOLUTION OF ONE SYSTEM THE INTEGRAL-DIFFERENTIAL EQUATIONS

Аннотация: Исследуется система интегро-дифференциальных уравнений типа Вольтерра с оператором дифференцирования по направлениям векторного поля. Построен матрицант удовлетворяющий матричному уравнению и получены некоторые её свойства и оценки, связанные с многопериодичностью по временным переменным. Установлены достаточные условия существования и единственности многопериодического по всем независимым переменным решения системы интегро-дифференциальных уравнений.

Abstract: Researched the system of Volterra type integro-differential equations with the differentiation operator by directions of the vector field. Constructed the matrixant satisfies the matrix equation and obtained some of its properties and estimates that are related to multiperiodical in time variables. Established sufficient conditions the existence and uniqueness of the multiperiodical in all independent variables of the solution system integro-differential equations

Ключевые слова: матрицант, многопериодичность, резольвента, ядро, Коши, Грин.

Keywords: matrixant, multiperiodical, resolvent, kernel, Cauchy, Green.

Постановка проблемы. Рассмотрим интегро-дифференциальное уравнение

$$D_c u(\tau, t) = A(\tau, t)u(\tau, t) + \int_{\tau}^{\tau+\theta} K(\tau, t, s, \sigma)u(s, \sigma)ds + f(\tau, t). \quad (1)$$

Здесь $D_c = \frac{\partial}{\partial \tau} + \left\langle c, \frac{\partial}{\partial t} \right\rangle$, $u(\tau, t)$ - искомая вектор-функция переменных $(\tau, t) \in R \times R^m$, c - постоянный m -вектор, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ -знак скалярного произведения, $\sigma = \sigma_0 + c\tau = t - c\tau + c\tau$ - характеристика оператора D_c , $A(\tau, t)$ и $K(\tau, t, s, \sigma)$ - $n \times n$ -матрицы, $f(\tau, t)$ - n -вектор-функция.

Предположим выполненными условия (θ, ω) -периодичности, непрерывности по $\tau \in R$ и непрерывной дифференцируемости по $t \in R^m$

$$A(\tau + \theta, t + q\omega) = A(\tau, t) \in C_{\tau, t}^{(0, e)}(R \times R^m), \quad q \in Z^m, \quad (2)$$

$$K(\tau + \theta, t + q\omega, s, \sigma) = K(\tau, t, s, \sigma) \in C_{\tau, t, s, \sigma}^{(0, e, 0, e)}(R \times R^m \times R \times R^m), \quad q \in Z^m, \quad (3)$$

$$f(\tau + \theta, t + q\omega) = f(\tau, t) \in C_{\tau, t}^{(0, e)}(R \times R^m), \quad q \in Z^m, \quad (4)$$

где $e = (1, \dots, 1)$ - m -вектор, показатель степени гладкости по $t = (t_1, \dots, t_m)$, Z^m - множество целочисленных векторов $q = (q_1, \dots, q_m)$, $q\omega = (q_1\omega_1, \dots, q_m\omega_m)$ - кратный период с кратностью q периода $\omega = (\omega_1, \dots, \omega_m)$, периоды $\omega_0 = \theta$, $\omega_1, \dots, \omega_m$ - рационально несоизмеримые положительные постоянные.

Построение конструктивных методов исследования задач, создание новых подходов решения таких задач для некоторых классов интегро-дифференциальных уравнений с частными производными актуальны как для расширения класса разрешимых задач, так и для применения математических методов.

Анализ исследований и публикаций. Интегро-дифференциальные уравнения возникают во многих разделах прикладной математики. Как известно, исследованием теории интегро-дифференциальных уравнений занимались многие авторы. Проблемам теории периодических и почти периодических колебаний, условиям существования ограниченных, почти периодических и периодических решений посвящены работы многих авторов, отметим [1-3]. В [4] рассмотрены распространение результатов М.Урабе на системы интегро-дифференциальных уравнений, исследованы представления решения интегро-дифференциальных уравнений через резольвенту ядра [5], указана роль этих уравнений при описании процессов с последствиями [6], применение их в математической биологии [7]. Исследования почти периодических решений систем уравнений с квазипериодическими правыми частями [8], почти периодических решений интегро-дифференциальных уравнений типа переноса [9-10], существование и построение многопериодических и псевдопериодических решений систем интегро-дифференциальных уравнений, содержащих пространственную переменную рассмотрены в [11].

Постановка задачи. Цель настоящей работы – установить достаточные условия существования и единственности многопериодического решения системы интегро-дифференциального уравнения (1).

Изложение основного материала. По известной методике [9] построения матрицанта уравнения $D_c w = A(\tau, t)w$ определим матрицу $W(\tau_0, \tau, t)$ на основе интегрального матричного уравнения

$$W(\tau_0, \tau, t) = E + \int_{\tau_0}^{\tau} A(s, t - c(\tau - s))W(\tau_0, s, t - c(\tau - s))ds \quad (5)$$

с единичной n -матрицей E .

На основе (2) матрицант $W(s, \tau, t)$ обладает свойством:

$$W(s + \theta, \tau + \theta, t + q\omega) = W(s, \tau, t) \in C_{s, \tau, t}^{(0, 0, e)}(R \times R \times R^m), \quad q \in Z^m.$$

Решение интегрального уравнения (5) ищем в виде ряда

$$W(\tau_0, \tau, t) = \sum_{m=0}^{\infty} W_m(\tau_0, \tau, t), \quad (6)$$

члены которого находим из рекуррентных соотношений:

$$\begin{aligned} W_0(\tau_0, \tau, t) &= E, \\ W_1(\tau_0, \tau, t) &= \int_{\tau_0}^{\tau} A(s, t - c(\tau - s))W_0(\tau_0, s, t - c(\tau - s))ds = \int_{\tau_0}^{\tau} A(s, t - c(\tau - s))ds \cdot \dots, \\ W_m(\tau_0, \tau, t) &= \int_{\tau_0}^{\tau} A(s, t - c(\tau - s))W_{m-1}(\tau_0, s, t - c(\tau - s))ds, \quad m = 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Непосредственно можно убедиться в абсолютной и равномерной сходимости ряда (6).

Используя замену

$$u(\tau, t) = W(\tau_0, \tau, t)v(\tau, t) \quad (7)$$

из уравнения соответствующего неоднородному интегро-дифференциальному уравнению (1) имеем

$$D_c v(\tau, t) = \int_{\tau}^{\tau+\theta} Q(\tau_0, \tau, t, s, t - c(\tau - s))v(s, t - c(\tau - s))ds \quad (8)$$

с ядром $Q(\tau_0, \tau, t, s, \sigma) = W^{-1}(\tau_0, \tau, t)K(\tau, t, s, \sigma)W(\tau_0, s, \sigma)$.

Заметим, что на основании условия (3) ядро обладает свойством диагональной многопериодичности:

$$Q(\tau_0 + \theta, \tau + \theta, t + q\omega, s + \theta, t + q\omega - c(\tau + \theta) + c(s + \theta)) = Q(\tau_0, \tau, t, s, t - c(\tau - s)), \quad q \in Z^m.$$

Матрицант $V(\tau_0, \tau, t)$ уравнения (8) определим интегральным матричным уравнением

$$V(\tau_0, \tau, t) = E + \int_{\tau_0}^{\tau} \int_{\eta}^{\eta+\theta} Q(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s)) V(\tau_0, s, t - c(\tau - s)) ds d\eta. \quad (9)$$

Решение уравнения (9) ищем так:

$$V(\tau_0, \tau, t) = \sum_{m=0}^{\infty} V_m(\tau_0, \tau, t) \quad (10)$$

с начальным приближением $V_0(\tau_0, \tau_0, t) = E$ и $V_m(\tau_0, \tau, t)$ находим из соотношения

$$V_m(\tau_0, \tau, t) = \int_{\tau_0}^{\tau} \int_{\eta}^{\eta+\theta} Q(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s)) V_{m-1}(\tau_0, s, t - c(\tau - s)) ds d\eta, m = 1, 2, \dots \quad (11)$$

Отметим, что ядро интегро-дифференциального уравнения определяется через рекуррентные соотношения.

Установлены справедливость оценок:

$$\begin{aligned} \|Q_1(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s))\| &\leq Q_0, Q_0 = \text{const}, \dots, \\ \|Q_m(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s))\| &\leq Q_0^m \frac{\theta^{m-1}(\tau - \eta)^{m-1}}{(m-1)!} \end{aligned} \quad (12)$$

Отметим, что все итерированные ядра $Q_m(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s))$ обладают свойством (θ, ω) -периодичности:

$$Q_m(\tau_0 + \theta, \eta, t + q\omega - c((\tau + \theta) - \eta), s, t + q\omega - c((\tau + \theta) - s)) = Q_m(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s)).$$

Можно показать, что ряд $\sum_{m=1}^{\infty} Q_m(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s))$ сходится абсолютно и равномерно к непрерывной функции $R(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s))$, называемое резольвентой, которая при $\eta = \tau$ обращается в ядро $Q(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s))$ и удовлетворяет интегральному уравнению

$$\begin{aligned} R(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s)) &= Q(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s)) + \\ &+ \int_{\tau_0}^{\tau} \int_{\eta}^{\eta+\theta} Q(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s)) R(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s)) ds d\eta \end{aligned} \quad (13)$$

Отметим, некоторые свойства резольвенты:

- 1) $R(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s))$ удовлетворяет интегро-дифференциальному уравнению (8).
- 2) Резольвента $R(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s))$ является многопериодической функцией:

$$\begin{aligned} R(\tau_0 + \theta, \eta, t + q\omega - c((\tau + \theta) - \eta), s, t + q\omega - c((\tau + \theta) - s)) &= \\ &= R(\tau_0, \eta, t - c(\tau - \eta), s, t - c(\tau - s)), q \in Z^m. \end{aligned}$$

С учетом (7) имеем $U(\tau_0, \tau, t) = W(\tau_0, \tau, t)V(\tau_0, \tau, t)$.

Предположим, что матрицант уравнения

$$DU(\tau_0, \tau, t) = A(\tau, t)U(\tau_0, \tau, t) + \int_{\tau}^{\tau+\theta} K(\tau, t, s, t - c(\tau - s))U(\tau_0, s, t - c(\tau - s)) ds \quad (14)$$

с условием $U(\tau_0, \tau_0, t) = E$ разлагается на сумму

$$U(\tau_0, \tau, t) = U_+(\tau_0, \tau, t) + U_-(\tau_0, \tau, t) \quad (15)$$

матричных решений $U_+(\tau_0, \tau, t)$ и $U_-(\tau_0, \tau, t)$ рассматриваемого уравнения, удовлетворяющие оценкам

$$|U_+(\tau_0, \tau, t)| \leq \delta_+ e^{-\gamma(\tau - \tau_0)}, \quad \tau_0 \leq \tau, \quad (16a)$$

$$|U_-(\tau_0, \tau, t)| \geq \delta_- e^{\gamma(\tau - \tau_0)}, \quad \tau_0 \leq \tau, \quad (16b)$$

где $\delta = \max\{\sup|U_+(\tau_0, \tau, t)|, \sup|U_-(\tau_0, \tau, t)|\}$, $\gamma \geq \tilde{\delta}k$, $\tilde{k} = \sup|K(s, t - c(\tau - s))|$.

Учитывая (14)-(16) можно построить матрицу типа Грина в виде

$$G(\tau_0, \tau, t) = \begin{cases} U_+(\tau_0, \tau, t), & \tau_0 \leq \tau, \\ -U_-(\tau_0, \tau, t), & \tau_0 > \tau. \end{cases} \quad (16c)$$

Отметим, что $U_+(\tau_0, \tau, t)$ и $U_-(\tau_0, \tau, t)$ кроме свойств непрерывности и непрерывной дифференцируемости, обладают свойством многопериодичности

$$\begin{aligned} U_+(\tau_0 + \theta, \tau + \theta, t + q\omega) &= U_+(\tau_0, \tau, t) \in C_{\tau_0, \tau, t}^{(0,0,e)}(R \times R \times R^m), \\ U_-(\tau_0 + \theta, \tau + \theta, t + q\omega) &= U_-(\tau_0, \tau, t) \in C_{\tau_0, \tau, t}^{(0,0,e)}(R \times R \times R^m). \end{aligned}$$

Задача. Найти функцию $u(\tau, t)$ удовлетворяющую интегро-дифференциальному уравнению (1) и начальному условию

$$u(\tau_0, t) = \varphi(t) \in C_t^e(R^m) \quad (17)$$

Решение задачи Коши (1), (17) ищем в виде

$$u(\tau, t) = u_-(\tau, t) + u_+(\tau, t), \quad (18)$$

где

$$u_-(\tau, t) = U_-(\tau_0, \tau, t)\varphi(t - c(\tau - \tau_0)) + \int_{\tau_0}^{\tau} U_-(s, \tau, t - c(\tau - s))f(s, t - c(\tau - s))ds \quad (18a)$$

$$u_+(\tau, t) = U_+(\tau_0, \tau, t)\varphi(t - c(\tau - \tau_0)) + \int_{\tau_0}^{\tau} U_+(s, \tau, t - c(\tau - s))f(s, t - c(\tau - s))ds \quad (18b)$$

Рассмотрим два случая i) $\tau \geq \tau_0$ и ii) $\tau < \tau_0$.

I. В случае i) $\tau \geq \tau_0$ функцию $\varphi(t)$ постараемся определить из соотношения

$$u_-(\tau, t) = U_-(\tau_0, \tau, t)\varphi(t - c(\tau - \tau_0)) + \int_{\tau_0}^{\tau} U_-(s, \tau, t - c(\tau - s))f(s, t - c(\tau - s))ds.$$

II. В случае ii) $\tau < \tau_0$ начальную функцию определим из уравнения

$$u_+(\tau, t) = U_+(\tau_0, \tau, t)\varphi(t - c(\tau - \tau_0)) + \int_{\tau_0}^{\tau} U_+(s, \tau, t - c(\tau - s))f(s, t - c(\tau - s))ds$$

на основе необходимого и достаточного условия многопериодичности Умбетжанова-Сартабанова

$$u(\tau_0 + \theta, t) = u(\tau_0, t) \in C_{\tau_0, t}^{(0,e)}(R \times R^m) \quad (19)$$

методом последовательных приближений, ищем среди решений (18) многопериодическое решение системы (1).

Учитывая (16с), найденные в $(-\infty, \tau_0)$ и $(\tau_0, +\infty)$ решения имеем:

$$u^*(\tau, t) = \int_{-\infty}^{\tau} G(\tau_0, s, t - c(\tau - s)) f(s, t - c(\tau - s)) ds \quad (20)$$

Полученный результат сформулируем в виде теоремы.

Теорема. Если выполнены условия (2)-(4) и $\gamma \geq \delta \tilde{k}$, то система интегро-дифференциальных уравнений в частных производных с оператором дифференцирования (1) имеет единственное многопериодическое решение (20), удовлетворяющее условию $\|u^*(\tau, t)\| \leq \frac{\delta}{\gamma} f_0$.

Выводы и перспективы. Для системы интегро-дифференциальных уравнений в частных производных с оператором дифференцирования по направлениям векторного поля, не содержащих пространственных переменных построен матрицант удовлетворяющий матричному уравнению.

Найдены представимость многопериодического решения рассматриваемой интегро-дифференциальной системы через резольвенту ядра, получены рекуррентные соотношения и оценки. Установлены достаточные условия существования и единственности многопериодического по всем независимым переменным решения системы интегро-дифференциальных уравнений. Заметим, что доказанная теорема остается справедливой, когда матричная функция Грина линейной системы обладает свойством экспоненциальной дихотомичностью.

Список литературы:

1. Быков Я.В. О некоторых задачах теории интегро-дифференциальных уравнений. -Фрунзе: Киргиз. гос. ун-т., 1957. - 328 с.
2. Massera I.L. Linear differential equations and functional analysis /I.L.Massera, I.I.Schaffer //I. Annals of math. -1958. -67, -№3. -Pp.517-573.
3. Langenhop C.E. Note on Almost Periodic solutions of Nonlinear Differential Equations /C.E.Langenhop //Jour. Math. Phys., -1959. -38. Pp. 126-129.
4. Самойленко А.М. Метод Бубнова-Галеркина построения периодических решений интегро-дифференциальных уравнений типа Вольтера /А.М.Самойленко, О.Д.Нуржанов //Дифференц. уравнения. - 1979. -15, -№8. -С.1503-1517.
5. Барбашин Е.А. Введение в теорию устойчивости. М.: Наука, 1967. -224 с.
6. Иманалиев М.И. Нелинейные интегро-дифференциальные уравнения с частными производными. -Бишкек: Илим, 1992. -112 с.
7. Нахушев А.М. Уравнения математической биологии. -М.: Высшая школа, 1995. -301 с.
8. Харасахал В.Х. Почти периодические решения обыкновенных дифференциальных уравнений. -Алма-Ата: Наука, 1970. -200 с.
9. Умбетжанов Д.У. Почти периодические решения эволюционных уравнений. -Алма-Ата: Наука, 1990. -184 с.
10. Умбетжанов Д.У. О существовании почти многопериодического решения одной системы интегро-дифференциальных уравнений в частных производных //Д.У.Умбетжанов, А.Б.Бержанов //Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат. -1983. -№5. -С.11-15.
11. Сартабанов Ж.А. Псевдопериодические решения одной системы интегро-дифференциальных уравнений /Ж.А. Сартабанов //Укр.математ. журнал. -1989. -41, -№1. -С.125-130.

