

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
КРЫМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА имени В. И. ВЕРНАДСКОГО.
БИОЛОГИЯ. ХИМИЯ
Научный журнал

Том 7 (73), № 2

Журнал «Ученые записки Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия»
является историческим правопреемником журнала «Ученые записки
Таврического университета», который издается с 1918 г.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 2021

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС77-61791 от 18 мая 2015 года.
Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского, протокол № 1 от 25 января 2021 г.**

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук, отрасль науки 03.02.00 – общая биология, 03.03.00 – физиология,
02.00.00 – химические науки, дата включения – 12.07.2017, а также в систему «Российский индекс
научного цитирования» (РИНЦ)

**Редакционная коллегия журнала «Ученые записки Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия»:**

Главный редактор – Чуян Елена Николаевна, д. б. н., проф.

Ответственный секретарь – Туманянц К. Н., к. б. н., доц.

Технический редактор – Ярмлюк Н. С., к. б. н., доц.

Раздел «Биология»:

1. Диатроптов Михаил Евгеньевич, д. б. н., с. н. с.
2. Ивашов Анатолий Васильевич, д. б. н., проф.
3. Колесников Сергей Ильич, д. с-х. н., проф.
4. Коношенко Светлана Владимировна, д. б. н., проф.
5. Коренюк Иван Иванович, д. б. н., проф.
6. Котов Сергей Федорович, к. б. н., доц.
7. Лебедева Наталья Николаевна, д. б. н., проф.
8. Новоселов Владимир Иванович, д. б. н., проф.
9. Павленко Владимир Борисович, д. б. н., проф. (редактор раздела «Биология»)
10. Перов Сергей Юрьевич, д. б. н., в. н. с.
11. Плугатарь Юрий Владимирович, д. б. н., член-корр. РАН
12. Рубцова Нина Борисовна, д. б. н., проф.
13. Рябинина Зинаида Николаевна, д. б. н., проф.

Раздел «Химия»:

14. Гришковец Владимир Иванович, д. х. н., проф. (редактор раздела «Химия»)
15. Гусев Алексей Николаевич, д. х. н., проф.
16. Еременко Игорь Леонидович, академик РАН
17. Земляков Александр Евгеньевич, д. х. н., проф.
18. Кукушкин Вадим Юрьевич, член-корр. РАН
19. Новоторцев Владимир Михайлович, академик РАН
20. Панюшкин Виктор Терентьевич, д. х. н., проф.
21. Шульгин Виктор Федорович, д. х. н., проф.

Подписано в печать 15.06.2021. Формат 70x100 1/16.

Заказ № НП/126. Тираж 50. Индекс, цена.

Дата выхода в свет «__» _____ 2021 г.

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности

ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»

Адрес редакции, издательства и типографии:

295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

<http://sn-biolchem.cfuv.ru>

UDK 662.63

PROCESSING OF WOOD WASTE FROM THE RUSSIAN TIMBER INDUSTRY COMPLEX INTO SECONDARY PRODUCTS

Alekseenko A. A., Shushpanova D. V.

*RUDN University, Ecological Faculty, Moscow, Russian Federation
E-mail: alekseenko_arish@mail.ru*

During wood processing, associated waste is generated, during which there is a need to process such waste into secondary products for their further use. The purpose of this article is to analyze possible options for processing wood from the timber industry complex of Russia and its waste into secondary products. A fifth of the total felling area is used for deforestation. The breed most used for processing in Russia is larch. In forestry and woodworking, waste can be both whole trees and their individual parts, it depends on the purposes for which the felling is performed. Only 20 % of timber waste is recycled. The rest are disposed of by incineration in loggings or taken to landfills. Wood waste can be used as a raw material for the production of hydrolytic alcohol, rosin, technological chips, the needs of pharmacology, the production of soap and tannins for the tanning industry, in agriculture as fertilizers for heavy soils, bedding for animals, in the thermal power industry – for the production of briquettes and pellets. To assess the possibility of processing wood waste in the Russian Federation, a SWOT-analysis is proposed, which shows strengths and weaknesses, and also identifies risks.

Keywords: wood processing, by-products, timber processing complex, pine needles, sawmill.

INTRODUCTION

Russia is considered one of the largest states in the world with a large-scale timber industry complex [1]. It usually includes harvesting, as well as mechanical and chemical processing of wood. In terms of volume, Russia has 20 % of the world's timber resources [2]. There is a need to improve the processing of waste from the timber processing complex to obtain greater efficiency from enterprises in this industry. Secondary wood resources are promising raw materials for further use and reach 45–50 % of the harvested raw materials [3]. The use of such resources for processing will contribute to the efficient operation of the enterprise. The aim of this work is to briefly describe the possibilities of wood processing to obtain secondary products and the most efficient use of waste from the timber processing complex of the Russian Federation.

TIMBER DISTRIBUTION OF THE RUSSIAN FEDERATION

It is known that in Russia there are about 80.2 billion m³ of timber [4], and the area of the forest fund of the Russian Federation is more than 1,147 million hectares [5]. In the forests of Russia, there are over 1500 species of trees and shrubs, valuable conifers prevail, accounting for 90 % of all tree species [6]. The structure of forest distribution in the Russian Federation is shown in Fig. 1

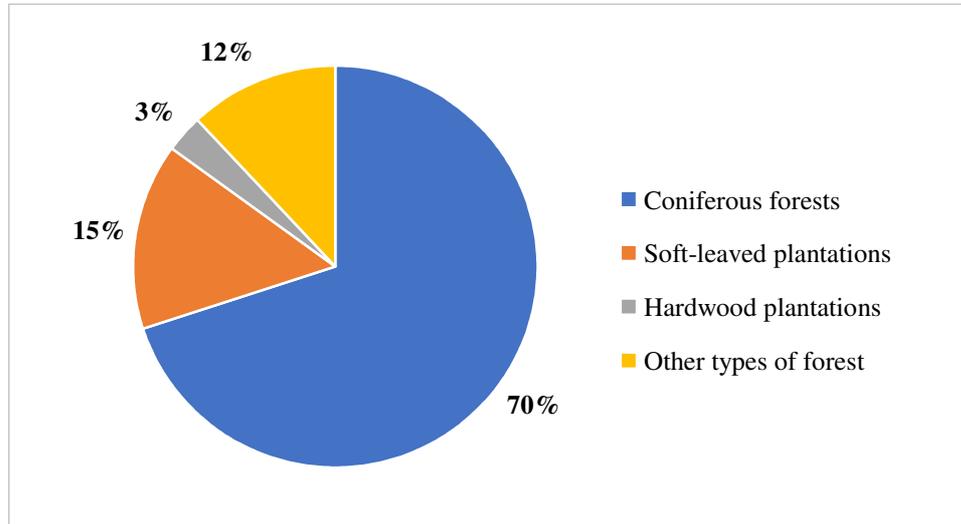


Fig. 1. Diagram of the structure of forest distribution (compiled by the authors).

The increase in the volume of timber harvesting in Russia is about 540 million m³ per year, and the cutting area determined using a special calculation (the forest area available for felling, without a detrimental effect on the environment) is about 800 million m³ [7]. Currently, only one-fifth of this value is used [8, 9]. When harvesting wood, first of all, ripe and matured stands are used (ripe species aged from 80 to 100 years, matured – over 100 years). Such types of forests currently occupy more than 65 % of the total forest area, and more than 95 % of them are located in Siberia and the Far East [6]. The largest amount of wood in Russia comes from pine, spruce and larch. The most stable demand is for deciduous and coniferous species (oak, pine). The stocks of coniferous forests in Russia are 1.8 times higher, and the depletion of forests is 2–3 times less than in the USA, Australia, Canada and other wood exporters. Softwood is widely used in the construction and pulp and paper industry. [10].