Baranov I.V.

Ph.D in Physic and Mathematic, Associate Professor,
Don State Technical University.

Guseva I.A.

Ph.D in Physic and Mathematic, Associate Professor,
Don State Technical University.

ON THE ISSUE OF A ONE PHENOMENON OF COLLECTIVE MEMORY.

Баранов Игорь Витальевич

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики,
Донской Государственный Технический Университет.

Гусева Ирина Анатольевна

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики,
Донской Государственный Технический Университет.

К ВОПРОСУ ОБ ОДНОМ ФЕНОМЕНЕ КОЛЛЕКТИВНОЙ ПАМЯТИ.

Summary: An attempt was made to statistical analysis of one interesting effect associated with the collective memory of large groups of people.

Аннотация: Предпринята попытка статистического анализа одного интересного эффекта, связанного с коллективной памятью больших групп людей.

Key words: Statistical analysis, collective memory, polls, Mandella effect.

Ключевые слова: Статистический анализ, коллективная память, опросы, Манделлы эффект.

Введение.

Некоторое время назад в интернете появилось обсуждение одного интересного эффекта, связанного с коллективными ложными воспоминаниями больших групп людей. Поясним суть простым примером. Спросите себя, кто автор поэтических строк: “Сижу за решеткой в темнице сырой, вкормленный в неволе орел молодой ...” ? Лермонтов, скажете вы, и ... ошибётесь. И, вместе с Вами, ошибётся большинство людей, которым Вы зададите этот вопрос. Эффект выражается в том, что огромное количество людей *одинаковым образом* помнят некоторые события не такими, как сейчас их описывает современная история. Упоминания об этом феномене впервые появились в 2013 году, когда официально было сообщено о смерти Нельсона Манделы, первого президента ЮАР. Однако тысячи человек стали писать в интернете, что прекрасно помнят, как Нельсон Мандела скончался в тюрьме в 80-х годах 20 века, и никогда не был президентом. Психологи были не готовы к такому массовому помешательству, когда огромное количество людей одновременно заявляет одно и то же, без какой-либо очевидной причины или выгоды. Далее, обнаружили *сотни* эпизодов совпадения у множества людей воспоминаний (по-видимому, сформировавшихся независимо), противоречащих общепринятой истории (а также нынешнему положению дел, когда речь идёт не просто о фактах прошлого), причём воспоминания эти касаются не труднопроверяемых событий из личной или семейной (частной) истории, а тех, которые считаются общеизвестными: исторических, географических, астрономических, зоологических, анатомических, событий в литературе и искусстве, речевых, архитектурных, художественных и др. Это явление было названо “эффектом Манделлы”.

Оставим за рамками статьи *объяснение причин* данного эффекта психологам. В Интернете на этот счет можно найти версии на любой вкус – от конспирологических до фантастических. Ажиотаж был подогрет официальным видеороликом сообщества LHC (Большой Адронный Коллайдер) CERN “We are happy at CERN”, в котором имеется эпизод, где некий ученый демонстрирует таблички “BOND#1” и “MANDELA” (Возможно, это троллинг).

Однако, на просторах Интернета и в литературе не удалось найти сколь-нибудь детального *количественного анализа* этого явления. Все обсуждения носят характер эмоциональной констатации некоего факта, противоречащего воспоминаниям о нём. В работе предпринята попытка провести количественный анализ, и понять, существует ли эффект на самом деле.

Анализ феномена.

Начнем с нескольких предварительных замечаний. Предположим, что имеется два *независимых*

опроса (вопроса), на каждый из которых большая группа испытуемых может дать два варианта ответа – Вариант 1 “нет” или Вариант 2 “да”. Подсчитаем долю ответов “нет” в каждом вопросе (опросе). Обозначим её через $X_i = n_i / n$, где i – номер вопроса, n_i – число ответов “нет” в i -вопросе, n – число участников i -вопроса. Очевидно, что случайные величины X_i могут принять любое значение из отрезка $[0;1]$.

Насколько велика вероятность того, что X_1 примет значение близкое к X_2 , если полагать что вопросы между собой не согласованы?

Иными словами на отрезке $[0;1]$ случайно выбирают две точки X_1 и X_2 . Какова вероятность того, что расстояние между ними не превзойдёт заданного числа ε ? Вычислим вероятность такого события $P\{|x_1 - x_2| \leq \varepsilon\}$, где $0 \leq \varepsilon \leq 1$ не-большое число. Мы находимся в условиях классической “задачи о встрече двух лиц”, и простое вычисление даёт искомую вероятность

$$P\{|x_1 - x_2| \leq \varepsilon\} = 2\varepsilon - \varepsilon^2 \quad (1)$$

Пусть теперь число участников встречи равно 3. Тогда нас интересует вероятность следующего события

$S_3(\varepsilon) = \{|x_1 - x_2| \leq \varepsilon \cap |x_1 - x_3| \leq \varepsilon \cap |x_2 - x_3| \leq \varepsilon\}$. Поскольку простые события, входящие в это составное событие предполагаются независимыми, то

$$P\{S_3(\varepsilon)\} = (2\varepsilon - \varepsilon^2)^3 \quad (2)$$

Для k участников встречи таких неравенств будет C_k^2 , поэтому получим, что

$$P\{S_k(\varepsilon)\} = (2\varepsilon - \varepsilon^2)^{C_k^2} \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что вероятность $P\{S_k(\varepsilon)\}$ в зависимости от k убывает быстрее, чем показательная функция. Например, для

$\varepsilon = 0,07$ и $k = 2$ (два участника встречи),

вероятность $P\{S_2(0,07)\} = 0,1351$,

$\varepsilon = 0,07$ и $k = 19$ (19 участников), вероятность

$$P\{S_{19}(0,07)\} = 0,1351^{171} < 0,3 \cdot 10^{-148}.$$

Обратимся теперь к анализу данных реальных опросов. Достаточно большой объем данных можно найти на сайте [1].

Сведем их в таблицу 1 (колонки 1—4).

Таблица 1.

Данные по эффекту коллективной памяти от 26 сентября 2018 года с сайта [1] (колонки 1 - 4) и результаты обработки (колонки 5 - 7).

1	2	3	4	5	6	7
Номер вопроса	Число опрошенных, выбравших Вариант 1 (неверный, случается только в воспоминаниях)	Число опрошенных, выбравших Вариант 2 (официальный, подтвержденный)	Общее число респондентов	Значение величины X	X-MX	(X-MX)*100%
Русский сегмент	абсолютные значения			X_i	отклонение	
1	39753	13696	53449	0,744	-0,0221	-2,21%
2	37948	10068	48016	0,79	0,0244	2,44%
3	39474	12893	52367	0,754	-0,0121	-1,21%
4	32695	8515	41210	0,793	0,0275	2,75%
5	43755	4270	48025	0,911	0,1452	14,52%
6	37405	5986	43391	0,862	0,0962	9,62%
7	38275	7069	45344	0,844	0,0782	7,82%
8	38075	8043	46118	0,826	0,0597	5,97%
9	34683	7217	41900	0,828	0,0619	6,19%
10	23449	10583	34032	0,689	-0,0769	-7,69%
11	29510	12380	41890	0,704	-0,0614	-6,14%
12	34103	9418	43521	0,784	0,0177	1,77%
13	26553	9046	35599	0,746	-0,0200	-2,00%
14	19749	6166	25915	0,762	-0,0038	-0,38%
15	26445	10582	37027	0,714	-0,0517	-5,17%
16	25328	8678	34006	0,745	-0,0211	-2,11%
17	27316	10127	37443	0,73	-0,0364	-3,64%
18	24017	12556	36573	0,657	-0,1092	-10,92%
19	8859	4367	13226	0,67	-0,0961	-9,61%
англ. сегмент						
20	3020	364	3384	0,892	0,0462	4,62%
21	1706	129	1835	0,93	0,0835	8,35%
22	1942	346	2288	0,849	0,0025	0,25%
23	2126	209	2335	0,91	0,0643	6,43%
24	727	216	943	0,771	-0,0753	-7,53%
25	1686	406	2092	0,806	-0,0403	-4,03%
26	1294	428	1722	0,751	-0,0948	-9,48%
27	1427	232	1659	0,86	0,0139	1,39%

Вопросы, которые были предложены респондентам, можно посмотреть в таблице 2. Они условно разбиты на две группы: вопросы 1-19 (русский сегмент) – вопросы касаются в основном русской повседневности (то, что называется, на виду и на слуху). Вопросы 20—27 (англоязычный сегмент) – это вопросы касающиеся англо-субкультуры. Кроме того, доступные для анализа данные сильно отличаются по объему выборок: для русского сегмента типичный объем ~ 40000 респондентов, для английского ~ 1800. Некоторые вопросы в таблице

2 чуть сокращены или изменены без потери смысла. Оригинал можно посмотреть на сайте [1]. Отметим, что: 1) регистрация на сайте не требуется, т.е. отвечать на вопросы может любой. 2) нет необходимости отвечать на каждый вопрос. Если участник не уверен в ответе, он может просто пропустить вопрос. Учитывая эти условия и наличие компьютера и интернета у большого числа жителей страны, есть все основания предполагать репрезентативность данных выборок.

Вопросы, предлагавшиеся респондентам.

Номер	Вопрос	Вариант 1 (неверный)	Вариант 2 (правиль- ный)
1	Как звучит самый известный коммунистический лозунг? Объединяйтесь или Соединяйтесь? Пролетарии всех стран ...	Объединяйтесь	Соединяйтесь
2	Н.С. Хрущёв стучал ботинком в зале ООН было или нет?	было	не было такого
3	Столица Израиля Иерусалим или ТельАвив?	ТельАвив	Иерусалим
4	Сколько человек ехало в лимузине президента Дж Кеннеди 4 или 6?	4	6
5	Как звучит фраза похитителей в фильме «Кавказская пленница» 00:47:25 «В моем доме (вставить) не выражаться»	попрошу	--
6	Жеглов (Высоцкий) произносит в адрес Шарапова "Ну и ... у тебя Шарапов"	рожа	видок
7	В советском мультфильме «Как левёнок и черепаха пели песню» Как левёнок просил черепаху покатасть его?	Покатай меня, больша-а-а-а-я черепаха!	Покатай меня, а?
8	В советском мультфильме «Жил-был пёс» фраза волка	Ну ты, это, заходи, если чё.	Ты заходи, если чё.
9	Скульптура «Мыслитель» Родена выглядела так... ?	Кулаком упирается в лоб	Подбородком — на раскрытую ладонь
10	Фраза из книги Исайи глава 11, стих 6. Как вы её помните?	Лев возляжет рядом с ягнёнком. И не будет никакого зла на земле, и будет тысячелетний мир.	Волк возляжет рядом с ягнёнком. И не будет никакого зла на земле, и будет тысячелетний мир.
11	Стихотворение «Узник». «Сиж за решёткой в темнице сырой, вскормлённый в неволе орел молодой». Автор?	Лермонтов	Пушкин
12	«Евгений Онегин». Культовая фраза. «Чем меньше женщину мы любим, тем (вставить) нравимся мы ей».	Больше	Легче
13	Один день ... (вставить) ... Ивана Денисовича.	из жизни	--
14	Для молодёжи и тех, кто когда-то играл в World of Warcraft, очень популярную игру. Для вас будет знакома фраза: «Immolate Improved!!!». Есть одно смешное видео с сотнями тысяч просмотров про одного игрока World of Warcraft, который пытается доказать свою точку зрения в лесу (парке) на сходке игроков. Он говорит: «Immolate Improved. Это означает, что (вставьте) его резиста крайне мала». Слово?	вероятность	возможность
15	Логотип немецкой автомобильной компании Volkswagen. Двойная V в круге. Вы помните его как с разрывом по середине? Или без разрыва?	без разрыва  Das Emissions.	С разрывом по середине  Das Emissions.
16	Логотип автомобильной компании Форд. Вы помните букву F в Ford с завитком или ровную?	Ровная линия в F 	Завиток в F 

17	Шоколадная паста Нутелла (Nutella)? Существовала только одноцветная (тёмный шоколад), либо была двухцветная (тёмный и светлый шоколад, закрученные по спирали)	Была двухцветная.	Не было двухцветной.
18	Человеческий череп и глазница. Есть ли в глазницах за глазом кость?	За глазом нет кости.	За глазом есть кость.
19	Количество Штатов в Америке. Все учили географию, в советских школах. Поэтому, скажите, какую цифру вы навскидку помните? Либо цифра была лёгкой, либо — нет. Какую вы помните?	51 или 52 штуки, что-то некруглое.	Истинно 50 !
20	Выясняется, что «Madonna», это не творческий псевдоним певицы, которую звали Maria Louise Ciccone. А взяла она для того, чтобы конфликтовать с Церковью. Снимая клипы с горящими крестами. Теперь, оказывается, она с самого детства была Madonna Louise Ciccone. Вы знали, что это её настоящее имя было — Madonna? Мадонна - это её имя или псевдоним?	Псевдоним.	Настоящее имя.
21	Культовая фраза из фильма Forrest Gump: «Life IS like a box of chocolates», СТАЛА «Life WAS like a box of chocolates». Теперь она полностью потеряла свой смысл. Изначально она говорила, что «жизнь КАК коробка конфет» (преподносит сюрпризы), в новой версии «жизнь БЫЛА как коробка конфет» (закончилась) хотя главный герой не умер. Вы помните как данную фразу?	Life IS like a box of chocolates.	Life WAS like a box of chocolates.
22	Культовая фраза Дарта Вейдера, когда он раскрывается Люку, своему сыну, из фильма «Звёздные войны. Эпизод 4: Империя наносит ответный удар» -- «Люк, я твой отец» изменилась на «Нет. Я твой отец». Дарт Вейдер - Люку.	Люк, я твой отец.	Нет, я твой отец.
23	В фильмах «Звёздные Войны» был робот С-ЗРО, типа большого золотого робота, которые вечно лазил вместе с андроидом R2D2, похожим на ведро. Вот эти 2 робота. Узнали? Теперь, выясняется, что у желтого робота — С-ЗРО одна нога всегда была серебряной. Вы помните её серебряной? Либо это эффект Манделы, и обе ноги всегда были жёлтыми?	Нет. Обе ноги - Жёлтые.	Одна нога - Жёлтая, Вторая нога - серебряная
24	Культовая сцена с актёром Томом Крузом из фильма «Рискованный бизнес». Где он выезжает из-за стены в носках, белой рубашке, и с подсвечником, поворачивается, снимает очки и начинает петь. На протяжении всего фильма он носит очки «Ray Ban Original Wayfarer». Стандартный метод, когда производитель очков рекламирует свой товар, а главный герой	Были.	Не были, и белой рубашки не было!

	фильма получает харизматическую черту. Все выигрывают. Очки стали популярными, и на всех постерах Том Круз изображался вместе с ними. Замена в том, что очки пропали из сцены, цвет рубашки стал розовый. Он разворачивается и очков на нём нет. Хотя тысячи пародий, и костюмов у обычных людей говорят об обратном. Были очки на Томе Крузе?		
25	Сериал «Sex IN the City» (Секс в большом Городе — офиц. перевод, проверьте сейчас же) превратился в «Sex AND the City» (Секс и Город). Причём в других языках, до сих пор пишется «Секс в большом городе». Как правильно?	Секс в большом городе.	Секс и город.
26	Всемирно известный персонаж мультфильмов. Герой, который был создан Уолтом Диснеем — Микки Маус. Мышонок с большими ушами, жёлтых тапочках, красных штанах, белых перчатках. Вспомнили? В чём замена уже здесь? Как всегда в мелочах. У него были красные подтяжки, да? Подтяжки, которые крепились к этим двум белым пуговицам спереди и двум белым пуговицам сзади. Причём даже в самой первой версии мышонка, чёрно-белой, была пуговицы спереди и сзади, а подтяжки были белого цвета. Теперь со всех рисунков и мультфильмов подтяжки исчезли. Вот первый мультфильм. Подтяжки у Микки?	Были.	Не были.
27	Следующая замена — современный флаг Великобритании. Ну, серьёзно, как можно поменять угловые линии на такие косые и отбитые от центра? Художник флага окосел? 3 примера. Старый флаг — верхний рисунок; как его помнят миллионы, остался только на комод и случайных уцелевших фото. Новая «пьяная и официальная» версия — в середине. Британский флаг.	Симметричные линии.	Скошенные к краю.

Колонки 5 – 7 таблицы 1 содержат результаты обработки данных опросов. В колонке 5 таблицы 1 представлены значения величин x_i ($i = 1, \dots, 27$) доли неправильных ответов в вопросе с номером i . Если теперь рассмотреть ещё одну случайную величину X непрерывную и принимающую значения в промежутке $[0;1]$, и считать, что из неё имеется выборка значений x_i , то можно вычислить точечные оценки $\bar{X}$. В колонке 6 представлено отклонение $x_i - \bar{MX}$, в колонке 7 – величина $(x_i - \bar{MX}) * 100\%$. Обработка данных опроса по вопросам 1—19 даёт среднее

$\bar{MX} = 0,765892$ и стандартное исправленное отклонение $\sigma_{\bar{MX}} = 0,0674241$. Соответственно, по вопросам 20—27: $\bar{MX} = 0,8462$ и $\sigma_{\bar{MX}} = 0,065145461$.

Обсуждение результатов.

Видно хорошее согласие $\bar{MX}$ по вопросам 1—19 и вопросам 20—27. Небольшое расхождение может объясняться меньшим объемом выборок по вопросам 20—27. Стандартное (исправленное) отклонение $\sigma_{\bar{MX}}$ весьма мало, и составляет всего 6,5—7%. Диапазон принимаемых X значений равен $(X_{\max} - X_{\min}) / (1 - 0) * 100\% = (0,911 - 0,657) * 100 = 25,4\%$, т.е. порядка $3,5 - 4\sigma$. Изучение распределения величины X показывает, что это распределение напоминает нормальное, причём все

наблюдаемые значения укладываются в более узкий (2σ –интервал от 0,62 до 0,93), чем для нормального распределения (3σ –интервал). Для нормального распределения с такими же параметрами интервал 3σ составляет примерно 41% (интервал от 0,56 до 0,97).

На рис. 1 приведены гистограммы для величины X (наклонная заливка), и для теоретической величины, которая распределена по нормальному

закону с математическим ожиданием 0,765892 и стандартным отклонением 0,0674241 (горизонтальная заливка). По горизонтали отложен номер интервала, по вертикали абсолютная частота. Величины частичных интервалов равны $0,5\sigma$. Для построения гистограммы взято 10 интервалов. Данные, по которым построена гистограмма приведены в таблице 3. Математическое ожидание принадлежит интервалу №5.

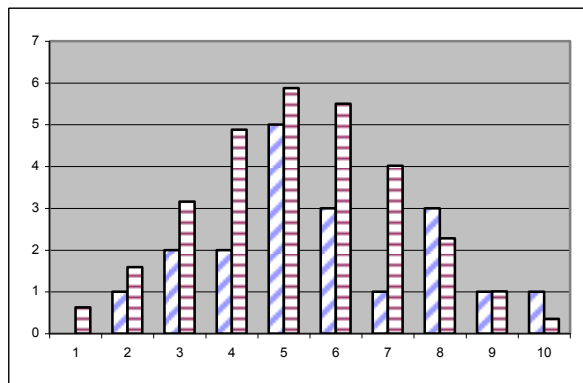


Рис. 1. Гистограммы для величины X (наклонная заливка), и для теоретической величины, которая распределена по нормальному закону.

Таблица 3.

Таблица абсолютных частот величины X .

Номер интервала	Границы интервалов	Наблюдаемая абсолютная частота величины X	Теоретическая частота для нормального распределения
1	0,6229746	0	0,6258134
2	0,6566866	1	1,5938237
3	0,6903987	2	3,1612737
4	0,7241107	2	4,8832649
5	0,7578228	5	5,8746887
6	0,7915348	3	5,5040935
7	0,8252468	1	4,0161796
8	0,8589589	3	2,282269
9	0,8926709	1	1,0100594
10	0,926383	1	0,3481396

Удивительным является

1)Одинаковость ложных воспоминаний больших (~40000) групп людей о некотором факте прошлого.

2)Поразительно близкие значения величин X_i (средние) опросов, кажущихся независимыми. (Очень малое значение исправленного стандартного отклонения $\sigma \sim 7\%$). Вероятность такого случайного совпадения по 19 независимым вопросам (если рассматривать только русский сегмент) оценивается не более чем $0,3 \cdot 10^{-148}$, согласно (3).

3)Ложные воспоминания доминируют у большей, а не у меньшей части опрошенных, а не наоборот, как следовало бы ожидать, если исходить из того, что с течением времени память воспроизводит воспоминания хуже.

4)Близкое значение средних значений случайной величины X и стандартных отклонений для выборок по русскому и англоязычному сегментам.

Неясно, почему значение $MX \approx 0,77$, а не какому-то иному значению.

Анализ данных не оставляет иной возможности, как сделать заключение о наличии некоторого скрытого фактора, который согласует результаты опросов (в отсутствие такого фактора вероятность чисто случайного совпадения по 19 вопросам меньше чем 10^{-147} , что практически невозможно). Однако, изучение природы данного фактора выходит за рамки этой статьи.

Список используемых источников информации:

1. <http://www.meltingreality.com/effekt-mandeli-primeri-objasnenija/>

МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГТД НА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Kofman V.M.

PARAMETRIC IDENTIFICATION METHOD OF THE GAS TURBINE ENGINE MATHEMATICAL MODELS ON THE DETERMINED WORK MODES

Аннотация. Проведен анализ существующих методов параметрической идентификации математических моделей газотурбинных двигателей на установившихся режимах работы. Предложен новый метод идентификации. Метод разработан на основе синтеза традиционного метода и одного из формализованных методов (метода наименьших квадратов) и при сохранении достоинств этих методов устраняет присущие им ограничения. В предлагаемом методе учтены корреляционные связи между неизвестными, что позволяет существенно уменьшить количество неизвестных в задаче идентификации и повысить физический смысл получаемого решения. Метод апробирован при проведении численных экспериментов и при идентификации математической модели выполненного ГТД по результатам его стендовых испытаний. ГТД; математическая модель; идентификация.

There has been carried out the analysis of the existing parametric identification mathematical models methods of the gas turbine engine on the determined work modes. There has been offered a new identification method. The method has been developed on the basis of the synthesis of the traditional method and one of the formalized methods (the least square method) and on condition of preserving the advantages of these methods it eliminates the limitations they possess. In the least square method there have been considered the correlations between the unknowns what allows to reduce substantially the number of the unknowns in the identification task and to increase the physical meaning of the task received. The method has been tested while carrying out numerical experiments and identifying the mathematical model of the designed gas turbine engine according to the results of the bench test. Gas turbine engine; mathematical model; identification.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных инструментов, применяемых на всех этапах проектирования, доводки и серийного производства газотурбинного двигателя (ГТД), является его математическая модель (ММ) на установившихся режимах. ММ ГТД позволяет проводить расчеты высотно-скоростных характеристик ГТД, формировать исходные данные для газодинамических расчетов и проектирования узлов ГТД, проектирования системы автоматического управления ГТД, проведения расчетов температурного состояния деталей и расчетов на прочность, планирования различных видов испытаний, диагностики состояния ГТД в процессе эксплуатации. Эффективность применения ММ ГТД зависит от ее точности. Процесс повышения точности ММ ГТД на установившихся режимах за счет структурной идентификации ММ (введения в структуру ММ дополнительных уравнений, учитывающих физические особенности рабочего процесса ГТД более высокого порядка) близок к своему завершению. Поэтому на первый план выходит задача повышения точности ММ ГТД за счет параметрической идентификации (ПИ) – задача уточнения по результатам испытаний ГТД характеристик его узлов. В данной работе описан метод идентификации, разработанный на основе традиционного метода увязки и одного из формализованных методов идентификации (метода наименьших квадратов). Разработанный метод при сохранении достоинств существующих методов идентификации устраняет присущие им ограничения.

1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГТД НА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Одной из первых работ по ПИ ММ ГТД является метод так называемой традиционной увязки ММ ГТД с результатами его испытаний (Б. Н. Амелин,

О. Н. Фаворский, ЦИАМ, 1955 г.). Идентификация ММ в традиционном методе увязки осуществляется путем решения двух термогазодинамических задач – прямой и обратной. При решении обратной задачи по результатам эксперимента определяются характеристики узлов ГТД. При решении прямой задачи до и после идентификации производится оценка адекватности ММ ГТД реальному двигателю путем сравнения величин расчетных параметров ГТД с величинами экспериментально измеренных параметров. Сущность идентификации ММ ГТД при методе традиционной увязки состоит в решении обратной термогазодинамической задачи (решении для каждой, полученной при испытаниях ГТД экспериментальной точки, системы определяющих (нелинейных алгебраических) уравнений, описывающих физические процессы, происходящие в ГТД).

Количество неизвестных в системе определяющих уравнений в обратной задаче зависит от сложности схемы ГТД и от степени препарирования проточной части ГТД при проведении его испытаний. Система определяющих уравнений в общем виде имеет вид

$$\Psi_{lz}(N_{kz\hat{y}\hat{e}\hat{n}}, N_{mz\hat{\delta}\hat{a}\hat{n}\hat{\div}}, x_n, F_d, b_c) = 0, \quad (1)$$

где l – номер определяющего уравнения, $l = (1, 2, \dots, L)$,

Z – номера экспериментальных точек, в которых, на различных режимах работы ГТД произведено измерение его выходных и режимных параметров, $z = (1, 2, \dots, Z)$,

$N_{k\hat{y}\hat{e}\hat{n}}$ – экспериментально измеренные при испытаниях ГТД параметры, входящие в систему определяющих уравнений, $k = (1, 2, \dots, K)$,

$N_{m\hat{\delta}\hat{a}\hat{n}\hat{\div}}$ – параметры, не измеряемые при испытаниях ГТД, входящие в систему определяющих уравнений и рассчитываемые при их решении, $m = (1, 2, \dots, M)$,

x_n – неизвестные коэффициенты (параметры) характеристик узлов ГТД, (КПД узлов, коэффициентов восстановления полного давления в узлах и т.п.), $n = (1, 2, \dots, N)$.

В систему уравнений (1) также входит ряд известных постоянных величин – площадей характерных сечений в проточной части ГТД – F_d и некоторых геометрических размеров элементов узлов ГТД – b_c . Количество измеряемых параметров ГТД при проведении его испытаний ограничено по причине сложности размещения датчиков в проточной части ГТД, сложности обеспечения их работоспособности в условиях высоких температур,

а также из-за влияния датчиков на коэффициенты полезного действия узлов и на параметры ГТД. Из-за ограничений по количеству измеряемых при испытаниях ГТД параметров система уравнений (1) является незамкнутой, так как $L < (M + N)$.

Для замыкания системы уравнений (1) необходимо на основе опыта инженера, проводящего идентификацию, и на основе результатов, полученных при испытаниях отдельных узлов ГТД, априорно задаться величиной ряда неизвестных коэффициентов (параметров) характеристик узлов y_{j0} , где $j = (1, 2, \dots, J)$. Тогда система уравнений (1) принимает вид

$$\Psi_{lz}(N_{kz\hat{y}\hat{e}\hat{n}}, N_{mz\hat{\delta}\hat{a}\hat{n}\hat{\div}}, x_i, y_{j0}, F_d, b_c) = 0, \quad (2)$$

где x_i – коэффициенты (параметры) характеристик узлов, (неизвестные оставшиеся после введения в систему определяющих уравнений априорно заданных величин y_{j0}), $i = (1, 2, \dots, I)$,

при этом $L = M + N - J$, $L = I + M$, $N = I + J$.

При решении задачи идентификации с помощью традиционного метода учитывается корреляция между неизвестными, т.е. при определении с помощью системы (2) по заданной экспериментальной информации неизвестных параметров характеристик узлов x_i между y_{j0} и x_i всегда выдерживаются определенные количественные соотношения, задаваемые системой определяющих уравнений (2). Это является достоинством традиционного метода увязки. При использовании традиционного метода увязки характеристики узлов x_i могут определяться как нелинейные функции одной, двух или трех переменных (безразмерных параметров или критериев подобия). Недостатком метода является невысокая эффективность при поиске таких величин коэффициентов y_j , которые обеспечивают сходимость расчетных и измеренных при испытаниях параметров ГТД при всех, существенно отличающихся, эксплуатационных условиях и режимах, имеющих место при испытаниях. Поиск коэффициентов характеристик узлов y_j в традиционном методе увязки сводится к перебору их величин без какого-либо формального условия и зависит от степени достоверности начальных приближений y_{j0} и опыта инженера, проводящего идентификацию.

В последнее время в практике параметрической идентификации ММ ГТД получили распространение так называемые формализованные методы: метод наименьших квадратов (МНК) [1], метод нелинейного программирования [2], метод нелинейной оптимизации [3], метод уравнивания [4, 5] а также ряд других методов, например [6, 7]. При проведении ПИ ММ ГТД формализованными методами применяются прямая термогазодинамическая задача и задача оптимизации. С помощью прямой задачи определяются величины расчетных параметров на режимах и в условиях, соответствующих тем, при которых проводился эксперимент, а также рассчитываются относительные коэффициенты влияния $\delta N_{kz} / \delta x_n$ параметров характеристик узлов x_n на величины расчетных параметров ГТД. Полученные в прямой задаче коэффициенты влияния и расчетные параметры ГТД $N_{kz\hat{\delta}\hat{a}\hat{n}\hat{\div}}$ на режимах и в условиях испытаний, а также измеренные при испытаниях параметры $N_{kz\hat{y}\hat{e}\hat{n}}$ передаются в задачу оптимизации, с помощью которой находятся поправки δx_n к неизвестным x_n , исходя из обеспечения минимума некоторой выбранной функции цели, как правило, минимума суммы квадратов невязок между экспериментально измеренными и расчетными параметрами ГТД. Поиск решения при идентификации в [1, 2] производится

одновременно для всех экспериментальных точек. В [3, 4, 5, 6] поиск решения производится сначала для каждой отдельной экспериментальной точки с последующим заключительным, например, многомерным регрессионным анализом, при котором уточняются характеристики узлов по результатам идентификации для каждой экспериментальной точки [4, 5], либо с помощью какого-либо другого вида анализа [6], при котором рассматриваются несколько вариантов решения (вариантов математической модели ГТД) и выбирается один из них. Например, в методе наименьших квадратов [1] функция цели имеет вид

$$F = \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \left(\delta N_{kz} - \sqrt{P_k} \sum_{n=1}^N (\delta N_{kz} / \delta x_n) \delta x_n \right)^2 = \min \quad (3)$$

где δx_n – искомые относительные поправки к исходным величинам коэффициентов x_{n0} , P_k – веса измерений параметров.

При проведении идентификации с помощью методов [1, 2, 3, 6, 7] на область изменения искомым неизвестных x_n накладываются двухсторонние ограничения ($x_{n \min} \leq x_n \leq x_{n \max}$). Это обусловлено выходом получаемых при решении величин x_n за границы их реальных физических значений из-за необходимости обеспечения условия, задаваемого функцией цели, или из-за возможной неустойчивости решения (например, из-за некорректности задачи [8] при решении системы линейных алгебраических уравнений).

Достоинством формализованных методов [1, 2] является их достаточно высокая эффективность с позиций обеспечения сходимости между расчетными и экспериментально измеренными при испытаниях параметрами ГТД в различных условиях и на различных режимах. Методы [3–6] являются менее эффективными, так как после проведения идентификации в каждой из экспериментальных точек необходимо проводить многомерный регрессионный анализ для получения сведений о характере изменения параметров характеристик узлов. Характеристики узлов ГТД являются в общем случае функциями или двух переменных (камера сгорания, реактивное сопло), или трех переменных (компрессор, турбина), а сами величины переменных (критериев подобия или безразмерных параметров), определяющих режим работы узла, в каждой экспериментальной точке различны. Поэтому для получения обобщенных характеристик узлов на основе результатов идентификации в отдельных экспериментальных точках требуются не только известные методы математической статистики, но и разработка специальных методик обработки и анализа.

Основным ограничением всех формализованных методов ПИ ММ ГТД

[1–6] является принятие в них допущения о независимости между собой неизвестных (поправок δx_n к коэффициентам x_n), что приводит (при заданных величинах N_{kz}) к нарушению в получаемом решении количественных соотношений между уточняемыми коэффициентами x_n , задаваемых системой определяющих уравнений, описывающих физические процессы, происходящие в ГТД. При допущении о независимости неизвестных существенно возрастает возможность получения при решении таких сочетаний величин x_n , при которых формально обеспечивается хорошая сходимость расчетных параметров ГТД с экспериментальными данными, но которые физически не реализуемы.

Ограничением формализованных методов является также принимаемое в большинстве случаев [1–3] допущение о постоянстве во всем эксплуатационном диапазоне работы двигателя величин искомым параметров x_n . Это делается с целью сокращения количества неизвестных. Так как параметры характеристик узлов x_n являются в большинстве случаев нелинейными функциями двух и трех переменных, то принятие последнего допущения требует упрощения ММ ГТД и приводит к снижению качества идентификации.

2. МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГТД. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, УРАВНЕНИЯ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Учитывая достоинства и ограничения существующих методов ПИ ММ ГТД, была поставлена задача разработать метод ПИ ММ ГТД, который, являясь развитием традиционного метода увязки и формализованного метода идентификации [1], позволял бы по результатам эксперимента более физически обоснованно определять параметры (коэффициенты) характеристик узлов ГТД при обеспечении хорошей адекватности уточняемой ММ ГТД реальному объекту.

Логические предпосылки построения такого метода параметрической идентификации ММ ГТД вытекают из следующих рассуждений.

Пусть при испытаниях ГТД измерено K его выходных параметров в Z экспериментальных точках на различных режимах работы. Имеется соответствующая типу ГТД и его схеме система определяющих (нелинейных алгебраических) уравнений, описывающих физические процессы, происходящие в ГТД. Построим на основе системы определяющих уравнений две задачи.

1. Обратная задача. В этой задаче по величинам измеренных при испытаниях ГТД выходных параметров $N_{kz \text{ экс}}$ и по заданным априорно (на основе опыта инженера и имеющихся предварительных данных по результатам испытаний отдельных узлов) величинам некоторых коэффициентов

(параметров) характеристик узлов y_{j0} , определяются выходные параметры двигателя, не измеряемые при испытаниях ($N_{mz} \delta \dot{a} \ddot{n} \div$) и параметры характеристик узлов X_i в каждой экспериментальной точке. При этом система определяющих уравнений после задания величин y_{j0} является замкнутой:

$$L = M + N - J, L = I + M.$$

Система уравнений обратной задачи имеет вид (2).