Hardwoods are widely used as ornamental materials – oak, beech, birch, aspen, linden and others [11, 12].

THE STRUCTURE OF THE RUSSIAN TIMBER PROCESSING COMPLEX

The timber processing is one of the oldest types of production of structural materials and consists of the following interconnected industries that differ from each other in production technology, product purpose, but use the same raw materials [13, 14]:

- logging, felling, transportation (delivery to the consumer);
- mechanical processing – includes sawing, manufacturing and processing of blanks [15].

Machined products include plywood, lumber, furniture, matches, parquet, etc.;

- wood chemistry is the production of cellulose, paper and other products [16];
- an intermediate position is occupied by the pulp and paper industry, where chemical technologies are used in conjunction with mechanical processing and include the production of cellulose, rosin, wood alcohol and fodder yeast [17]. If you look at the map of the timber industry complex in Russia (Fig. 2), then the following branches are identified in the structure of the timber industry system:

- logging, sawmill - the main areas of sawmilling: Northern, Volgo-Vyatka, Central, Volga, Ural, Western and Eastern Siberia;
- furniture production – Central, North-West, Ural, North-Caucasian, Povolzhsky regions;
- typical housing construction – Ural, North, North-West, Volgo-Vyatka, Central and East Siberian regions;
- pulp and paper industry – Northern, Volgo-Vyatka, Ural and East Siberian regions;
- hydrolysis industry – North, North-West, Ural, Volga, East Siberian regions;
- chemical and mechanical processing of wood – Northern, Volgo-Vyatka, Ural and East Siberian regions [18].

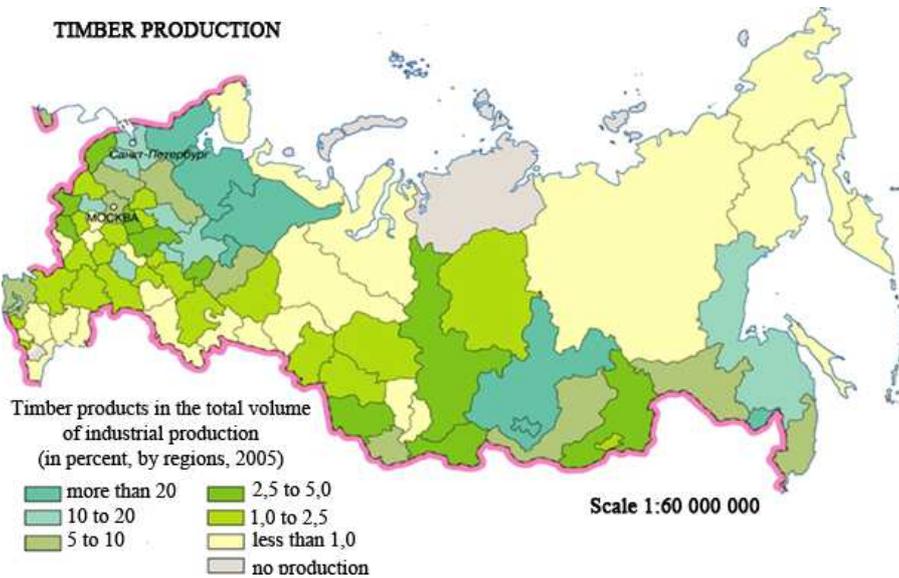


Fig. 2. The map of the location of the main timber industry in Russia [18].

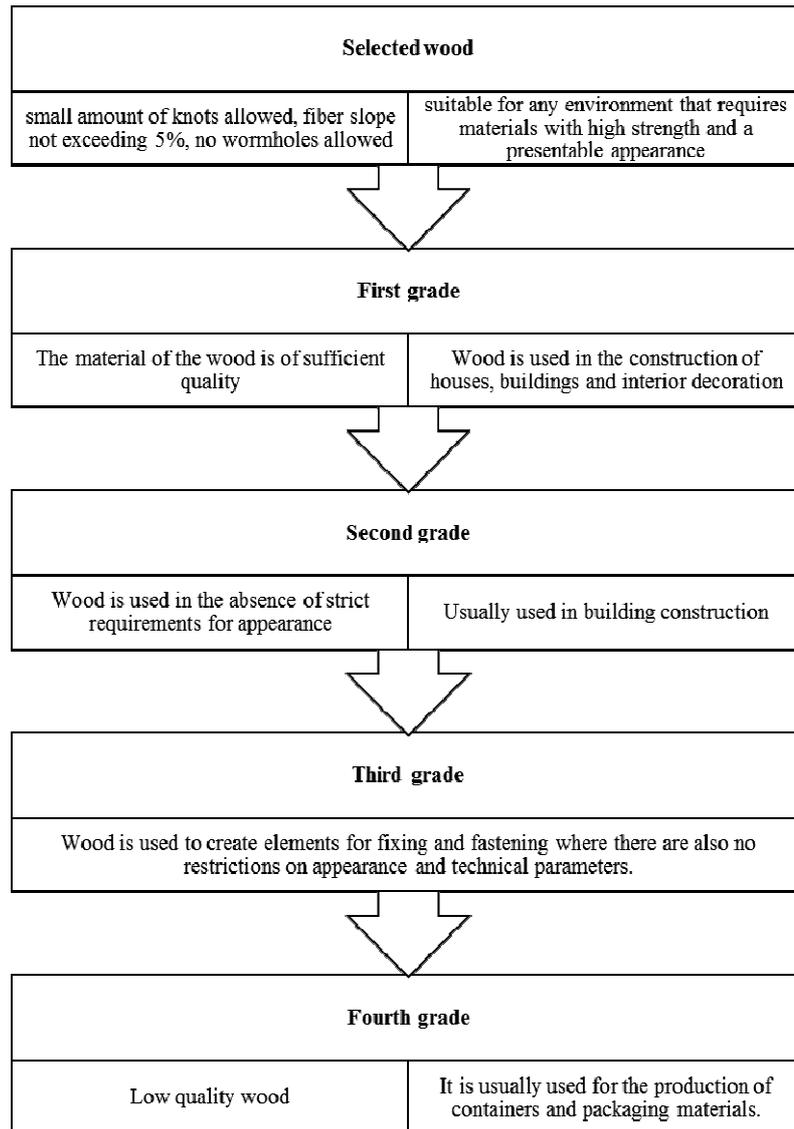


Fig. 3. Wood classes according to construction qualities (compiled by the authors).

The main forest-forming species is larch, which, as a rule, is difficult to process. The qualities of larch – high density, firmness, solidity and resinousness – pose problems for its processing. To ensure the durability of products made from it, it is necessary to use in the production lumber with a moisture content compatible with the operational one. Larch wood is prone to cracking and warping even during air drying, so a radial cut is usually recommended for it. But it is often tangential cutting that is used, in which the wood is strongly warped and cracked not only during drying in convective chamber dryers, but also during simple atmospheric drying. Even full compliance with the requirements for

stacking lumber and placing the stack in a warehouse for long-term storage leads to the formation of deep "spider" and end cracks [19]. The greatest load falls on the European north, the south of Siberia and the Far East. The first place in logging is occupied by the European north (the republics of Komi and Karelia, the Vologda and Arkhangelsk regions) – 20 %. There is an extensive network of rivers, logging roads (Kotlas-Vorkuta, Vologda-Arkhangelsk, Petrozavodsk-Murmansk), a timber export port – Arkhangelsk. The important role of this region was predetermined by the main consumers - the Center and the Volga region. In second place is the East Siberian region (south of the Irkutsk region, Krasnoyarsk Territory). Part of the forest is rafted along the Yenisei to the port of Igarka, and most of it along the Trans-Siberian Railway to the European part [10, 20]. The third place is taken by the Urals (Sverdlovsk and Perm regions) – 18 %. Each wood species has a unique set of characteristics that provide distinctive advantages and disadvantages. In Russia, according to GOST 8486-86 [8], depending on the shortcomings, all coniferous tree species are divided into 5 classes.