2) Прямая задача, в которой (по определенным в обратной задаче характеристикам узлов X_i и заданным априорно коэффициентам y_{j0}) определяются выходные параметры ГТД $N_{sz \text{ расч}}$, где $N_{s \text{ расч}}$ – выходные параметры ГТД, рассчитываемые при решении прямой задачи, $S = (1, \dots, S)$.

Система уравнений имеет вид

$$\Psi_{lz}(N_{sz \delta \dot{a} \ddot{n} \div}, X_i, y_{j0}, F_d, b_c) = 0, \quad (4)$$

где $S = K + M, L = S$.

Обратная задача представляет собой аналог обратной задачи традиционного метода увязки, прямая – аналог ММ ГТД для расчета его высотно-скоростных и дроссельных характеристик в традиционном и формализованных методах идентификации.

Выполним решение обратной задачи для каждой из экспериментальных точек и определим параметры характеристик узлов X_{iz} с одновременной систематизацией параметров характеристик узлов X_{iz} по соответствующим критериям подобия, определяющим режим работы узла, и последующей статистической обработкой, отбраковкой грубых ошибок и аппроксимацией характеристик узлов X_i как функций нескольких переменных.

Подставим характеристики узлов X_i в прямую задачу и решим ее в каждой экспериментальной точке при $y_{j0} = \text{idem}$. Сравнивая получен-

ные при помощи прямой задачи величины расчетных выходных параметров $N_{kz \delta \dot{a} \ddot{n} \div}$ с соответствующими параметрами, измеренными при испытаниях $N_{kz \dot{y} \hat{e} \ddot{n}}$, обнаруживаем между ними невязки. Эти невязки обусловлены неточным (априорным) заданием величин y_{j0} , и, как следствие, неточным определением при решении обратной задачи характеристик узлов X_i . Невязки также обусловлены погрешностью измерений параметров ГТД при испытаниях и погрешностью при решении системы определяющих уравнений в прямой задаче. Погрешность решения системы определяющих уравнений в прямой задаче, как правило, мала, не превышает 0,1% и ей можно пренебречь. На этом этапе, из-за отсутствия какого-либо формального условия выбора новых значений y_j , обеспечивающих во всех экспериментальных точках минимальное значение невязок, идентификация с помощью традиционного метода увязки заканчивается. Сформулируем это дополнительное условие.

Расчетные величины параметров $N_{kz \delta \dot{a} \ddot{n} \div}$ полученные при решении прямой задачи, являются функциями независимых переменных y_{j0} и X_i , где $X_i = f(y_{j0})$, то есть

$$N_{kz \delta \dot{a} \ddot{n} \div} = f_1(y_{j0}, X_i = f_2(y_{j0})). \quad (5)$$

Поэтому наличие невязок (при заданной погрешности измерения параметров) обусловлено, во-первых, неточным априорным заданием величин y_{j0} , прямо влияющих на результат решения прямой задачи, во-вторых, неточным определением в обратной задаче характеристик узлов X_i из-за неточного априорного задания величин y_{j0} (косвенное влияние y_{j0} на результат решения прямой задачи). Учитывая это обстоятельство, на основе определения полного дифференциала сложной функции можно получить согласно [9] следующую систему равнозначных ($k \cdot z$) условных линейных алгебраических уравнений

$$\delta N_{kz} = \sqrt{P_k} \sum_{j=1}^J \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_j} \right) \delta y_j + \sqrt{P_k} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta X_i} \right) \left(\frac{\delta X_{iz}}{\delta y_j} \right) \delta y_j \quad (6)$$

где $\delta y_j = \frac{y_j - y_{j0}}{y_{j0}}$ – относительная поправка к исходным величинам y_{j0} ,
 $\delta N_{kz} = \left(\frac{N_{kzy\hat{e}\hat{n}} - N_{kz\delta\hat{a}\hat{n}\hat{z}}}{N_{kzy\hat{e}\hat{n}}} \right) \sqrt{P_k}$ – относительные взвешенные невязки между измеренными и

расчетными параметрами,

$\left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \right), \left(\frac{\delta x_{iz}}{\delta y_j} \right), \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_j} \right)$ – относительные коэффициенты влияния, определяемые числен-

ным способом путем решения прямой и обратной задач в каждой экспериментальной точке. Приведение условных уравнений к равноточным достигается путем введения в них весов измерений P_k [9].

Система уравнений (6) является переопределенной (число уравнений больше числа неизвестных δy_j) и несовместной из-за наличия погрешностей измерений. Принцип решения такой системы предложен Лежандром [9], и состоит он в следующем. Если дана система равноточных условных уравнений и если измерения независимы, ошибки измерений подчиняются нормальному закону распределения, ошибка расчета мала по сравнению с ошибками измерений, то наиболее вероятные значения неизвестных определяются из условия минимума суммы квадратов невязок.

Для системы (6) это условие соответствует минимуму функции цели

$$F = \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \left(\delta N_{kz} - \sqrt{P_k} \sum_{j=1}^J (\delta N_{kz} / \delta y_j) \delta y_j - \sqrt{P_k} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\delta N_{kz} / \delta x_i) (\delta x_{iz} / \delta y_j) \delta y_j \right)^2. \quad (7)$$

Необходимым условием минимума функции (7) является

$$\frac{\partial F}{\partial (\delta y_j)} = 0 \quad (8)$$

После дифференцирования функции (7), получения уравнений вида (8) и их преобразования, получаем систему J нормальных уравнений, которая в матричной форме имеет вид

$$BX = A, \quad (9)$$

где

$$\tilde{A}^0 = \left\| \begin{matrix} \delta y_1 & \delta y_2 & \delta y_3 & \dots & \delta y_J \end{matrix} \right\|$$

$$\tilde{A}^0 = \left\| \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \delta N_{kz} \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_1} \right) \quad \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \delta N_{kz} \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_2} \right) \dots \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \delta N_{kz} \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_J} \right) \right\|$$

B – матрица, симметричная относительно главной диагонали,

$$B = \left\| \begin{matrix} b_{11} & & & \\ b_{21} & b_{22} & & \\ \dots & \dots & \dots & \\ b_{J1} & b_{J2} & b_{J3} & \dots & b_{JJ} \end{matrix} \right\|$$

$$b_{11} = \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z P_k \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_1} + \sum_{i=1}^I \frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \frac{\delta x_{iz}}{\delta y_1} \right)^2$$

$$b_{21} = \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z P_k \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_2} + \sum_{i=1}^I \frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \frac{\delta x_{iz}}{\delta y_2} \right) \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_1} + \sum_{i=1}^I \frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \frac{\delta x_{iz}}{\delta y_1} \right)$$

$$b_{j1} = \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z P_k \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_j} + \sum_{i=1}^I \frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \frac{\delta x_{iz}}{\delta y_j} \right) \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_1} + \sum_{i=1}^I \frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \frac{\delta x_{iz}}{\delta y_1} \right)$$

$$b_{j2} = \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z P_k \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_j} + \sum_{i=1}^I \frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \frac{\delta x_{iz}}{\delta y_j} \right) \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_2} + \sum_{i=1}^I \frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \frac{\delta x_{iz}}{\delta y_2} \right)$$

$$b_{JJ} = \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z P_k \left(\frac{\delta N_{kz}}{\delta y_J} + \sum_{i=1}^I \frac{\delta N_{kz}}{\delta x_i} \frac{\delta x_{iz}}{\delta y_J} \right)^2$$

Полученная система нормальных уравнений (9) позволяет после ее преобразования к виду

$$X = B^{-1}A$$

определить наиболее вероятные поправки δy_j к априорно задаваемым коэффициентам y_{j0} , и далее, их наиболее вероятные значения

$$y_j = y_{j0} + \delta y_j \cdot y_{j0}.$$

Подстановка уточненных значений y_j в обратную задачу дает возможность определить соответствующие минимуму функции (7), математические ожидания характеристик узлов X_i в нелинейной постановке.

Таким образом, предлагаемый метод идентификации [10 – 14] состоит из трех задач – обратной и прямой термогазодинамических задач и задачи оптимизации (обратной задачи решения операторного уравнения $BX = A$, члены которого B и A найдены из условия (7)). Следует отметить, что обратная задача (задача оптимизации) относится к классу обратных некорректно (плохо) поставленных задач [8, 15], решение которых может не обладать свойствами устойчивости, однозначности и существенно изменяться при малых погрешностях входных данных. Так, в случае плохой обусловленности матрицы B операторного уравнения $BX = A$, когда определитель $\det B$ близок к

нулю, решение может быть неустойчивым. Устойчивое решение некорректно поставленной задачи может быть получено за счет перехода к условно-корректной постановке задачи [15]. Такой переход осуществляется путем сужения множества допустимых решений (назначением компактного множества решений, удовлетворяющего условиям корректности), например, за счет сокращения тех искоемых неизвестных y_j , которые имеют большие коэффициенты взаимной корреляции [1]. Получение устойчивого решения также возможно за счет применения прямых методов естественной регуляризации обратной задачи путем изменения параметров вычислительного алгоритма (шагов по аргументам, количества итераций) [15]. Способ обеспечения корректной постановки обратной задачи выбирается в каждом конкретном случае индивидуально в зависимости от физической стороны решаемой задачи. Схема разработанного метода параметрической идентификации приведена на рис. 1.

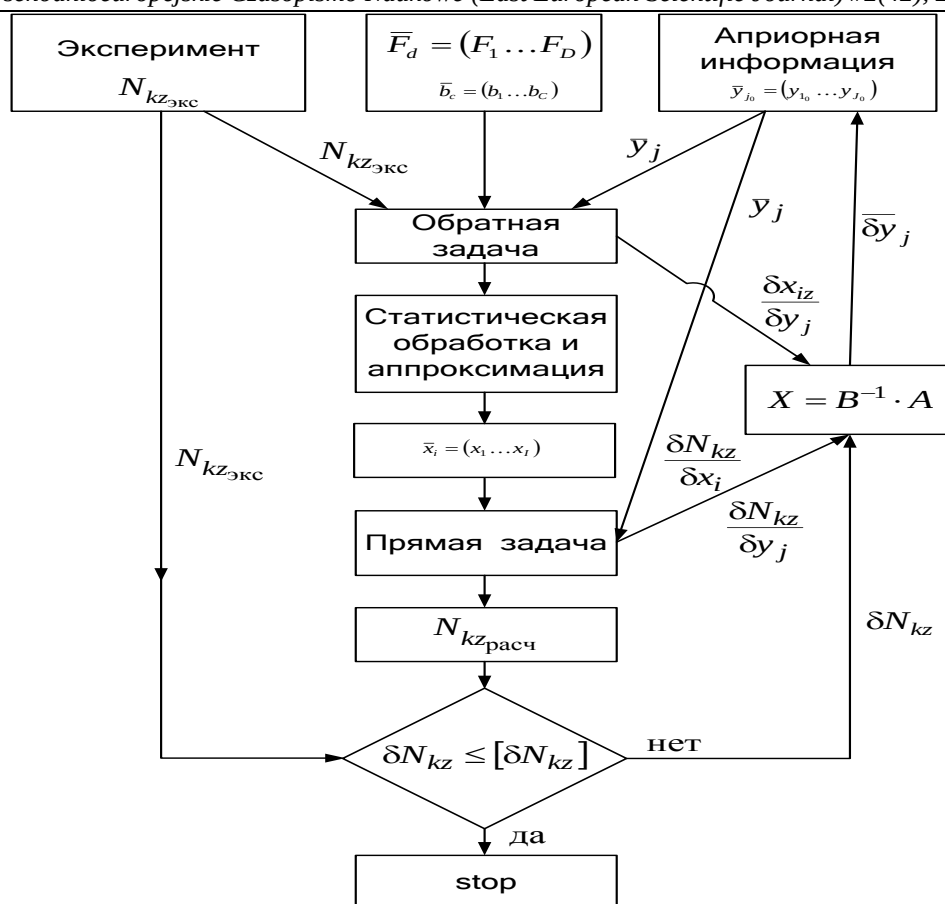


Рис. 1. Схема метода параметрической идентификации ММ ГТД

3. АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ

Разработанный метод был апробирован при идентификации ММ выполненного одновального ГТД по результатам его испытаний на наземном и высотном стендах в широком диапазоне эксплуатационных условий. Применительно к этому ГТД были разработаны методики и соответствующие программы решения прямой и обратной термогазодинамических задач. Также была разработана методика и программа «ОПТИМА 1» решения системы нормальных уравнений вида (9) (задача оптимизации), не зависящая от типа и схемы ГТД. Программы составлены на языке программирования Compaq Visual Fortran Version 6.6.

В процессе испытаний ГТД измерялись 6 его выходных параметров:

$\bar{N}_k = (P, G_{\dot{o}}, p_{\hat{e}}^*, p_{\dot{o}}^*, G_{\hat{a}}, T_{\hat{e}}^*)$ и 4 режимных параметра ($p_{\hat{a}}^*, T_{\hat{a}}^*, n, p_H$). Средства измерений и погрешности измерения параметров соответствовали требованиям действующих нормативных документов [16]. При проведении идентификации принималось, что веса измерения не зависят от режима работы ГТД. Веса измерений рассчитывались согласно [1] по формуле

$$P_k = \sigma_0^2 / \sigma_k^2$$

где σ_k – средняя квадратичная погрешность измерения k -го выходного параметра,

σ_0 – средняя квадратичная погрешность одного из параметров, являющаяся наибольшей по сравнению с погрешностями измерений других выходных параметров,

Величины σ_k определялись по результатам стендовых испытаний ГТД на основе многократно повторяющихся измерений. Величины весов измерений P_k составили 1,0...2,6.

С помощью режимных параметров определялись критерии подобия, определяющие режим работы ГТД и режим работы компрессора. С учетом вхождения выходных и режимных параметров в систему определяющих уравнений (количество которых составляет для данного ГТД $L=37$), количество неизвестных в них (параметров характеристик узлов) равно 13. Так как некоторые из коэффициентов ММ были достоверно известны по результатам предварительных лабораторных испытаний элементов ГТД и их величины в исследуемом диапазоне режимов и эксплуатационных условий сохраняются неизменными (таких коэффициентов выявлено 5), количество неизвестных коэффициентов характеристик узлов (X_n) было уменьшено на их число и составило $N=8$,

$\bar{X}_n = (\eta_{\hat{a}}, \varphi_{\hat{n}}, \mu_{\hat{n}}, \eta_{\hat{e}}^*, \eta_{\dot{o}}^*, \dot{A}_{\hat{a}}, \dot{a}_{\hat{e}\hat{n}}, \eta_{\hat{i}})$. Количество неизвестных параметров ГТД (N_m), в

том числе критериев подобия и безразмерных параметров $\pi_{\hat{e}}^*$ и $\pi_{\hat{o}}^*$ определяющих режимы работы узлов, составило $M=32$. Таким образом, при количестве определяющих уравнений $L=37$, количество в них неизвестных параметров и коэффициентов характеристик узлов составляет $N+M=8+32=40$, т.е. количество неизвестных на 3 единицы больше количества определяющих уравнений. Для замыкания системы уравнений обратной задачи в качестве априорно задаваемых величин коэффициентов ММ y_{j0} из числа X_n выбраны такие, ве-

личины которых при решении определяющих уравнений независимы друг от друга и постоянны в рассматриваемом эксплуатационном диапазоне работы ГТД. К ним относятся приведенный расход газа через критическое сечение соплового аппарата турбины, механический КПД и коэффициент в

уравнении $\sigma_{\hat{e}\hat{n}} = 1 - a_{\hat{e}\hat{n}} \lambda_{\hat{e}}^2$, т.е.

$y_{j0} = (A_{\hat{a}}, a_{\hat{e}\hat{n}}, \eta_{\hat{i}})$, $J=3$. В результате ко-

личество неизвестных X_i , определяемых в обратной задаче, составляет 5,

$X_i = (\eta_{\hat{a}}, \varphi_{\hat{n}}, \mu_{\hat{n}}, \eta_{\hat{e}}^*, \eta_{\hat{o}}^*)$. При этом указанные неизвестные находятся при решении обратной задачи как функции от одной или двух переменных (от соответствующих критериев подобия или безразмерных параметров).

Следует отметить, что при идентификации ММ этого же ГТД одним из формализованных методов, например, с помощью метода наименьших квадратов [1], при прочих равных условиях количество неизвестных (коэффициентов характеристик узлов, определяемых с помощью задачи оптимизации) составило бы 8 вместо 3.

Поиск решения при проведении идентификации осуществлялся путем последовательного математического эксперимента, включающего решение обратной и прямой задач и задачи оптимизации. При проведении идентификации контроль степени обусловленности матрицы B системы нормальных уравнений (9) осуществлялся с помощью числа обусловленности Тюринга (N_T) [1].

Как показано в [1], при $N_T \leq (10^2 \dots 10^3)$ гарантируется сходимость процесса последовательных приближений. Анализ результатов проведенной идентификации ММ выполненного ГТД с помощью предлагаемого метода показал, что при первом варианте решения, когда в качестве уточняемых коэффициентов использовались $y_{j0} = (A_{\hat{a}}, a_{\hat{e}\hat{n}}, \eta_{\hat{i}})$ (число Тюринга при этом было равно 1000), решение в первом приближении было неустойчивым (величины найденных неизвестных y_j выходили за пределы их реальных

величин). Для получения устойчивого решения использовалась шаговая стратегия с движением путем итераций в направлении, полученном в предыдущем приближении [15]. При этом накладывались «жесткие» ограничения на диапазон изменения механического КПД. Процесс последовательных приближений был при этом сходящимся – величина суммы квадратов взвешенных остаточных невязок

$$H = \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z (\delta N_{kz})^2,$$

рассчитываемая после каждой итерации, уменьшалась по экспоненте. Величина H после трех приближений уменьшилась на 34%. Причиной неустойчивости решения при первом варианте выбора неизвестных y_j являлся неправильный выбор

в качестве одного из параметров этого вектора – механического КПД, который имеет близкий к минус единице коэффициент корреляции с КПД турбины и нулевые коэффициенты влияния на коэффициент полноты сгорания в камере сгорания и на коэффициенты расхода и скорости реактивного сопла. Как показал анализ, определитель матрицы B при таком задании исходных данных очень мал ($\det B \approx 1$), что приводит к плохой обусловленности матрицы B и неустойчивости решения. При

втором варианте решения, когда в качестве уточняемых коэффициентов ММ использовались

$y_{j0} = (A_{\hat{a}}, a_{\hat{e}\hat{n}})$, порядок матрицы B умень-

шался на единицу (величина механического КПД принималась постоянной и равной расчетной). В этом случае уже при выполнении первого приближения обеспечивалось устойчивое решение, при котором найденные новые значения величин коэффициентов $A_{\hat{a}}, a_{\hat{e}\hat{n}}$ не выходили за пределы их

возможного диапазона изменения и обеспечивали существенное снижение остаточных невязок между измеренными и расчетными выходными параметрами ГТД. При этом величина определителя $\det B$ увеличилась на два порядка, а число Тю-

ринга N_T составляло 450. При втором варианте

выбора членов вектора $y_{j0} = (A_{\hat{a}}, a_{\hat{e}\hat{n}})$ по-

иск решения осуществлялся при двух различных начальных значениях параметров $A_{\hat{a}}, a_{\hat{e}\hat{n}}$. При

изменении начальных значений y_{j0} результат решения уже при первом приближении попадал в одну и ту же зону величин искомых параметров $A_{\hat{a}}, a_{\hat{e}\hat{n}}$ и остаточных невязок H , полученных в предыдущих вариантах.

Во всех рассмотренных выше вариантах решения свидетельством его нахождения было попадание в зону минимальных невязок и изменение

направления поиска в последнем шаге по сравнению со всеми предыдущими. Это обусловлено попаданием в область так называемых не улучшаемых решений, когда величины остаточных невязок по величинам выходных параметров ГТД становятся близкими к погрешностям измерения этих параметров. Как указывается в [15], стремление получить более точное значение причинной характеристики (в данном случае δy_j и, соответственно,

значение y_j), отвечающей особенностям полученных экспериментальных данных, ведет к неустойчивости решения. Изменение величин остаточных невязок и величин априорно задаваемых коэффициентов $\bar{y}_{j0} = (A_{\hat{a}}, a_{\hat{e}\hat{n}})$ в процессе последовательных итерационных шагов при проведении идентификации показано на рис. 2.

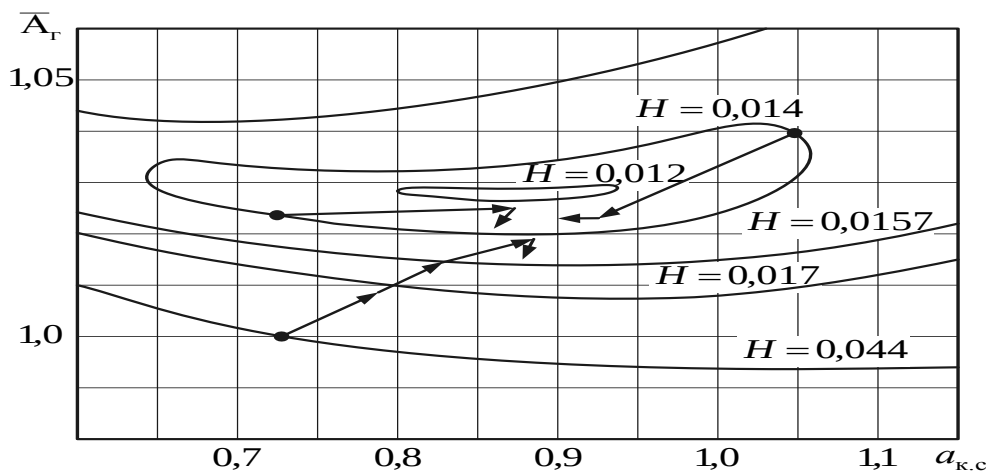


Рис. 2. Результаты поиска решения при идентификации ММ ГТД

После проведения идентификации и поверочного расчета по прямой задаче с помощью уточненной ММ ГТД средние абсолютные величины невязок по таким параметрам как тяга, расход топлива, полное давление за компрессором и полное давление за турбиной в исследуемом эксплуатационном диапазоне работы ГТД уменьшились в 2...3 раза – с 1,6...3,6 % до 0,6...1,2 %). В меньшей степени изменились невязки по таким параметрам как расход воздуха через ГТД и заторможенная температура воздуха за компрессором, средние величины невязок по которым после идентификации составили соответственно 1,5 % и 0,3 %.

Кроме идентификации ММ выполненного ГТД проведены численные эксперименты по оценке влияния величин весов измерений, влияния погрешностей измерения выходных параметров, величин априорно задаваемых коэффициентов y_{j0} на результаты идентификации. Для проведения численных экспериментов измеренные выходные параметры принимались равными их величинам, полученным при расчете прямой задачи с использованием идентифицированной ММ ГТД. В качестве первого приближения расчетных значений выходных параметров принимались их величины, полученные при решении прямой задачи с использованием ММ ГТД, «искаженной» сравнительно с идентифицированной ММ выполненного ГТД. Установлено незначительное влияние на результат идентификации изменения величин весов измерения P_k выходных параметров ГТД и случайных «шумов» (случайных погрешностей), нало-

женных на величины измеренных выходных параметров ГТД. Установлено, что использование обратной термогазодинамической задачи в алгоритме идентификации позволяет уже на первом этапе поиска решения выявлять неправильно выбранные начальные приближения величин априорно задаваемых коэффициентов y_{j0} , противоречащих физическому смыслу, и на этой основе существенно сужать область начальных приближений величин априорно задаваемых коэффициентов. Проведение задачи идентификации ММ ГТД при выборе начальных приближений величин y_{j0} в различных крайних точках откорректированной области их поиска показало устойчивость и однозначность решения.

ВЫВОДЫ

1. Разработан метод параметрической идентификации ММ ГТД на установившихся режимах работы, который, по сравнению с существующими формализованными методами, позволяет (за счет введения в процедуру идентификации обратной термогазодинамической задачи и учета при решении задачи идентификации корреляционных связей между уточняемыми коэффициентами характеристик узлов ГТД) сократить количество неизвестных коэффициентов (параметров характеристик узлов), определяемых при решении задачи оптимизации, уточнять характеристики узлов ГТД в нелинейной постановке как функции нескольких переменных, повысить физическую обоснованность получаемых решений.

2. Метод имеет высокую эффективность с позиций обеспечения после идентификации сходимости между расчетными и экспериментально измеренными параметрами ГТД. Метод базируется на использовании ММ обратной и прямой ТГЗ и задачи оптимизации. Входящая в разработанный метод ПИ задача оптимизации является общей для всех типов и схем ГТД.

Условные обозначения и индексы

P – сила тяги, вес измерения p – давление, T – температура, G – массовый расход, n – частота вращения ротора, η – КПД, φ – коэффициент скорости, μ – коэффициент расхода, A – приведенный расход, σ – коэффициент восстановления полного давления, g – горение, газ, s – сопло, k – компрессор, t – турбина, топливо, ks – камера сгорания, m – механический, eks – экспериментальный, $расч$ – расчетный, $*$ – параметры заторможенного потока.

Список литературы

1. Тунаков, А. П. Методы оптимизации при доводке и проектировании газотурбинных двигателей / А. П. Тунаков. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.
2. Ахмедзянов, А. М. Согласование моделей ТРД с результатами эксперимента при ограниченном его объеме / А. М. Ахмедзянов, Х. С. Гумеров, Е. И. Марковникова, Ю. Д. Дегтярев // Испытания авиационных двигателей : Межвуз. науч. сб. Уфа : 1978. № 6. С. 13-19.
3. Курлыков, В. А. Идентификация математических моделей авиационных ГТД с использованием методов нелинейной оптимизации / В. А. Курлыков, А. М. Ахмедзянов // Испытания авиационных двигателей : Межвуз. науч. сб. Уфа : 1979. № 7. С. 85-89.
4. Боровик, В. О. Анализ результатов испытаний ГТД с использованием математических моделей и методов математической статистики / В. О. Боровик, Е. М. Таран // Испытания авиационных двигателей : Межвуз. науч. сб. Уфа : 1978. № 6. С. 3-12.
5. Литвинов, Ю. А. Характеристики и эксплуатационные свойства авиационных турбореактивных двигателей / Ю. А. Литвинов, В. О. Боровик. М.: Машиностроение, 1979. 288 с.
6. Бочкарев, С. К. Опыт и проблемы компьютеризированного термогазодинамического анализа результатов испытаний газотурбинных двигателей сложных схем / С. К. Бочкарев, А. Я. Дмитриев, В. В. Кулагин и др. // Изв. вузов. Авиационная техника, 1993. № 2. С. 68-70.
7. Хусточка, А. Н. Применение теории нечетких множеств при идентификации математических моделей ГТД / А. Н. Хусточка // Вестник двигателестроения : науч. техн. журн. Запорожье : 2004. № 2. С. 96-99.
8. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. М.: Наука, 1979. 288 с.
9. ЩигOLEV, Б. М. Математическая обработка наблюдений / Б. М. ЩигOLEV. М.: Наука, 1969. 344 с.
10. Кофман, В. М. Методика уточнения характеристик узлов ГТД по результатам испытаний / В. М. Кофман // Измерение, обработка и анализ информации при доводке, серийном производстве и эксплуатации авиационных ГТД: тез. докл. межотрасл. конф. М.: ЦИАМ, 1979. С. 26-29.
11. Kofman, V. M. Method of parametric identification of mathematical models of gas-turbine engines / V. M. Kofman // Inverse Problems: Identification, Design and Control : Transactions of the 5 International conference. M.: 2007. 10 p.
12. Кофман, В. М. Метод параметрической идентификации математических моделей газотурбинных двигателей / В. М. Кофман // Аэрокосмическая техника и высокие технологии–2007. Труды X Всероссийской научно-технической конф. Пермь. 2007. С.147-148.
13. Кофман, В. М. Метод параметрической идентификации математических моделей газотурбинных двигателей / В. М. Кофман // Наука и технологии: тез. докл. XXVIII Российской школы, Миасс.: 2008. С 49-51.
14. Кофман, В. М. Метод параметрической идентификации математических моделей газотурбинных двигателей / В. М. Кофман // Наука и технологии. Труды XXVIII Российской школы. Том 2. М.: РАН 2008. С 72-84.
15. Алифанов, О. М. Идентификация процессов теплообмена летательных аппаратов / О. М. Алифанов. М.: Машиностроение, 1979. 216 с.
16. ОСТ 1 01021-93 Стенды испытательные авиационных газотурбинных двигателей. Общие требования. 18 с.

Chernyayeva T.P.

Grytsyna, V.M.

Krasnorutsky, V.S.

Riedkina A.P.

Petelguzov, I.A.

Slabospitskaya Ye.A.

*'Nuclear Fuel Cycle' Science and Technology Establishment
National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology"
Kharkov, Ukraine*

EFFECTS OF FUEL ROD CLADDING TEMPERATURE AND STRESSED CONDITIONS ON HYDRIDE REORIENTATION

Abstract. This paper presents results of experimental research into hydride reorientation and hydrogen embrittlement, which may occur in the SNF FR cladding at conditions simulating normal and some accident modes of SNF handling. We performed simulation experiments with examination of how SNF overheat to 450 °C and stressed condition during loading into a SNF dry storage facility affect hydride reorientation at different hydrogen concentrations in the dummy claddings. Research was done to study changes in the hydride morphology during hydride reorientation tests at conditions simulating the handling operations of SNF loading into and sealing in storage baskets, and accident temperature increase in the SNF dry storage facility during SNF storage. It was established that at hydrogen concentrations in excess of 170 ppm, hydrogen reorientation in the dummy claddings during thermal tests begins at tensile stresses exceeding 55-60 MPa. For hydrogen concentrations in the claddings above 250 ppm, hydride reorientations begin at lower tensile stresses. In the dummy claddings at $\sigma_{\theta \text{ at } 450^\circ\text{C}} \geq 70$ MPa and hydrogen concentration above 250 ppm, hydrogen reorientation occurs and the hydride reorientation factor increases significantly. Thermal cycling at the stage of SNF holding in the SNF dry storage facility significantly intensifies hydride reorientation. In the claddings at $\sigma_{\theta \text{ at } 450^\circ\text{C}} = 70$ MPa and hydrogen concentration of 400 ppm, thermally cycled three times in the temperature range of 180 °C ↔ 450 °C, almost complete hydride reorientation occurs.

Mechanical tests of samples with various hydrogen concentrations were performed before and after the hydride reorientation tests.

The results obtained and the information search conducted allow a prediction on the risk margin due to SNF cladding degradation related to the phenomena induced by presence of hydrogen accumulated in the Zr-1%Nb alloy FR cladding during operation.

Introduction

The management and long-term storage of spent nuclear fuel is an integral part of the nuclear fuel cycle. The safety of spent nuclear fuel handling operations largely depends on the SNF cladding condition. The SNF dry storage facility commissioned on August 24, 2001 at ZNPP (Zaporozhye NPP) site has considerably raised the demand for research into the phenomena responsible for the FR cladding degradation during SNF handling and long-term storage.

For many years Zirconium-base alloys have been used for the cladding of the fuel rods and structural components of fuel assemblies in water cooled power reactors, like pressurized water reactors (PWRs, VVER), boiling water reactors (BWRs, RBMK) and pressurized heavy reactors (HPWRs) [1]. Upon completion of their operation, fuel rods remain internally pressurized [2, 3] and retain a number of degrading factors, such as hydrogen, accumulated during operation [4].

Degradation phenomena induced by presence of hydrogen in zirconium include:

- hydrogen embrittlement (HE), which is a significant decrease in ductility caused by hydrogen uptake [5, 6];
- delayed hydrogen cracking (DHC), which is gradual crack growth caused by discrete cracking along the hydrides formed at its tip [7, 8, 9];

- hydrogen redistribution and hydride blistering (formation of large hydrides in the local hydrogen accumulation areas) [10].

It is commonly believed that spent nuclear fuel (SNF) handling is mostly jeopardized by hydride reorientation and increased hydrogen embrittlement efficiency caused thereby [11].

Traditionally, the cladding tube manufacturing predetermines their proneness to formation of circumferentially (tangentially) oriented hydrides. The potential for hydride embrittlement of cladding fuel rods may increase drastically if the hydride platelets are reoriented from their normal circumferential to the radial direction of the cladding [12, 13, 14]. Hydride reorientation can occur as a result of heating during the vacuum drying process in which the cladding temperature can reach up to 450 °C, causing the hydrides to partially or completely dissolve. During subsequent cool-down, the hydrogen in solid solution can re-precipitate as radial hydrides if the hoop stress caused by the end-of-life internal pressure of the tangential stress exceeds the threshold stress level for the formation of radial hydrides [15].

By the end-of-life, the fuel rod internal pressure under the cladding, depending on the initial pressure (2.0...3.45 MPa), in the PWR rods at a room temperature is 4...6 MPa [2, 16]. The dependence of the end-

of-line pressure versus burnup (Bu) can be stated as follows [2]:

$$P_{\text{end}} = 2.8781 + 0.0224\text{Bu} \quad (1)$$

where P_{end} are internal fuel rod pressure at end of life; Bu is burnup in MW·D/kgU, 2.8781 – mean initial pressure under the shell (fitting parameter).

According to US NRC requirements, the following criteria shall be met to guarantee fuel rod integrity during SNF handling and long-term storage [16, 17]:

- tangential stress in the fuel rod cladding at 400 °C should not exceed 90 MPa;
- hydrogen concentration in the fuel rod cladding should not exceed 400-500 ppm.

The amount of hydrogen accumulated in Zr-1%Nb alloy during six years of operation (70 MW·D/kgU) is ~50...60 ppm and does not exceed 80 ppm; hydrides up

to 80 microns long predominantly are tangentially oriented [18]. Due to such low hydrogen concentration, no limit was set for hydrogen uptake previously, however at present a design limit of 400 ppm has been implemented to match U.S. and western design criteria [17, 19].

This paper describes the hydrogen reorientation tests simulating the temperature mode and stress condition of Zr-1%Nb dummy claddings with hydrogen concentration up to 400 ppm and different scenarios of SNF handling and storage.

Experimental Procedure

Sample

The cladding used in the present study was non-irradiated Zr-1%Nb cladding tubes in the delivery condition (finish annealing 580 °C, 3 hours); their main parameters are shown in Table 1.

Table 1

Main Parameters of the Cladding Tubes Used

Material	Chemical composition	Condition	Grain size, microns	Texture	Dimensions, mm
Alloy E110	Zr-1 wt.%Nb	Recrystallized	3-5	$f_R=0.586$ $f_T=0.364$ $f_L=0.050$	Outer diameter – 9.13; Wall thickness – 0.68

Treatment for Hydride Re-orientation

Hydride reorientation tests were performed on internally pressurized dummies with Zr-1%Nb cladding

(Fig. 1). The overall dummy length was 112 mm, with the gas-filled cavity length of 66 mm. The gas (helium) pressure under the cladding was from 3 to 5 MPa.