TYPES OF WOOD WASTE AND METHODS OF THEIR PROCESSING

If we start from the territorial formation of wood waste, then they distinguish [21]:

- logging (logging sites);
- industrial (wood processing at enterprises). The former includes various branches, bark, twigs, etc., the latter – shavings, sawdust, dust and others. Wood waste can be classified according to the following criteria (Fig. 4):

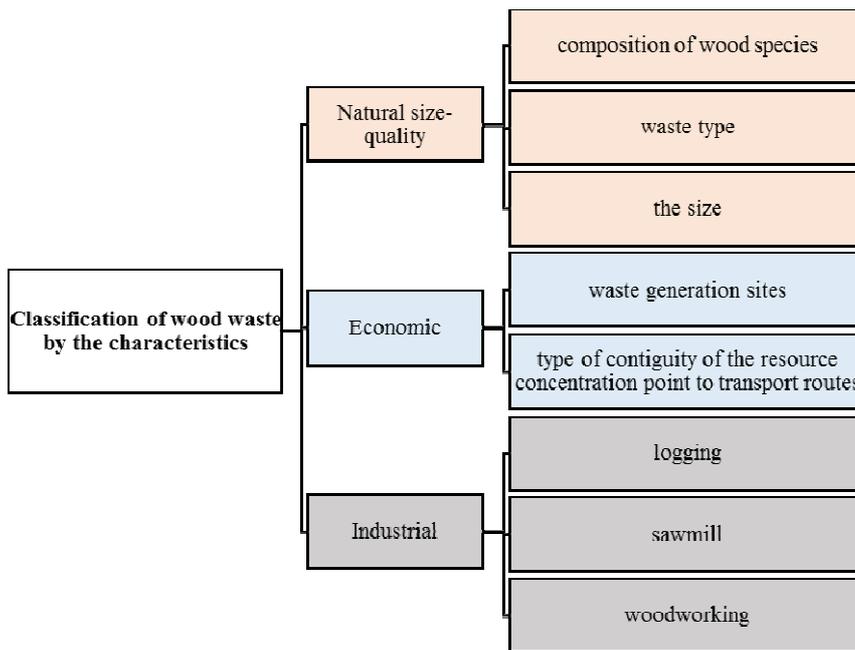


Fig. 4. Classification of wood waste by size, quality, economic and production characteristics.

Any activity related to the extraction or processing of wood is at the same time a supplier of waste, and the type of this waste directly depends on the activities of the enterprise or organization. In forestry, waste can be both whole trees and their individual parts [22], it depends on the purposes for which the felling is performed. Currently, there are several key methods of wood processing [23–25]:

- mechanical (changing the shape of wood mechanically, that is, sawing, carving, splitting, etc.);
- chemical-mechanical (obtaining an intermediate material for further use, for example plywood);
- chemical (use of heat treatment and solvents, the input of which is obtained, for example, charcoal).

A logical consequence is the fact that the most effective direction is the processing, which allows you to get a new product with the maximum use of raw materials.

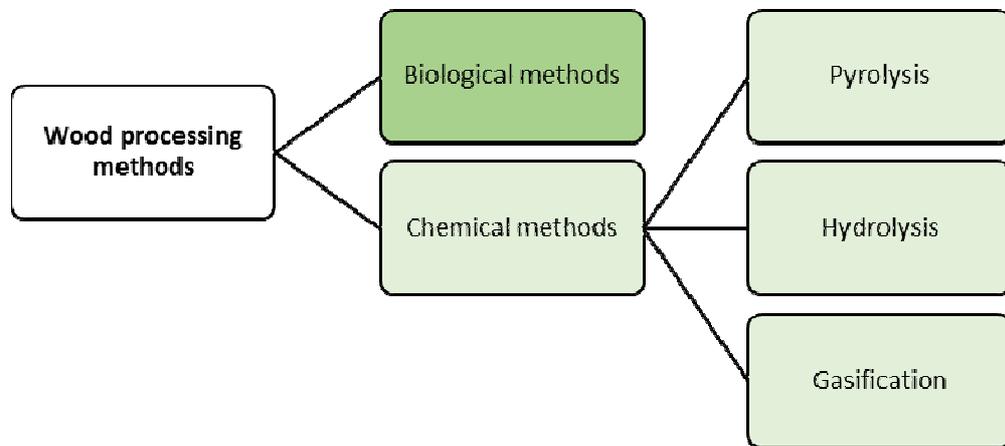


Fig. 5. Modern technological methods of wood processing with the maximum use of raw materials (compiled by the authors).

Of the huge mass of waste, only about 20 % is used, and the rest is disposed of by incineration in clearings, warehouses or thrown into a landfill [26]. Reducing wood losses by only 1 % would increase the security of the national economy in wood raw materials by 1 million m³ and save 7–8 thousand hectares of forest plantations from felling, saving labor, material and monetary resources [27]. A large amount of waste, over 20 % of the total volume of harvesting, is generated at sawmills [28]. Cut and branched trunks, also called whips or logs, are delivered from thinning areas to sawmills, where they are sawn into planks, beams or other sawn timber. The main product at this stage is precisely sawn timber, and the waste is slabs and sawdust. Another consumer of logs is woodworking enterprises producing building materials, as well as various chemical products [29]. In

wood processing enterprises, bark and various pruning are waste products. Finished boards are delivered to construction sites and enterprises, including furniture, where they are processed for further use. At construction sites, the main type of waste is all kinds of trimmings, but processing plants, in addition to trimmings, also produce shavings. Many enterprises recycle waste into shavings, because they are lighter to process or sell [30].

WAYS OF USING WOOD PROCESSING WASTE

Wood waste can be used as a raw material for hydrolysis production, the production of rosin, technological chips and wood pulp, the production of building and furniture boards, in the production of activated carbon and explosives, as raw materials, additives for the needs of pharmaceutical production, as well as the production of soap and perfumery, production of tannins for the tanning industry, pressed fuel blocks, various concretes based on wood fillers [31].

Wood sawdust, shavings, grinding dust are already actively used in agriculture as an additive to fertilizers for heavy soils, in animal husbandry – for the underlying layer [32]. Lignin, as a waste product of cellulose production and hydrolysis of plant raw materials, can be widely used for the needs of ferrous and nonferrous metallurgy as a substitute for coke and charcoal, in ceramic production, in the production of cement, concrete, porous materials. Bricks, refractories can also be created in the production of granular coal. This also includes sorbents, carbon-containing raw materials in various industries [33]. In order to increase the energy and economic efficiency of processing enterprises in the oil and fat industry (reducing the consumption of fuel and energy resources, saving natural raw materials), it is advisable to use biofuel boilers: sunflower husk and fuel briquettes produced from biomass of sunflower, soybean, rapeseed and wood stalks [34]. The most effective areas of waste use are the production of technological chips for the manufacture of wood-based panels from shredded wood and cellulose, as well as the use of illiquid wood and waste as fuel [35].

In the production of fuel briquettes and pellets, the technological process includes a number of operations: crushing of illiquid wood and wood waste (small-sized meter, slab, slats, etc.); sorting of raw materials (wood chips, shavings, veneer); primary grinding of raw materials into particles ranging in size from 0.5 to 50 mm; drying of particles to a technological humidity of 10–12 %; secondary grinding; briquetting (granulation) [36]. Sawdust and bark are now widely used in factories as fuel. Surplus sawdust is sold to companies producing pellets, briquettes, particle boards and MDF boards. One of the stable trends is the creation of pellet production at the sawmills themselves [37]. So, in Russia the production of pellets works at the enterprises Stora Enso (Setlehs and Setnovo), Sawmill 25, Trans-Siberian forest company, Woodworking company "Yenisei", etc. Many enterprises plan to organize the production of pellets or briquettes [38].