Fig. 1 – Pressurized Dummy for the Hydride Reorientation Test

According to the specification, hydrogen concentration in non-hydrogenated Zr-1%Nb (E110) cladding tubes does not exceed 15 ppm (ppm – part per million); its standard concentration varies within 4-7 ppm [20]. The dummy claddings were saturated with hydrogen using a “dry” hydrogenation method at 380 and 420 °C. Titanium hydride powder was used as the source of gaseous hydrogen. The hydrogen concentration was determined by weighing and using metallographic structure images (transverse cross-section). The hydrogen concentration in the cladding of the hydrogenated dummies ranged from 60 to 400 ppm.

The test temperature mode was based on SNF handling safety criteria.

The currently assumed safety criteria system of the Spent Nuclear Fuel Dry Storage at Zaporozhye NPP (ZNPP) meets the following [21]:

- the fuel rod peak cladding temperature operated in the fuel assemblies for the normal long-term dry storage in the helium environment is 350 °C;
- for extreme weather conditions and during SNF handling the temperature may rise to 450 °C for not more than 8 hours during the entire handling and storage period.

Changes in the cladding temperature of SNF fuel rods with 1 kW decay heat for long-term storage in the ZNPP SNF Dry Storage are shown in Fig. 2. The peak fuel rod clad temperature at the beginning is 349 °C (Fig. 3) and decreases with time. In 5 years this temperature will equal 275 °C, and in 45-50 years it will reduce to 180 °C.

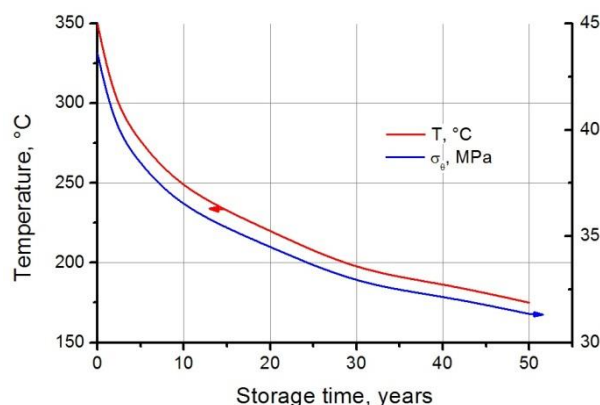


Fig. 2 – Changes in Fuel Rod Clad Temperature during Storage in ZNPP SNF Dry Storage

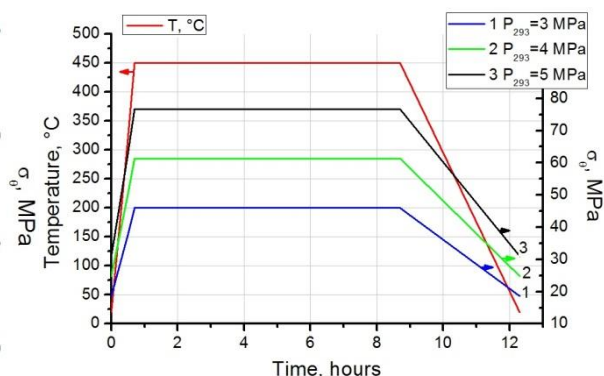


Fig. 3 – Temperature Mode during Tests Simulating Handling (Mode 1) and Tangential Stresses in the Dummy Cladding during Tests ($P_{293} = 3, 4$ and 5 MPa)

The temperature mode during tests simulating handling conditions (Mode 1) is shown in Fig. 3.

The stressed condition of both SNF fuel rod claddings in long-term storage and dummy claddings during tests is described by the following equations:

$$\sigma_{\theta} = \frac{P_{293} \cdot D_{mid}}{2t} \cdot \frac{T}{T_{293}} \quad (2)$$

where, σ_{θ} is tangential stress in the cladding respectively; P_{293} is pressure under the cladding at room temperature, D_{mid} and t – average cladding diameter and wall thickness respectively, T – cladding temperature (in K).

It should be noted that in these tests the stressed condition of the dummy cladding changes with temperature according to the Charles law, just like on the fuel rod cladding during handling and long-term storage.

Changes in tangential stresses in the dummy claddings under pressure of 3, 4, and 5 MPa during tests in the mode simulating fuel handling and normal operating conditions are shown in Fig. 3.

Changes simulating the handling temperature mode and the limiting design-basis accidents included:

- Fuel rod dummy tests under pressure of 3, 4 and 5 MPa in the mode: heating to 450 °C, exposure at 450 °C for 3 hours, cooling to 300 °C; exposure at 300 °C for 1 hour and subsequent three thermal cycles from 300 °C (temperature after ~2 years of storage) to 450 °C. Exposure in each of the cycles at 300 and 450 °C for 1 hour (Mode 2) (Fig. 4)

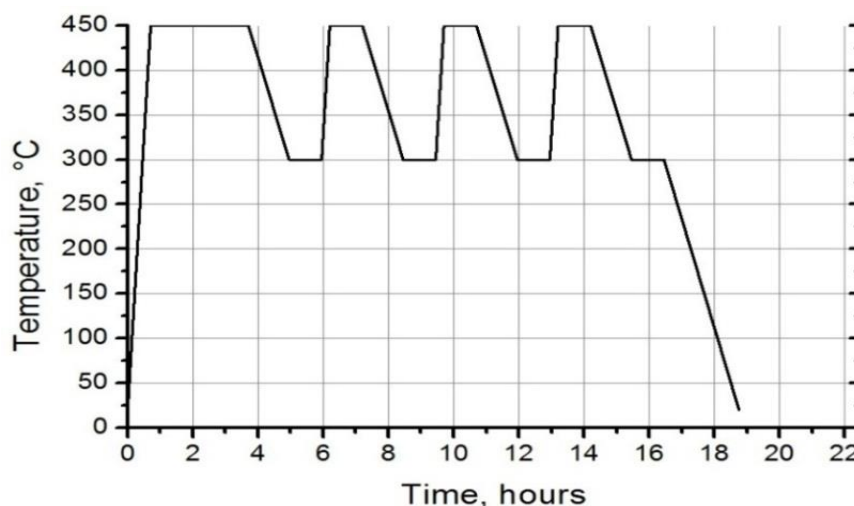


Fig. 4 – Test Temperature Mode with Three Thermal Cycles 300↔450 °C. Mode 2

- Fuel rod dummy tests under pressure of 5 MPa in the mode: heating to 450 °C, exposure at 450 °C for 3 hours, cooling to 300 °C; exposure at 300 °C for 1 hour and subsequent five thermal cycles from 300 °C to 450 °C. Exposure in each of the cycles at 300 and 450 °C for 1 hour (Mode 3).

- Fuel rod dummy tests under pressure of 5 MPa in the mode: heating to 450 °C, exposure at 450 °C for 3 hours, cooling to 300 °C and subsequent seven thermal cycles from 300 to 450 °C. Exposure in each of the cycles for 1 hour at 300 °C and 45 minutes at 450 °C (Mode 4).

- Fuel rod dummy tests under pressure of 4 and 5 MPa in the mode: heating to 450 °C, exposure at 450 °C for 3 hours, cooling to 180 °C and subsequent three thermal cycles from 180 °C (temperature after ~45-50 years of storage) to 450 °C. Exposure in each of the cycles at 180 and 450 °C for 1 hour (Mode 5).

- Fuel rod dummy tests under pressure of 4 and 5 MPa in the mode: heating to 450 °C, exposure at 450 °C for 3 hours, cooling to 180 °C and subsequent five thermal cycles from 180 °C to 450 °C. Exposure in each of the cycles at 180 and 450 °C for 1 hour (Mode 6).

- Fuel rod dummy tests under pressure of 5 MPa in the mode: heating to 450 °C, exposure at 450 °C for 3 hours, cooling to 180 °C and subsequent seven thermal cycles from 180 °C to 450 °C. Exposure in each of the cycles for 1 hour at 180 °C and 45 minutes at 450 °C (Mode 7).

Metallographic Examination

The metallographic examinations were done using the optical microscope "Axio Observer.A1m". The metallographic structure images were used to determine the hydrogen concentration and the hydride orientation coefficient.

The hydrogen concentration was determined by the area taken by hydrides in the sample transverse cross-section [22, 23]:

$$[H]_t(\text{ppm}) = [H]_\delta \cdot F_\delta \frac{\rho_\delta}{\rho_\alpha(1-F_\delta) + \rho_\delta F_\delta} \quad (3)$$

where: $[H]_t$ – hydrogen concentration in the sample (at room temperature the hydrogen concentration in the solid solution of α -Zr does not exceed 1 ppm); $[H]_\delta$ – hydrogen concentration in the δ -hydride (17570 ppm); F_δ – fraction of the area taken by hydrides (equivalent to the hydride volume fraction); ρ_α – density of α -Zr matrix at room temperature (6550 kg/m³); ρ_δ – density of δ -hydrides at room temperature (5650 kg/m³).

The hydride orientation coefficient was determined using the formula:

$$F_n = \frac{\sum_i L_{ri}}{\sum_i (L_{ri} + L_{ci})} \quad (4)$$

where F_n is the hydride orientation coefficient, L_{ri} – is the length of the i^{th} radial hydride oriented between

0-45° to the radial direction, and L_{ci} is the length of the i^{th} circumferential hydride orientated between 45-90° to radial direction.

Tensile tests

Short-terms mechanical tensile test of circumferential samples (outer diameter 9.13 mm, wall thickness 0.68 mm, width 2.7 mm) were performed on semi-circular supports, 6.0 mm in diameter, at temperature 20 and 350 °C. The active grip motion rate was about 1.8 mm/min. The working length was calculated using the formula:

$$L = \frac{1}{2} \pi (D_{\text{mid}} - 0.85d_o) \quad (5)$$

where D_{mid} is the sample average diameter, mm, d_o is the support diameter, mm.

The deformation rate 5.7×10^{-3} 1/sec.

Results and discussion

Re-orientation of Hydrides

During the tests, depending on the concentration, the hydrides which initially had a technology-induced orientation relative to the main directions in products (for tubes: radially, tangentially, and axially) dissolve completely or partially, whereas the subsequent cooling releases hydrides whose orientation is to a significant degree determined by the active stresses. Hysteresis exists between the temperature of full hydride dissolution (TSSD) during heatup and the temperature of their precipitation during cooling (hydride precipitation requires some subcooling). The hydrogen concentrations at hydride dissociation temperatures ($[H]_{\text{TSSD}}$) during heatup and at the beginning of hydride precipitation during cooling ($[H]_{\text{TSSP}}$) in Zr-1%Nb alloy (M5) are determined by the equations [24]:

$$[H]_{\text{TSSD}}(\text{ppm}) = 84965 \exp\left(-\frac{34187}{RT}\right) \quad (6)$$

$$[H]_{\text{TSSP}}(\text{ppm}) = 30638 \exp\left(-\frac{26180}{RT}\right) \quad (7)$$

where: R – gas constant (8.314 J/(mole·K); T – absolute temperature, K.

The dependence of hydride dissociation temperatures in Zr-1%Nb during heat up (TSSD) and their precipitation during cooling (TSSP) are shown in Fig. 5.

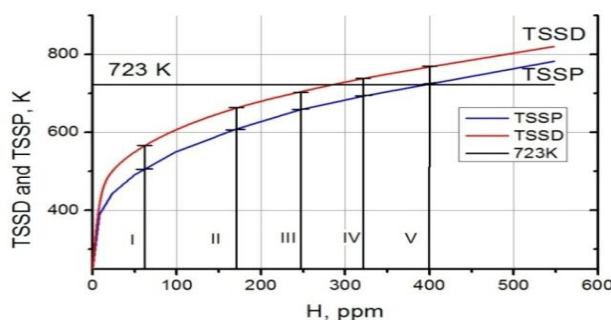


Fig. 5 – Hydride dissociation temperatures (TSSD) during heat up and at the hydride beginning of precipitation temperatures during cooling (TSSP) in Zr-1%Nb versus hydrogen concentration $[H]$

The hydrogen reorientation tests in the dummy claddings under pressure of 3, 4, and 5 MPa (at room

temperature) simulating fuel handling and normal storage conditions in the SNF dry storage was performed

on the dummies with the hydrogen concentration in Zr-1%Nb cladding of 170, 250, 320, and 400 ppm. Fig. 9 marks the hydride dissolution and precipitation temperatures at these concentrations (I-V), as well as the maximum test temperature (450 °C (723 K)). The hydride distribution in the dummy claddings before and after

the tests is shown in Fig. 6; the data on hydride orientation (hydride orientation coefficients in the dummy claddings) is provided in Table 2.

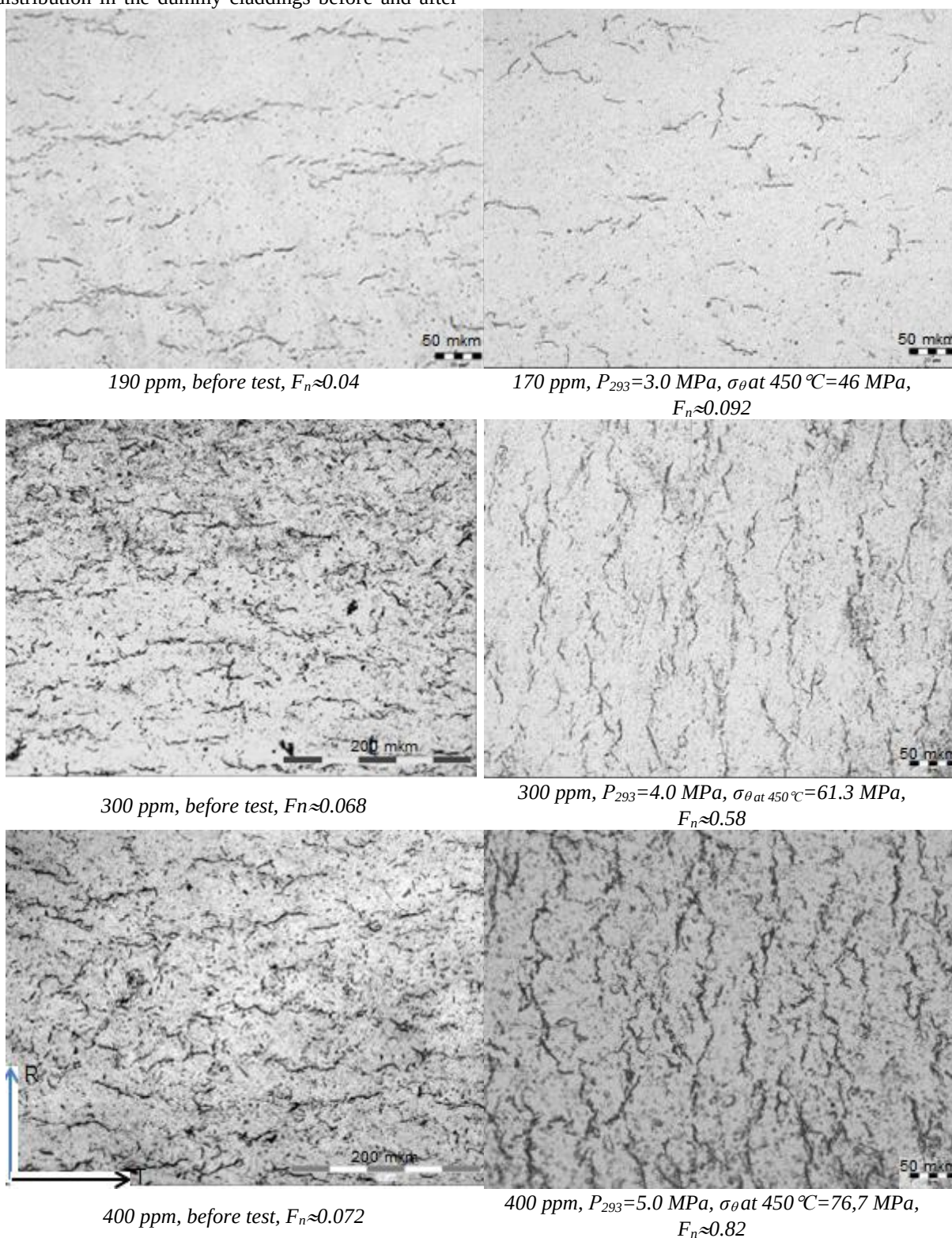


Fig. 6 – Hydride microstructure in the dummy (Zr-1%Nb) claddings before and after the hydride reorientation tests in the mode simulating fuel handling in the SNF dry storage (on the right)

Table 2

Hydride reorientation coefficients in the dummy claddings tests in the mode simulating fuel handling in the SNF dry storage (single cycle heating to 450 °C, holding for 8 hours and subsequent cooling to room temperature (according to regime 1)).