SWOT analysis for wood processing processes in a woodworking plant. In order to function successfully in the long term, an organization must know its strengths and weaknesses, be able to predict what difficulties may arise in its path in the future and what new opportunities may open up for it. Table 1.

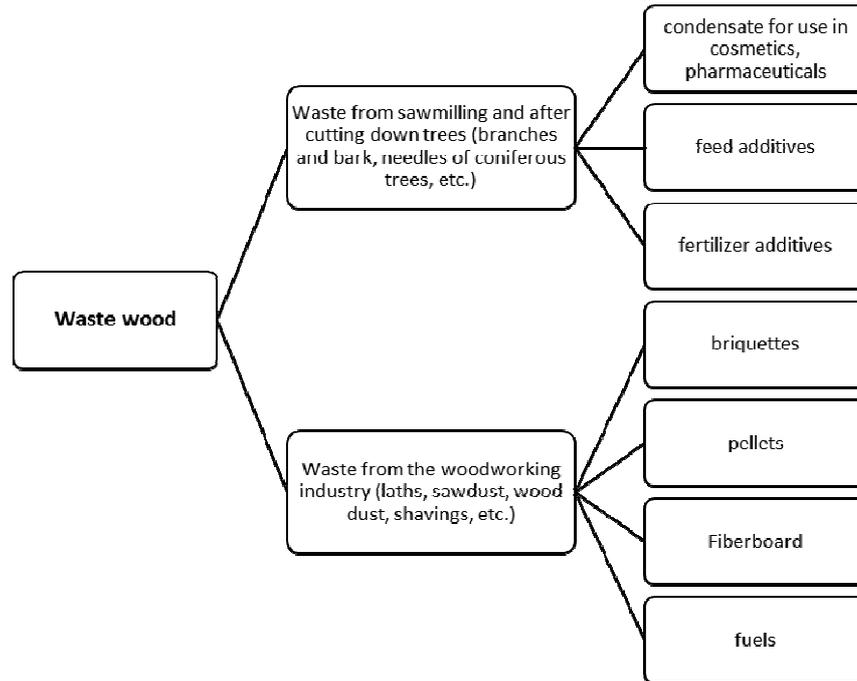


Fig. 6. Use of wood waste (compiled by the authors).

Table 1

SWOT analysis of the possibility of wood waste processing at a timber processing plant [39]

STRENGTHS	WEAKNESS
<ul style="list-style-type: none"> – Availability of qualified personnel – Convenient location of the plant, proximity to highways – Availability of suppliers and consumers – Availability of all communications 	<ul style="list-style-type: none"> – The presence of old equipment – High prices for products – Weak marketing policy – The presence of strong competitors – Lack of government support
OPPORTUNITIES	THREATS
<ul style="list-style-type: none"> – High demand for products from woodworking waste – Application of new technologies for the production of products from waste – Release of quality products – Entering other sales markets – Attracting investors 	<ul style="list-style-type: none"> – Unstable financial situation – Low profitability of the plant – Threat of bankruptcy

CONCLUSIONS

1. In the Russian Federation, one fifth of the total felling area, which is 540 million m³, is used for deforestation. The total forest growth is about 800 million m³ per year.
2. The most stable demand is for deciduous (oak, beech, birch, aspen, linden) and coniferous (spruce, pine, larch) tree species. The main forest-forming species in Russia is larch, but it is difficult to process because of the high density, strength, hardness and resinousness of the tree. It also has a high tendency to crack when sawing.
3. Coniferous wood, depending on the shortcomings, is divided into selected, first, second, third and fourth grade. The last – fourth grade is low-quality wood, which is used for the production of containers or packaging materials.
4. In forestry and woodworking, waste can be both whole trees and their separate parts, it depends on the purposes for which the felling is performed. Logging waste is bark, twigs, branches, etc. Industrial waste - shavings, sawdust, dust, etc.
5. Only 20 % of wood processing waste is recycled. The rest are disposed of by incineration in clearings or taken to landfills. Reducing wood losses by only 1.0 % will save 7–8 thousand hectares of forest plantations from felling, as well as save labor, material and financial resources.
6. Wood waste can be used as a raw material for the production of hydrolytic alcohol, rosin, technological chips, the needs of pharmacology, the production of soap and tannins for the leather industry, in agriculture as fertilizers for heavy soils, bedding for animals, in the heat power industry – for production briquettes and pellets.
7. For the successful functioning of a wood processing enterprise, a SWOT analysis is proposed, which identifies the strengths, weaknesses, as well as threats and opportunities for wood waste processing in the Russian Federation.

References

1. *Order of the Government of the Russian Federation of September 20, 2018 No. 1989-r* (2018)
2. FAO. *The Forest Sector Development Forecast Of The Russian Federation Until 2030*, 96 p. (2012)
3. Medvedev S. O. *Organizational and economic mechanism for managing the processing of wood resources at the enterprises of the timber industry*, p. 170 (PhD Dissertation Economic Sciences Siberian state technol. University, Krasnoyarsk, 2014)
4. Malkov P. V. *Russia in numbers. 2019: Brief statistics collection*, 549 p. (Rosstat-M., Moscow, 2019)
5. *State Report "On The State And On Environmental Protection Of The Russian Federation In 2017"* p. 214–219 (2017)
6. Gerasimov Yu. Yu., Senkin V. A., Vyataynen K. Productivity of harvesters in clercutting. *Res. and Tech.* **9** (2), 82 (2012).
7. *The strategy for the development of the Russian Federation forestry complex until 2030*, 101 p. (2018)
8. *GOST 8486-86 Softwood lumber*. Specifications (with Amendments N 1, 2)
9. *Overview of the timber industry complex of Russia for 2018*, 44 p. (Association of Paper Industry Professionals, Moscow, 2018)
10. Lednitsky A. V. *Ecological and economic efficiency of using wood fuel for generating heat energy*. (Diss. Belarusian State Technological University, 2003).
11. *Forestry in Russia: overview at the beginning of 2017*. e-print arXiv: <https://proderevo.net/industries/forestry/lesnoe-khozyajstvo-rossii-obzor-na-nachalo-2017-goda.html> (2018)