[H], ppm	P ₂₉₃ , MPa	σ_{θ} at 450 °C, MPa	TSSD, °C	TSSP, °C	σ_{θ} at TSSP, MPa	F _n
60	before the test	-	-	-	-	0.04
	3	46	293.72	231.40	32.09	0.05
	4	61.3	293.72	231.40	42.78	0.06
	5	76.7	293.72	231.40	53.48	0.06
170	before the test	-	-	-	-	0.04
	3	46	388.70	332.53	38.52	0.07
	4	61.3	388.70	332.53	51.36	0.1
	5	76.7	388.70	332.53	64.20	0.12
250	before the test	-	-	-	-	0.05
	3	46	432.48	381.10	41.61	0.14
	4	61.3	432.48	381.10	55.48	0.15
	5	76.7	432.48	381.10	69.35	0.32
320	before the test.	-	-	-	-	0.06
	3	46	463.68	416.49	43.86	0.16
	4	61.3	463.68	416.49	58.48	0.18
	5	76.7	463.68	416.49	73.10	0.48
400	before the test	-	-	-	-	0.07-0.08
	3	46	494.36	451.96	46.12	0.18
	4	61.3	494.36	451.96	61.49	0.23
	5	76.7	494.36	451.96	76.87	0.58

The results obtained (Fig. 6, Table 2) evidence that the dummy tests under the pressure of 3, 4, and 5 MPa in the mode simulating fuel handling and normal storage conditions do not lead to hydride reorientation in the claddings with low hydrogen concentration (60 and 170 ppm (Fig. 5)), whose hydride dissociation and precipitation temperatures are well below 450 °C. This may be related to low stresses in the dummy claddings at the temperature of precipitation onset of low-hydrogen concentration hydrides. At hydrogen concentrations of 250...400 ppm, with a pressure increase from 0 to 4 MPa, the hydride orientation coefficient increases only insignificantly, but rises dramatically with a pressure increase from 4 to 5 MPa (Fig. 6, Table 2). Zr-1%Nb cladding propensity towards radial hydride for-

mation under internal pressure increases with the hydrogen concentration growing from 250 to 400 ppm, which is in good qualitative agreement with the dependence of tangential stress in the dummy claddings at the hydride precipitation temperature (TSSP) (See Fig. 5).

For illustration, Fig. 7 shows the dependence of the hydride orientation coefficient versus tangential stress at 450 °C for the dummy claddings (Zr-1%Nb) with a hydrogen concentration of 400 ppm (TSSP=451.96 °C), tested in the mode simulating fuel handling and normal storage conditions in the SNF Dry Storage, as well as in the modes with three, five, and seven thermal cycles 300↔450 °C.

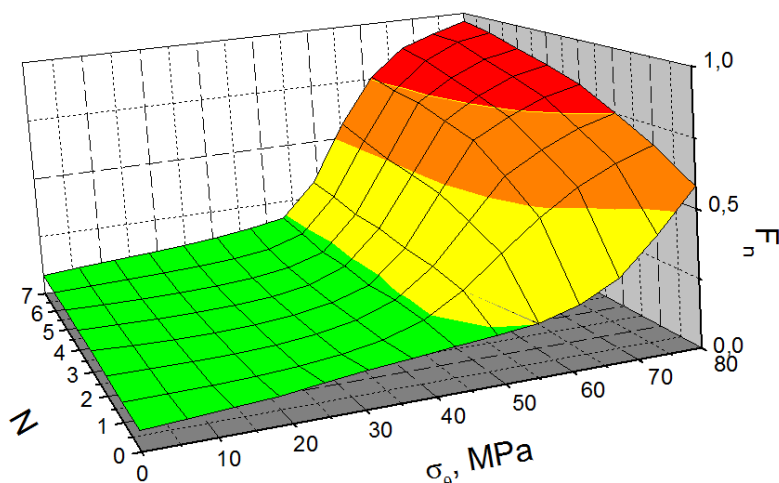


Fig. 7 – Dependence of the hydride orientation coefficient versus tangential stress at 450 °C in the dummy cladding (Zr-1%) of 400 ppm hydrogen concentration tested in the following modes: Mode 1 simulating fuel handling and normal storage conditions; and Modes 2-4 with three, five, and seven thermal cycles 300↔450 °C

According to the data obtained, the dummy claddings with a hydrogen concentration of 400 ppm tested in the mode: heating to 450°C, exposure at 450°C for 8 hours and cooling at a rate of ~2 deg./min., the threshold hydride reorientation stress is ≈55-60 MPa (break-point on the function $F_n \rightarrow \sigma_\theta$ (Fig. 7)).

Hydride distribution in the dummy claddings before and after the tests in the modes: heating to 450°C, exposure for 3 hours, cooling to 300 °C and subsequent 3, 5, and 7 thermal cycles of 300↔450 °C is shown in Fig. 8; data on hydride orientation (hydride orientation coefficients in the dummy claddings) is provided in Table 3.

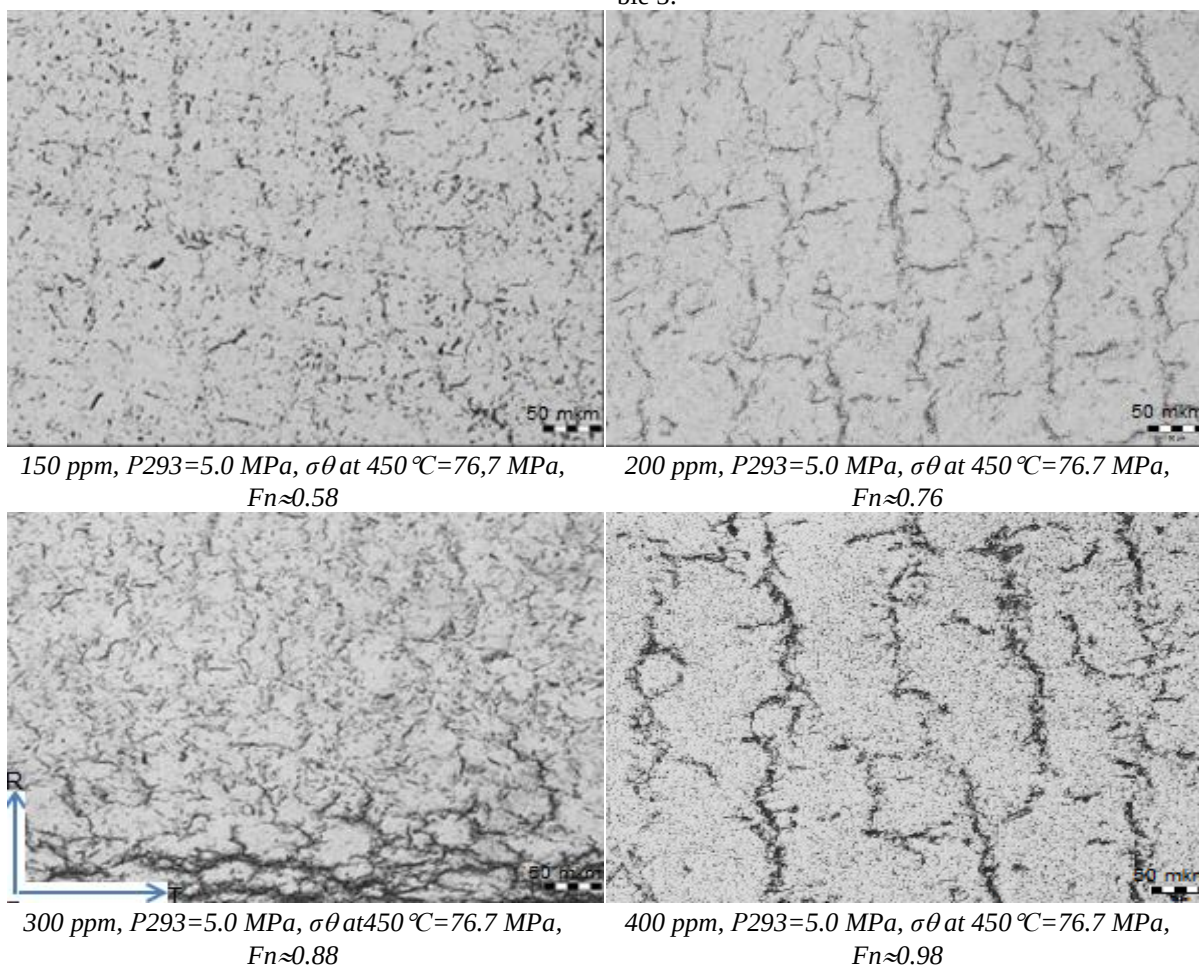


Fig. 8 - Hydride microstructure in the dummy claddings (Zr-1%Nb) before and after the hydride reorientation test in the mode: heating to 450 °C, exposure for 3 hours, and cooling to 300 °C and subsequent 3 (a,b), 5 (c), and 7 (d) thermal cycles 300↔450 °C

Table 3

Hydride reorientation coefficient in the dummy claddings tested in the mode: heating to 450 °C, exposure for 3 hours, and cooling to 300 °C and subsequent 3, 5, and 7 thermal cycles 300↔450 °C

[H], ppm	P ₂₉₃ , MPa	σ _θ at 450 °C, MPa	TSSD, °C	TSSP, °C	σ _θ at TSSP, MPa	F _n
3 thermal cycles 300↔450 °C						
80	before the test	-	-	-	-	0.04
	3	46	317.12	255.80	33.64	0.06
	4	61.3	317.12	255.80	44.85	0.07
	5	76.7	317.12	255.80	56.07	0.06
150	before the test	-	-	-	-	0.04
	3	46	375.64	318.28	37.62	0.092
	4	61.3	375.64	318.28	50.15	0.32
	5	76.7	375.64	318.28	62.69	0.38
220	before the test	-	-	-	-	0.05
	3	46	417.34	364.16	40.53	0.14
	4	61.3	417.34	364.16	54.05	0.38
	5	76.7	417.34	364.16	67.56	0.48
330	before the test	-	-	-	-	0.06
	3	46	467.77	421.18	44.16	0.16
	4	61.3	467.77	421.18	58.88	0.53
	5	76.7	467.77	421.18	73.60	0.73
400	before the test	--	-	-	-	0.07-0.08
	3	46	494.36	451.96	46.12	-
	4	61.3	494.36	451.96	61.49	0.68
	5	76.7	494.36	451.96	76.87	0.82
5 thermal cycles 300↔450 °C						
60	before the test	-	-	-	-	0.04
	5	76.7	293.72	231.40	53.48	0.07
170	before the test	-	-	-	-	0.04
	5	76.7	388.70	332.53	64.20	0.4
250	before the test	-	-	-	-	0.05
	5	76.7	432.48	381.10	69.35	0.52
320	before the test	-	-	-	-	0.06
	5	76.7	463.28	416.49	73.10	0.79
400	before the test	-	-	-	-	0.08
	5	76.7	494.36	451.96	76.87	0.89
7 thermal cycles 300↔450 °C						
60	before the test	-	-	-	-	0.04
	5	76.7	293.72	231.40	53.48	0.13
170	before the test	-	-	-	-	0.04
	5	76.7	388.70	332.53	64.20	0.58
250	before the test	-	-	-	-	0.05
	5	76.7	432.48	381.1	69.35	0.76
320	before the test	-	-	-	-	0.06
	5	76.7	463.68	416.49	73.10	0.88
400	before the test	-	-	-	-	0.08
	5	76.7	494.36	451.96	76.87	0.98

Three thermal cycles of 300↔450 °C significantly increase the hydride reorientation level, with significant reorientation taking place in the dummy claddings with a hydrogen concentration of 150 ppm, whereas in the dummy claddings with a hydrogen concentration of 250...400 ppm significant reorientation also takes place during pressurized tests at P₂₉₃=4 MPa.

It should be noted that the hydride orientation coefficient is significantly increased by three thermal cycles of 300↔450 °C, whereas further increase in the

number of cycles to 5 and 7 (P₂₉₃=5 MPa) causes the hydride orientation coefficient to grow only insignificantly (see Table 2 and 3; Fig. 7).

Hydride distribution in the dummy claddings before and after the tests in the modes: heating to 450 °C, exposure for 3 hours, cooling to 180 °C and subsequent 3, 5, and 7 thermal cycles of 180↔450 °C is shown in Fig. 9; the data on hydride orientation (hydride orientation coefficients in the dummy claddings) is provided in Table 4.

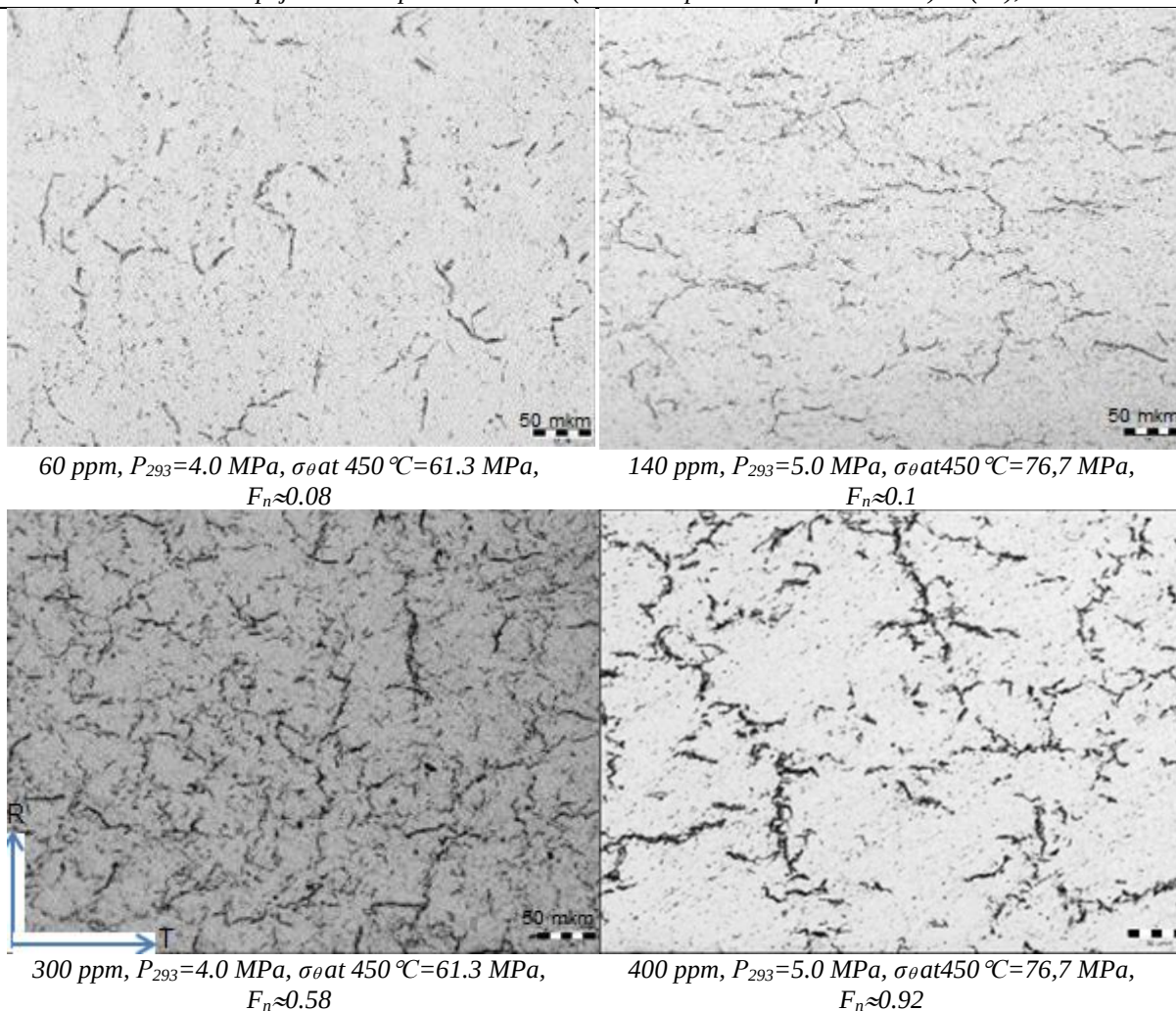


Fig. 9 - Hydride microstructure in the dummy claddings (Zr-1%Nb) before and after the hydride reorientation test in the mode: heating to 450 °C, exposure for 3 hours, and cooling to 180 °C and subsequent 3 (a,b), 5 (c), and 7 (d) thermal cycles 180↔450 °C

Table 4

Hydride reorientation coefficient in the dummy claddings tested in the mode: heating to 450 °C, exposure for 3 hours, cooling to 180°C, and subsequent 3, 5, and 7 thermal cycles 180↔450 °C

[H], ppm	P ₂₉₃ , MPa	σ _θ at 450 °C, MPa	TSSD, °C	TSSP, °C	σ _θ at TSSP, MPa	F _n
3 thermal cycles 180↔450 °C						
60	before the test	-	-	-	-	0.04
	3	46	293.72	231.40	32.09	0.09
	4	61.3	293.72	231.40	42.78	0.08
	5	76.7	293.72	231.40	53.48	0.08
140	before the test	-	-	-	-	0.07
	3	46	368.65	310.71	37.13	0.09
	4	61.3	368.65	310.71	49.51	0.1
	5	76.7	368.65	310.71	61.89	0.1
270	before the test	-	-	-	-	0.05
	3	46	441.9	391.7	42.28	0.14
	4	61.3	441.9	397.7	56.38	0.09
	5	76.7	441.9	391.7	70.48	0.59
320	before the test	-	-	-	-	0.06
	3	46	463.28	416.49	43.86	0.15
	4	61.3	463.28	416.49	58.48	0.73
	5	76.7	463.28	416.49	73.10	0.68
400	before the test	-	-	-	-	0.07
	3	46	494.36	451.96	46.12	0.18
	4	61.3	494.36	451.96	61.49	0.78
	5	76.7	494.36	451.96	76.87	0.89

5 thermal cycles 180↔450 °C						
60	before the test	-	-	-	-	0.04
	5	76.7	293.72	231.4	53.48	0.12
170	before the test	-	-	-	-	0.04
	5	76.7	388.70	332.53	64.20	0.38
250	before the test	-	-	-	-	0.05
	5	76.7	432.48	381.1	69.35	0.42
320	before the test	-	-	-	-	0.06
	5	76.7	463.28	416.49	73.10	0.58
400	before the test	-	-	-	-	0.08
	5	76.7	494.36	451.96	76.87	0.82
7 thermal cycles 180↔450 °C						
60	before the test	-	-	-	-	0.04
	5	76.7	293.7	231.4	53.48	0.11
170	before the test	-	-	-	-	0.04
	5	76.7	388.7	332.53	64.20	0.38
250	before the test	-	-	-	-	0.05
	5	76.7	432.48	381.1	69.35	0.48
320	before the test	-	-	-	-	0.06
	5	76.7	463.28	416.49	73.10	0.59
400	before the test	-	-	-	-	0.08
	5	76.7	494.36	451.96	76.87	0.92

As in the case of three 300↔450 °C thermal cycles, three 180↔450 °C thermal cycles substantially increase the hydride reorientation level, with significant reorientation taking place in the dummy claddings with a hydrogen concentration of 170 ppm, whereas in the dummy claddings with a hydrogen concentration of 250...400 ppm significant reorientation also takes place during pressurized tests at $P_{293}=4$ MPa. The hydride orientation coefficient is significantly increased by three 180↔450 °C thermal cycles, whereas the effects of further increase in the number of cycles to 5 and 7 ($P_{293}=5$ MPa) is insignificant and ambiguous (see Table 4).