12. *Brief description of the main tree species and their application.* e-print arXiv: <https://ru-stroyka.com/derevohouse/2751-kratkaya-harakteristika-osnovnyh-porod-derevev-i-ih-primenenie.html> (2021)
13. *The sectoral structure of the timber industry complex.* e-print arXiv: <http://www.formergeographer.ru/forahs-984-1.html> (2010)
14. Dmitriyev D. Timber industry complex of Russia: yesterday, today, tomorrow. *LesPromInform* **6 (37)** (2006)
15. *Mechanical wood processing* e-print arXiv: <http://www.stroitelstvo-new.ru/modelnoe-delo/mehanicheskaya-obrabotka-drevesiny.shtml> (2021)
16. Gordon L. V., Skvortsov S. O., and Lisov V. I. *Technology and equipment for wood-chemical production: textbook.* 5th ed., Revised. Timber industry (1988).
17. *Pulp and paper industry: what is it?* e-print arXiv: <https://programlesprom.ru/cellyulozno-bumazhnaya-promyshlennost> (2021)
18. Vasiliev V. S. *Secondary material resources of the timber and woodworking industry.* Education and use. (M.: Economics, 1983).
19. The result of 60 years of experience in unique geographical plantings of larch. *Scientific notes of the Petrozavodsk state university*, **8 (169)**, 44 (2017)
20. Bezrukova T. L., Pavlyukov A. V., Antipov N. V. Forest Industry of Russia. The Importance of Forest In The Economy. *Proceedings of the VI International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum"* (2014).
21. Kolesnikova A. V. An Approach to Estimating the Volume of Wood Waste Generation in the Russian Federation. *Scientific Bulletin of Moscow State Mining University*, **11**, 75 (2013)
22. *Manual on Allocation and Taxation of Cutting Areas in the Forests of the Russian Federation.* e-print arXiv: <http://docs.cntd.ru/document/9013525> (Moscow, 1993)
23. *Types of processing of wood raw materials* e-print arXiv: <http://wood-prom.ru/clauses/derevoobrabotka/vidy-pererabotki> (2021)
24. *Wood processing: technology and necessary equipment (electronic resource)* e-print arXiv: <https://businessman.ru/new-pererabotka-drevesiny.html> (2021)
25. Kislitsyna S. N., and Shitova I. Yu. Methods For Wood Processing Industry Waste Processing. Study guide in the area of training 35.03.02 "Technology of logging and wood processing industries" (2016).
26. Kolesnikova A. V. Analysis of the formation and use of wood waste at the enterprises of the timber industry complex in Russia. *Topical issues of economic sciences*, **33** (2013).
27. *Forestry waste* e-print arXiv: <http://leshozka.ru/249-othody-lesoproizvodstva.html> (2021)
28. Piskunov M. A. Regularities of the formation of logging waste at logging sites, *Vestnik MGUL - Lesnoy Vestnik*, **1 (93)** (2013).
29. *IEA Sustainable Production of Second-Generation Biofuels*, (IEA, Paris, 2010).
30. *Waste woodworking* e-print arXiv: http://wood-prom.ru/analitika/15274_otkhody-derevoobrabotki (2017).
31. *Collection of specific indicators of production and consumption waste generation.* - Approved. deputy. Chairman of the State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection (1999).
32. Tyukavina O. N., Klevtsov D. N., Bolotov I. N., Filippov B. Yu., Adai D. M. Biological productivity of cultivated Scots pine in the northern taiga forest region, *Izvestiya VUZov. Forest Journal*, **6 (366)** (2018)
33. Sukhanov Yu. V. A system for modeling logging taking into account the needs of bioenergy. *Vestnik MGUL - Lesnoy Vestnik*, **1 (93)** (2013)
34. Leontyev L. L. *Sawmills: quality and quantity assessment.* 336 p. (SPb., publishing house "Lan", (2010)
35. Zhuravleva L. N., Devyatlovskaya A. N. The main directions of using wood waste. *Actual problems of the forestry complex*, **18** (2007).
36. Karmanov V. V., Valko N. I. Technology and equipment for processing plant biomass waste to obtain fuel briquettes, pellets and pellets. *Bulletin of the Kherson National Technical University.* No. 1 (52) (2015)
37. Ershov S. V. "Using the linear programming method to improve the efficiency of pellet production from wood waste." *Manager*, **4 (56)** (2015).
38. Rukomoinikov K. P., Anisimov S. E. Substantiation of effective ways of using wood waste resources on the example of municipalities of the Komi Republic. *MGUL Bulletin - Forest Bulletin*, **2 (94)** (2013).
39. Seleznev N.S. Regional problems of the development of the forest industry in the Republic of Buryatia, *PSE*, **4** (2012)

Алексеевко А. А. Переработка древесины лесоперерабатывающего комплекса России и ее отходов во вторичные продукты / А. А. Алексеевко, Д. В. Шушпанова // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология, химия. – 2021. – Т. 7 (73), №2. – С. 3–13.

При обработке древесины образуются сопутствующие отходы, следовательно, существует потребность переработки таких отходов во вторичные продукты с целью их дальнейшего использования. Целью данного исследования является анализ возможных вариантов переработки древесины лесопромышленного комплекса России и ее отходов во вторичные продукты. Для вырубке леса используется пятая часть от общего объема лесосеки. Наиболее используемая для обработки в России порода – лиственница. В лесном хозяйстве и деревообработке отходами могут быть как целые деревья, так и их отдельные части – это зависит от целей, для которых выполняется рубка леса. Перерабатывается только 20 % отходов лесопереработки. Остальные утилизируют сжиганием на вырубках или отвозят на свалки. Древесные отходы могут быть использованы как сырье для производства гидролизного спирта, канифоли, технологической щепы, нужд фармакологии, производства мыла и дубильных веществ для кожевенной промышленности, в сельском хозяйстве в качестве удобрений для тяжелых почв, подстилки для животных, в теплоэнергетике – для производства брикетов и пеллет. Для оценки возможности переработки древесных отходов Российской Федерации также предложен SWOT-анализ, который показывает сильные и слабые стороны переработки, а также выявляет риски функционирования деревообрабатывающего предприятия в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: переработка древесины, побочные продукты производства, лесоперерабатывающий комплекс, вторичные продукты, хвоя, лесопилка.

УДК 796.077.012.1:572

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА СПОРТСМЕНОВ РАЗНЫХ ВИДОВ СПОРТИВНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

Герасимчук В. Н., Архангельская Е. В., Черный С. В., Туманянц К. Н.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: modul81@mail.ru*

Изучена сравнительная характеристика морфофункциональных качеств студентов – спортсменов, специализирующихся в боксе, баскетболе и рекреационном туризме. Исследовали антропометрические характеристики и уровень функционального состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем обучающихся, занимающихся разными видами спорта. Исходя из полученных данных, в процессе регулярного и интенсивного занятия специфическими физическими нагрузками в организме спортсменов происходят адекватные изменения, которые ведут к формированию морфофункциональных показателей и качеств, характерных для определенного вида спорта.

Ключевые слова: спортивная антропология, антропометрия, функциональные тесты, соматотип спортсмена.

ВВЕДЕНИЕ

Среди значительного числа конституциональных показателей наибольший интерес представляют морфофункциональные особенности организма спортсменов. Они оказывают влияние на проявление силы, гибкости, скорости, выносливости, работоспособность и адаптацию организма к различным условиям внешней среды, на скорость восстановления после физических и психических напряжений. Для каждого вида спорта характерен определенный комплекс морфофункциональных признаков, особенно ярко проявляющихся на уровне спортсменов высокого класса [1]. Изучение морфометрического состава тела спортсменов позволяет более полно охарактеризовать и оценить режим их деятельности, динамику восстановительных процессов и степень физической работоспособности, особенно в видах спорта с градацией по весовым категориям [2].

При индивидуальной оценке физического развития спортсменов необходимо учитывать их спортивную специализацию и квалификацию. Сравнить тотальные размеры (длина тела, вес тела, грудной периметр) или парциальные (длина конечностей, длина их сегментов) можно только с аналогичными средними величинами той или иной группы, к которой относится спортсмен [3].

Изучение морфотипических особенностей спортсменов представляет практический интерес для тренеров в отношении отбора и спортивной ориентации. Антропометрические особенности накладывают свой отпечаток на уровень функциональных возможностей (эффективность основных функциональных систем,

принимающих участие в специфической для спортсмена физической работе), что тоже представляет не малый интерес для анализа и коррекции тренирующих воздействий.

Актуальность проблемы связана с тем, что особенности конституции человека привлекают пристальное внимание исследователей при изучении факторов успешности деятельности в спорте. В спортивной антропологии данные могут быть собраны в продолжительных динамических и статических исследованиях морфологических особенностей атлетов соответствующей квалификации. В мировой научной литературе накоплен обширный материал по данной проблеме, но современный уровень спортивных достижений ставит новые задачи в подготовке к высоким спортивным достижениям, с учетом генетических, этнических, экологических факторов [4].

Цель данной работы – сравнительная характеристика морфофункциональных качеств обучающихся занимающихся боксом, баскетболом и рекреационным туризмом, имеющих высокую спортивную квалификацию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основная часть исследования проходила на базе факультета Физической культуры и Спорта Таврической Академии Крымского Федерального Университета им. В. И. Вернадского и спортклуба «Таврия», г. Симферополя в период октябрь–ноябрь 2020 г. В обследовании принимали участие обучающиеся со спортивной специализацией и высокой квалификацией – 10 боксеров, 10 баскетболистов, 10 спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, в возрасте 18–21 лет. Исследование проводилось на тренировочном этапе спортивной деятельности.

У всех обследуемых были произведены замеры таких антропометрических данных, как рост, вес, длина туловища, длина верхних конечностей, длина нижних конечностей, обхват плеча, обхват шеи, обхват грудной клетки, расчет индекса крепости телосложения Пинье. [5].

Также были произведены замеры функционального состояния исследуемых, по таким показателям как частота сердечных сокращений (ЧСС) до и после нагрузки, дыхательной системы по показателям жизненной емкости легких (ЖЕЛ), пробы Штанге (задержка дыхания после вдоха) и частоты дыхания (ЧД) до и после нагрузки.

В качестве нагрузочного теста предлагалось выполнить 20 глубоких приседаний за 30 сек.

Полученные данные обрабатывались с помощью стандартных методов вариационной статистики. В качестве мер центральных тенденций, иллюстрирующих выраженность анализируемых признаков, применяли значение среднего и стандартной ошибки среднего. Перед выбором методов статистического анализа была произведена их проверка на нормальность распределения с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Учитывая, что часть данных имела распределение отличное от нормального, для дальнейшего анализа использовались непараметрические методы статистического анализа. Для выявления межгрупповых различий использовали критерий Манна-Уитни.

Значения среднего и стандартной ошибки среднего были выбраны как наиболее показательные в иллюстративном плане, являющиеся наиболее понятными для восприятия представленного материала.

Статистический анализ производился с помощью пакета STATISTICA 8.0 [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Исследование антропометрических показателей со спортивной специализацией – боксеров, баскетболистов, спортивных туристов.

Наиболее приемлемыми для отбора спортсменов, специализирующихся в разных видах спорта, являются морфологические и функциональные показатели. Существует взаимосвязь особенностей телосложения с выбором спортивной деятельности. Однако,

различные соотношения между морфологическими признаками и спортивной специализацией определяют физическую дееспособность спортсмена гораздо в большей степени, чем функциональные тесты. Наши исследования показали, что при влиянии специфической физической нагрузки спортсмены-боксеры, баскетболисты, туристы по своим морфологическим характеристикам различались (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1.
Антропометрические показатели в группах спортсменов-баскетболистов и боксеров

Антропометрические показатели	Баскетболисты $X \pm Sx$	Боксеры $X \pm Sx$	p
Возраст (год)	19,40±0,37	19,60±0,54	p>0,05
Рост (см)	187,00±1,54	177,90±2,36**	p<0,001
Вес (кг)	79,00±1,45	73,10±4,30*	p<0,05
Длина туловища (см)	59,20±0,99	57,10±1,47	p>0,05
Длина верхних конечностей (см)	82,80±1,29	78,30±1,46*	P<0,05
Длина нижних конечностей (см)	105,30±1,47	99,40±1,15**	p<0,001
Обхват плеча (см)	32,40±0,40	35,50±1,09*	p<0,05
Обхват шеи (см)	37,50±0,62	38,80±0,87	p>0,05
Обхват грудной клетки в покое (см)	91,90±1,08	94,60±2,45	p>0,05
Индекс Пинье (усл. ед.)	16,50±1,62	15,00±2,27	p>0,05

Примечание: Показаны значения среднего (X) и стандартной ошибки среднего (Sx). Различия достоверны по критерию Манна-Уитни.

Из представленных данных видно, что в группе спортсменов-баскетболистов также наблюдаются высокие значения показателей роста, веса, длины туловища и длины конечностей, нежели в группе спортсменов, занимающихся спортивным

туризмом. На первый взгляд, подобные различия могут быть описаны как специфически функциональные, однако в литературе встречаются упоминания о том, что спортсмены, занимающиеся спортивным туризмом, зачастую отличаются достаточно высоким ростом и длиной конечностей.

В представленных таблицах отмечены достоверные отличия по антропологическим показателям между разными группами спортсменов.

В свою очередь, в группе спортсменов-боксеров наблюдались большие значения обхвата плеча. Последнее, на наш взгляд, обусловлено меньшими значениями длины верхних конечностей у спортсменов-боксеров, однако при условии, что у спортсменов-баскетболистов отмечались большие значения веса тела. Мы предполагаем, что специфическая физическая нагрузка, характерная для спортсменов-боксеров, приводит к гипертрофии мышц плеча, приводя, тем самым, к увеличению показателей анатомического поперечника указанных групп мышц.

Таблица 2.

Различия антропометрических показателей в группах спортсменов-баскетболистов и спортсменов-спортивных туристов

Антропометрические показатели	Баскетболисты X±Sx	Спортивный туризм X±Sx	p
Возраст (год)	19,40±0,37	19,90±0,23	p>0,05
Рост (см)	187,00±1,54	172,40±2,38***	p<0,001
Вес (кг)	79,00±1,45	67,50±3,00**	P<0,001
Длина туловища (см)	59,20±0,99	49,70±1,62***	p<0,001
Длина верхних конечностей (см)	82,80±1,29	77,00±1,16**	P<0,001
Длина нижних конечностей (см)	105,30±1,47	99,30±1,59*	P<0,05
Обхват плеча (см)	32,40±0,40	32,60±1,02	p>0,05
Обхват шеи (см)	37,50±0,62	37,70±1,03	p>0,05
Обхват грудной клетки в покое (см)	91,90±1,08	89,90±1,96	p>0,05
Индекс Пинье (усл. ед.)	16,50±1,62	14,40±3,02	p>0,05

Примечание: Обозначения такие же, как в таблице 1.

Однако следует отметить, что эти особенности были описаны в основном для спортсменов, специализирующихся на пешеходном туризме. Исследуемая же нами группа специализировалась не только на пешеходном туризме, но и на таких составляющих спортивного туризма, как альпинизм и спелеология. Кроме того, следует отметить, что при более низких показателях роста, веса и длины конечностей группы не имели статистических различий в обхватных размерах тела. Таким образом, описанные специфические антропометрические особенности спортсменов рассматриваемых групп характеризуют особенности физического

развития, характерные для баскетбола и спортивного туризма. Следует отметить, что научных работ, направленных на исследование антропометрических характеристик спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, в отличие от спортсменов-баскетболистов, практически нет.

Таблица 3.
Различия антропометрических показателей в группах спортсменов- боксеров и спортсменов- спортивных туристов

Антропометрические показатели	Боксеры X±Sx	Спортивный туризм X±Sx	p
Возраст (год)	19,60±0,54	19,90±0,23	p>0,05
Рост (см)	177,90±2,36	172,40±2,38	p>0,05
Вес (кг)	73,10±4,30	67,50±3,00	p>0,05
Длина туловища (см)	57,10±1,47	49,70±1,62**	p<0,001
Длина верхних конечностей (см)	78,30±1,46	77,00±1,16	p>0,05
Длина нижних конечностей (см)	99,40±1,15	99,30±1,59	p>0,5
Обхват плеча (см)	35,50±1,09	32,60±1,02	p>0,05
Обхват шеи (см)	38,80±0,87	37,70±1,03	p>0,5
Обхват грудной клетки в покое (см)	94,60±2,45	89,90±1,96	p>0,05
Индекс Пинье (усл. ед.)	15,00±2,27	14,40±3,02	p>0,5

Примечание: Обозначения такие же, как в таблице 1.