Mechanical Properties

Mechanical tests were performed at temperatures of 20 and 350 °C on circumferential samples 2.7 mm wide, cut out from non-hydrogenated dummy claddings, hydrogenated tube cladding sections 75 mm long, and dummy claddings with different hydrogen concentration tested in all the modes described in the "Treatment for Hydride Re-orientation" section.

Fig. 10 a, b shows dependence of the strength limit, yield strength, and relative elongation of the samples cut out from cladding tubes and hydrogenated tube sections at 20 and 350 °C.

At a temperature of 20 °C, non-hydrogenated cladding tubes have the following parameters: $\sigma_u=40.75$ kg/mm², $\sigma_{0.2}=37.5$ kg/mm² and $\delta=39.6\%$. With the hydrogen concentration increase to 170...400 ppm:

- the strength limit increases to 45.15...48.3 kg/mm²
- the yield strength increases to 42.2...45.3 kg/mm²;
- the relative elongation decreases, but does not go below 27%.

At a temperature of 350 °C, non-hydrogenated cladding tubes have the following parameters: $\sigma_u=17.75$ kg/mm², $\sigma_{0.2}=16.00$ kg/mm² and $\delta=38\%$. With the hydrogen concentration increase to 170...400 ppm:

- the strength limit increases to 19.1...21.3 kg/mm²;
- the yield strength increases to 16.8...19.5 kg/mm²;
- the relative elongation increases to 40.8...44.2%

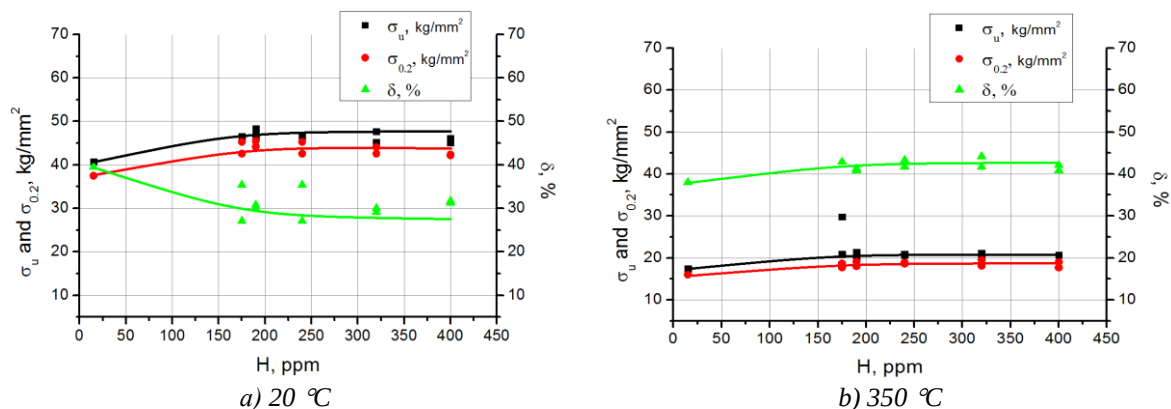


Fig. 10 – Dependence of the strength limit, yield strength, and relative elongation of Zr-1% Nb (E110) cladding tubes versus hydrogen concentration. Test temperatures: 20 and 350 °C

No temperature mode used in the work led to any additional hydrogen embrittlement during the hydride reorientation tests. For illustration, Fig. 11a and 11b provide dependencies of the strength limit, yield strength, and relative elongation of the samples cut out from dummy claddings under pressure ($P_{293}=5$ MPa) after 7 thermal cycles $300 \leftrightarrow 450$ °C, which caused virtually complete hydride reorientation ($F_n=0.98$), versus

hydrogen concentration. After testing in this mode at room temperature, the strength of all the hydrogenated dummy claddings is slightly higher than of the non-hydrogenated ones, and their plasticity virtually does not decrease below 30%. At 350 °C the strength of the dummy claddings virtually does not depend on the hydrogen concentration and their plasticity is slightly higher on the hydrogenated dummy claddings.

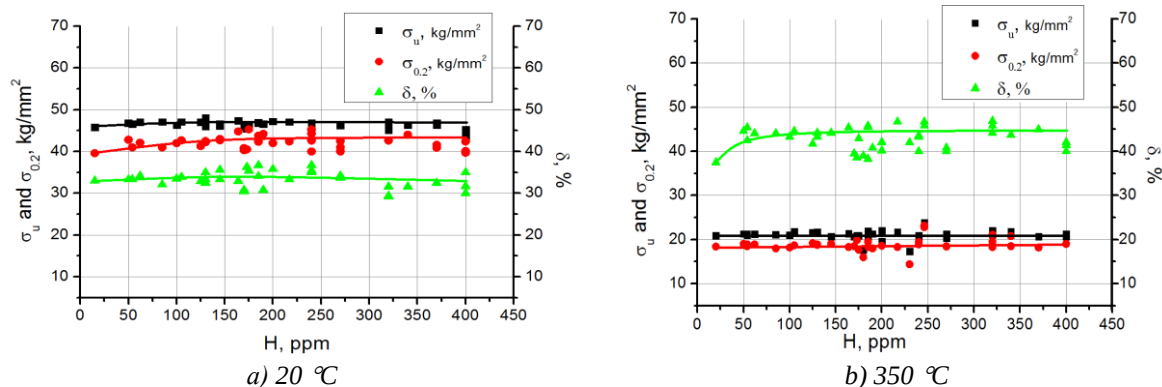


Fig. 11 – Dependence of the strength limit, yield strength, and relative elongation of the Zr-1% Nb (E110) dummy claddings tested with 7 thermal cycles $300 \leftrightarrow 450$ °C; Test temperatures: 20 and 350 °C

Conclusion

1. Upon completion of their operation, fuel rods claddings retain a number of hereditary degrading factors, such as hydrogen, accumulated during operation. Handling operations and long-term storage of SNF fuel rod claddings created conditions facilitating hydride reorientation, which, based on common understanding, may increase the efficiency of hydrogen embrittlement.

2. Pressurized dummy (3...5 MPa (at room temperature)) with hydrogenated Zr-1%Nb cladding (up to 400 ppm), initially containing tangentially oriented hydrides ($F_n=0.04...0.08$), were tested for hydride reorientation simulating different scenarios of SNF handling and storage:

- tests simulating handling operations and subsequent normal storage in the SNF dry storage: 450 °C, exposure for 8 hours, and subsequent cooling at ~ 2 deg./min;

- tests simulating handling operations and limiting design-basis accidents with 3, 5, and 7 thermal cycles $300 \leftrightarrow 450$ °C and $180 \leftrightarrow 450$ °C.

3. It was established that at internal pressure of 3, 4, and 5 MPa (at room temperature) tests in the modes: 450 °C, exposure for 8 hours and subsequent cooling at ~ 2 deg./min. do not lead to noticeable hydride reorientation in the dummy claddings with a low hydrogen concentration (60 and 170 ppm). At hydrogen concentration 250...400 ppm in the dummy claddings, with a pressure increase from 0 to 4 MPa, the hydride orientation coefficient increases only insignificantly, but rises dramatically with a pressure increase from 4 to 5 MPa (up to $F_n=0.58$ at 400 ppm).

4. On the dummy claddings with a hydrogen concentration of 400 ppm tested in the mode: heating to 450 °C, exposure at 450 °C for 8 hours, and cooling at a rate of ~ 2 deg./min., the threshold hydride reorientation stress is σ_{θ} at 450 °C ≈ 55 -60 MPa (break-point on the function $F_n \rightarrow \sigma_{\theta}$ at 450 °C).

4. During spent VVER-1000 fuel assembly handling after 3 years of operation (pressure under cladding ~ 3.3 MPa), according to the results obtained, the fuel rod claddings are not expected to have significant hydride reorientation and, thus, increased hydrogen embrittlement efficiency.

5. Three thermal cycles of $300 \leftrightarrow 450$ °C and $180 \leftrightarrow 450$ °C significantly increase the hydride reorientation level, with significant reorientation taking place in the dummy claddings with a hydrogen concentration of 170 ppm, whereas in the dummy claddings with a hydrogen concentration of 250...400 ppm significant reorientation also takes place during pressure tests at $P_{293}=4$ MPa.

6. It should be noted that the hydride reorientation coefficient is significantly increased by three $300 \leftrightarrow 450$ °C thermal cycles. An increase in the number of $300 \leftrightarrow 450$ °C cycles from 3 to 5 and then to 7 causes an additional increase in the degree of hydride reorientation (up to 0.98 in the case of thermal cycles on the claddings with a hydrogen concentration of 400 ppm). Three $180 \leftrightarrow 450$ °C thermal cycles increase the degree of hydride reorientation up to 0.89 (on the claddings with a hydrogen concentration of 400 ppm); an increase in the number of $180 \leftrightarrow 450$ °C cycles from 3 to 7 does not additionally increase the degree of hydride reorientation.

7. At a temperature of 20 °C, non-hydrogenated cladding tubes have the following parameters: $\sigma_u=40.75$ kg/mm², $\sigma_{0.2}=37.5$ kg/mm² and $\delta=39.6\%$. As the hydrogen concentration goes up to 170...400 ppm, the strength limit increases to 45.15...48.3 kg/mm²; the yield strength increases to 42.2...45.3 kg/mm²; and the relative elongation decreases, but does not go below 27%.

8. At a temperature of 350 °C, non-hydrogenated cladding tubes have the following parameters: $\sigma_u=17.75$ kg/mm², $\sigma_{0.2}=16.00$ kg/mm² and $\delta=38\%$. As the hydrogen concentration goes up to 170...400 ppm, the strength limit increases to 19.1...21.3 kg/mm²; the yield strength increases to 16.8...19.5 kg/mm²; and the relative elongation increases to 40.8...44.2%.

9. No temperature mode used in the work led to any additional hydrogen embrittlement during the hydride reorientation tests.

A logical continuation of this work is to research the effects of conditions in which radial hydrides are formed on the efficiency of hydrogen embrittlement of the alloy Zr-1%Nb.

Reference

[1] Займовский, А. С., Никулина, А. В., and Решетников, Н. Г., "Циркониевые сплавы в ядерной энергетике," Москва: Энергоатомиздат, 1994.
 [2] Machiels, A., "End-of-Life Rod Internal Pressures in Spent Pressurized Water Reactor Fuel," *EPRI Product ID: 3002001949* EPRI, California, Palo Alto: Electric Power Research Institute, 2013.
 [3] Cappelaere, C., Limon, R., Gilbon, D., Bredel, T., Rabouille, O., Bouffieux, P., and Mardon, J. P., "Impact of Irradiation Defects Annealing on Long-Term Thermal Creep of Irradiated Zircaloy-4 Cladding

Tube," *Zirconium in the Nuclear Industry: Thirteenth International Symposium*, ASTM STP 1423, G. D. Moan and P. Rudling, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 720-739, 2002.

[4] Couet, A., Motta, A. T., Comstock, R. J., "Hydrogen pickup measurements in zirconium alloys: Relation to oxidation kinetics," *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 451, № 1-3, pp. 1-13, 2014.

[5] Coleman, C. E., and Hardie, D., "The Hydrogen Embrittlement of α -Zirconium – A Review," *Journals of the Less Common Metals*, Vol. 11, № 3, pp. 168-185, 1966.

[6] Bertolino, G., Meyer, G., Perez Ipina, J. "Degradation of the mechanical properties of Zircaloy-4 due to hydrogen embrittlement," *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 330-332, pp. 408-413, 2002.

[7] Nuttall, K., and Rogowski, A. J., "Some Fractographic aspects of Hydrogen-Induced Delay Cracking in Zr-2.5%Nb alloys," *Journals of Nuclear Materials*, Vol. 80, № 2, pp. 279-290, 1979.

[8] IAEA-TECDOC-1649, "Delayed Hydride Cracking of Zirconium Alloy Fuel Cladding," Vienna: IAEA, 2010, ISSN 1011-4289.

[9] Coleman, C. , Grigoriev, V., Inozemtsev, V., Markelov, V., Roth, M., Makarevicius, V., Kim, Y. S., Liagat Ali, K., Chakravartty, J.K., Mizrahi, R., and Lalgudi, R., "Delayed Hydride Cracking in Zircaloy Fuel Cladding – An IAEA Coordinated Research Programme," *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 41, № 2, pp. 171-178, March 2009.

[10] Raynaud, P. A., Koss, D. A., and Motta, A. T., "Crack growth in the through-thickness direction of hydrided thin-wall Zircaloy sheet," *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 420, № 1-3, pp. 69-82, 2012.

[11] "Review Of Used Nuclear Fuel Storage and Transportation. Technical Gap Analyses," *FCRD-USED-2012-000215 Draft*, PNNL-21596, Prepared for the U.S. Department of Energy Used Fuel Disposition Campaign, Washington, D.C., July 31 2012.

[12] Louthan, M. R., Jr., and Marshall, R. P., "Control of Hydride Orientation of Zircaloy," *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 9, № 2, pp. 170-184, 1963.

[13] Hardie, D., and Shanahan, A. W., "Stress Reorientation of Hydrides in Zirconium-2.5%Nb," *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 55, № 1, pp. 1-13, 1975.

[14] Billone, M. C., Burtseva, T. A., and Einziger, R. E., "Ductile-to-Brittle Transition Temperature for High-Burnup Cladding Alloys Exposed to Simulated Drying-Storage Conditions," *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 433, № 1-3, pp. 431-448, 2013.

[15] Cinbiz, M. N., Koss, D. A., Motta, A. T., "The Effect of Stress Biaxiality on Hydride Reorientation Threshold Stress," *Proceedings of LWR Fuel Performance Meeting*, **TopFuel 2015**, 13 - 17 September, 2015, Zurich, Switzerland; Belgium, Brussels, Part II, pp. 94-103, 2015.

[16] ISG 15, Interim Staff Guidance – 15. Materials Evaluation.

[17] NUREG 1536, "Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Systems at a General License

Facility”, Division of Spent Fuel Storage and Transportation, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, 2009.

[18] Новоселов, А. Е., Павлов, С. В., Поленок, В. С., Марков, Д. В., Жителев, В. А., Кобылянский, Г. П., Костюченко, А. Н., и Волкова, И. Н., “Состояние оболочек ТВЭЛов ВВЭР после шести лет эксплуатации,” *Физика и химия обработки материалов*, № 2, pp. 24-32, 2009.

[19] IAEA-TECDOC-1381, “Analysis of differences in fuel safety criteria for WWER and western PWR nuclear power plants,” IAEA, Vienna, 2003.

[20] Shebaldov, P. V., Peregud, M. M., Nikulina, A. V., Bibilashvili, Y. K., Lositski, A. F., Kuz'menko, N. V., Belov, V. I., and Novoselov, A. E., “E110 alloy cladding tube properties and their interrelation with alloy structure-phase condition and impurity content,” *Zirconium in the Nuclear Industry, Twelfth International Symposium, ASTM STP 1354*, G. P. Sabol and G. D. Moan, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, pp. 545-559, 2000.

[21] Лучна, А. Є., Лавренчук, А. І., Сєднєв, В. А., Васильченко, В. М., Двоєглазов, О. М., Медведєв, В. І. и Печера, Ю. М., “Суше сховище відпрацьованого ядерного палива запорізької АЕС. Забезпечення безпеки,” *International Conference Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy*, May 29 – June 3, Kyiv, Ukraine, 2006. [http://www.kinr.kiev.ua/NPAE_Kyiv2006/proc/Luchna.pdf].

[22] Daum, R. S., Chu, Y. S., and Motta, A. T., “Identification and quantification of hydride phases in Zircaloy-4 cladding using synchrotron X-ray diffraction,” *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 392, № 3, pp. 453-464, 2009.

[23] Liu, Y., Peng, Q., Zhao, W., and Jiang, H., “Hydride precipitation by cathodic hydrogen charging method in zirconium alloys,” *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 110, № 1, pp. 56-60, 2008.

[24] Tang, R., and Yang, X., “Dissolution and precipitation behaviors of hydrides in N18, Zry-4 and M5 alloys,” *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, № 17, pp. 7269–7274, 2009.

#2 (42), 2019 część 2
Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)
Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

#2 (42), 2019 part 2
East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)
The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»

East European Scientific Journal

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com>