Из таблицы видно, что единственным статистически значимым различием в антропометрических показателях между исследуемыми группами был показатель длины туловища, большие средние значения которого отмечены в группе спортсменов-боксеров. Однако следует отметить отсутствие различий в иных антропометрических показателях, что свидетельствует о специфическом соматотипе спортсменов, занимающихся спортивным туризмом. Мы предполагаем, что данные различия связаны со специфической физической нагрузкой, которую испытывают спортсмены-спортивные туристы. Эти особенности, скорее всего, связаны как с сочетанной, неспецифической нагрузкой на отдельные группы мышц, так и с особенностями двигательных способностей – частым переходом между аэробным и анаэробным окислением, нерегулярными и неконтролируемыми изотоническими нагрузками, ситуациями вынужденного нахождения в безопорном пространстве и пр. Таким образом, можно предположить, что описанный нами соматотип спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, определяет, возможно, более высокий уровень их спортивных достижений.

2. Исследование показателей функционального состояния респираторной системы боксеров, баскетболистов и туристов

Наши исследования функциональных характеристик, также выявили различия у

спортсменов данных групп.

Наиболее достоверные различия по функциональным показателям такие: Жизненная емкость легких (ЖЕЛ), частота дыхания (ЧД) до и после нагрузки, частота сердечных сокращений (ЧСС) в покое. Жизненная емкость легких у туристов $4,24 \pm 0,21$, у боксеров в среднем составила $4,2 \pm 0,2$ л, а показатели баскетболистов значительно выше – $4,8 \pm 0,18$ л. (рис. 1).

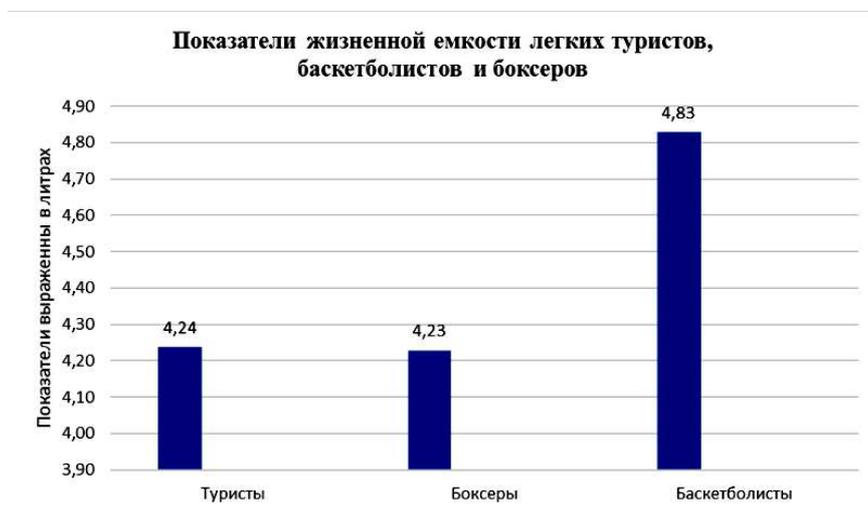


Рис. 1. Показатели жизненной емкости легких спортсменов-туристов, баскетболистов и боксеров.

Данный факт объясняется тем, что исходя из специфики баскетбола, соревновательная деятельность спортсменов предполагает более интенсивное и длительное выполнение физической активности на протяжении всего соревновательного процесса, что в свою очередь требует большого объема кислорода.

Показатели частоты дыхания (ЧД) до и после нагрузки, что показано на рисунке 2, в группе спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, составили в среднем: до нагрузки $12,5 \pm 0,87$ вдохов, а после нагрузки $15,2 \pm 0,92$ вдохов.

В группе спортсменов, занимающихся боксом, значения данного показателя составили в среднем: до нагрузки $15,4 \pm 1,5$ вдохов, после нагрузки $21,1 \pm 1,2$ вдохов. В группе спортсменов-баскетболистов данный показатель имел следующие значения: до нагрузки $20 \pm 0,9$ вдохов, после нагрузки $30 \pm 1,1$ вдохов. Значения данных показателей как мы считаем, связаны с разными типами нагрузок и интенсивностью их выполнения в спортивном туризме, боксе и баскетболе.

Как известно, спортсменам-баскетболистам присуща аэробная выносливость (выполнения нагрузки за более длительный временной промежуток), а в боксе приоритет скоростно-силовой выносливости (интенсивная нагрузка, выполненная в короткий промежуток времени, с возможностью отдыха). В то же время, для спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, специфическим является то,

что они выполняют работу в течение длительного промежутка времени, в течение которого необходима равномерность движений и сочетание ритма ходьбы и дыхания.



Рис. 2. Частота дыхания спортсменов-туристов, баскетболистов и боксеров в состоянии покоя и после нагрузки.

Показатель ЧСС в покое в группе спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, составил $75,3 \pm 4,4$ уд. мин., в группе спортсменов-боксеров $69,1 \pm 3,8$ уд. мин., и в группе спортсменов-баскетболистов $77,1 \pm 3,5$ уд. мин. (рис. 3).

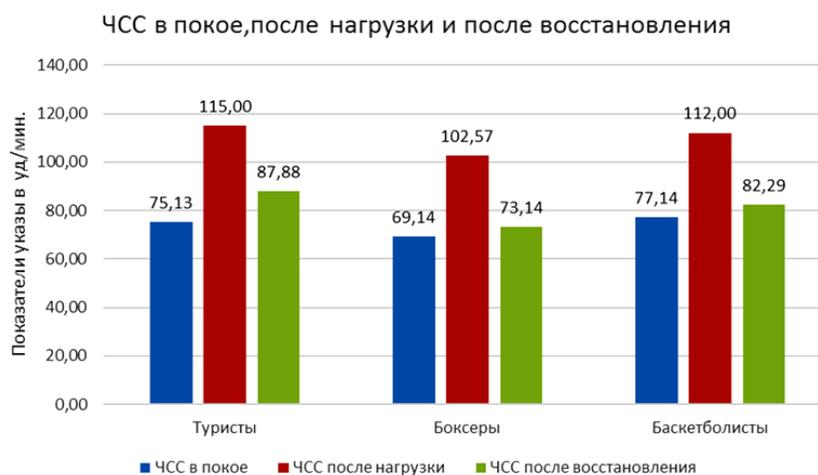


Рис. 3. ЧСС спортсменов-туристов, баскетболистов и боксеров в состоянии покоя.

Мы видим, что у боксеров относительно невысокие показатели ЧСС в состоянии покоя, в то время как в группе спортсменов-баскетболистов эти показатели были значимо больше. При этом следует отметить, что для спортсменов обеих групп характерна достаточно интенсивная физическая нагрузка. Для спортсменов-баскетболистов данная нагрузка является более продолжительной во времени. Разница в значениях ЧСС возможно объясняется более высокими значениями роста спортсменов-баскетболистов (см. таблицы 1, 2). Исходя из указанных антропометрических особенностей, общая длина кровеносных сосудов и круг кровообращения у спортсменов-баскетболистов будет, соответственно, больше, и в данном случае стабильность гемодинамических показателей поддерживается за счет увеличения ЧСС [7].

Что касается группы спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, то для них на тренировочном этапе не выполняются нагрузки чрезмерной интенсивности, поскольку особенности мышечной работы и, соответственно, особенности метаболизма могут, в данном случае, приводить к функциональной гипертрофии. Также показатели, представленные на рисунке 3, характеризуют то, что для групп спортсменов-боксеров и баскетболистов характерно более быстрое восстановление, чем в группе спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, что, несомненно, связано со спецификой физической нагрузки. [8]

Таким образом, достаточно приемлемыми для отбора в данных видах спорта из биологических критериев являются морфологические и функциональные показатели. По многим литературным источникам доказана взаимосвязь телосложения спортсмена с выбором спортивного направления. Любая спортивная деятельность для ее успешного осуществления требует определенного совокупного соответствия не только габаритного, но компонентного и пропорционального уровней варьирования [9].

Есть виды спорта, занятия которыми откладывают такой отпечаток на его внешний вид, что невозможно не определить специализацию. Существенные изменения под влиянием тренировки наблюдаются не только в мышечной, но и в костной системе. Костная система чутко реагирует на изменение внешних воздействий перестройкой своей внутренней архитектуры [10].

Уровень спортивных достижений диктует необходимость изучения и оценки среди множества показателей индивидуальных особенностей организма спортсменов – антропометрические показатели. Они оказывают влияние на проявление силы, скорости, выносливости, гибкости, адаптацию к различным условиям внешней среды, работоспособность, восстановление и спортивные достижения.

С помощью двигательной деятельности, организованной в форме физических упражнений, можно в широком диапазоне изменять функциональное состояние организма, направлено регулировать его адаптацию и, тем самым, вызывать прогрессивные приспособительные изменения в ведущих системах и качественным изменениям функциональных возможностей организма [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для спортсменов-баскетболистов более характерны значения продольных размеров тела и соответственно относительно высокие функциональные показатели дыхательной и сердечно-сосудистой систем.
2. Для спортсменов, занимающихся боксом, характерными являются большие значения обхватных показателей тела. Показатели, характеризующие функциональное состояние дыхательной и сердечно-сосудистой систем, свидетельствуют о высоком уровне их адаптации к физическим нагрузкам.
3. Для спортсменов, занимающихся спортивным туризмом, в отличие от спортсменов ранее указанных групп, характерным является относительно пропорциональные размеры туловища, конечностей, что свидетельствует о более гармоничном телосложении. Функциональные характеристики дыхательной и сердечно-сосудистой систем у спортсменов на хорошем уровне, что определяется спецификой спортивного туризма.
4. Анализируя литературные исследования и собственные данные можно сделать вывод, что в процессе регулярного и интенсивного занятия физическими нагрузками в организме спортсменов происходят адекватные изменения, которые ведут к формированию специфических морфофункциональных качеств, характерных для определенного вида спорта, необходимые для достижения высоких результатов.

Список литературы

1. Романенко В. А. Двигательные способности человека / В. А. Романенко – Донецк: ДонНУ, 2005. – 290 с.
2. Иваницкий, М. Ф. Анатомия человека (с основами динамической и спортивной морфологии): учебник / М. Ф. Иваницкий. – Изд. 13-е. – М.: Спорт, 2016. – 624 с.
3. Мартиросов Э. Г. Телосложение и спорт / Э. Г. Мартиросов – М.: ФиС, 1996. – 239 с.
4. Дорохов Р. Н. Спортивная морфология / Р. Н. Дорохов, В. П. Губа. – М.: СпортАкадемПресс, 2002. – 236 с.
5. Архангельская Е. В. Антропометрические и функциональные качества спортсменов, занимающихся боксом и баскетболом / Е. В. Архангельская, В. Н. Герасимчук, С. В. Черный, К. Н. Туманянц // Ученые записки КФУ им. В. И. Вернадского. Биология, Химия. – 2019. – Т. 5 (71), №1 – С. 3–12.
6. Боровиков В. Н. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере / В. Н. Боровиков. – М.: СпортНаука 2003 г. – 688 с.
7. Уилмор Д. Х. Физиология спорта и двигательной активности / Д. Х. Уилмор – М.: Олимпийская литература, 1997. – 503 с.
8. Колесов А. И. Соревновательная деятельность и подготовка спортсменов высшей квалификации в различных природно-географических условиях / А. И. Колесов, Н. А. Ленц, Е. А. Разумовский. – М.: Физкультура и спорта, 2003. – 292 с.
9. Бартонян Е. О. Баскетбол для всех / Е. О. Бартонян – М.: Астра семь, 1997. – 159 с.
10. Давиденко Д. Н. Физиологические резервы работоспособности / Д. Н. Давиденко, А. С. Мозжухин, О. В. Вашук, В. В. Телегин // Характеристика функциональных резервов спортсмена. – 2010. – № 5. – С. 11–17.
11. Гаськов А. В. Факторная структура тренировочных средств квалифицированных боксеров на разных этапах подготовки / А. В. Гаськов. – Ростов: Теория и практика физической культуры, 2000. – 215 с.

12. Филимонов В. И. Бокс (спортивно-техническая и физическая подготовка) / В. И. Филимонов – М., ИНСАН, 2000. – 429 с.
13. Архангельская Е. В. Морфофункциональные характеристики спортсменов / Е. В. Архангельская, Н. С. Ярмолюк, В. Н. Герасимчук // V международный научный конгресс «Проблемы физкультурного образования: концептуальные основы и научные инновации» – Симферополь, 28–30 мая 2018 г. – С. 154–156.

MORPHOFING QUALITIES OF ATHLETES OF DIFFERENT TYPES OF SPORT SPECIALIZATION

Gerasimchuk V. N., Arkhangelskaya E. V., Chernyi S. V., Tumanyants K. N.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: modul81@mail.ru*

The comparative characteristics of morphofunctional qualities of students - athletes specializing in boxing, basketball and sports tourism are studied. Anthropometric characteristics and functional state of cardiovascular and respiratory systems of athletes specializing in various sports were investigated.

The experimental part of the work was carried out on the basis of the Faculty of Physical Culture and Sport of the Crimean Federal University and the Tauric Academy M. Mr. Simferopol, V. I. Vernadsky, October-November 2020. Anthropometric characteristics were analysed for all subjects: weight, height, length of torso, length of upper and lower limbs, shoulder girth (biceps and triceps), girth of neck, girth of chest, index of Pinnier fortress (y.). Level of functional state of cardiovascular system in terms of rate of cardiac contractions (CPC), respiratory system in terms of life capacity of lungs (CL), Stange samples (respiration after inhalation, sec) and respiratory rate (CND, number of inhalation). The proposed load test was 20.

The level of sporting achievement calls for the study and evaluation of anthropometry among the many indicators of individual fitness of athletes. They have an impact on strength, speed, endurance, flexibility, adaptability to different environments, performance, recovery and sporting achievement.

On the basis of the data obtained, we can conclude that during the regular and intensive exercise of physical activity in the body of athletes adequate changes are taking place which lead to the formation of specific morphofunctional qualities, characteristic of a particular sport and for achieving high results.

Keywords: Sports anthropometry, functional tests, somatotype athlete.

References

1. Romanenko V. A. *Movement of a person*. (Donetsk. DonNU, 2005).
2. Ivanitsky M. F. *Human Anatomy* (with the basics of dynamic and sports morphology): tutorial (M.: Sport, 2016).
3. Martirosov E. G. *Body and sport* (M.: Phis, 1996).
4. Dorokhov R. N., Guba V. P. *Sports morphology* (Moscow: Sportakadem Press, 2002).

5. Arkhangelsk E. V., Gerasimchuk V. N., Chernyi S. V., Tumanyants K. N. Anthropometric and functional quality of athletes of different types of specializations, *Scientific Notes of Taurida V. I. Vernadsky National University, Series: Biology, chemistry*, **5 (71), 1, 3** (2019).
6. Borovikov V. *Statistica. The art of analyzing data on a computer* (Peter publishing house, 2003 2nd ed).
7. Wilmore D. H. *Physiology of sport and motor activity* (M.: Olympic literature, 1997).
8. Kolykov A. I., Lenz N. A., Razumovsky E. A Competitive activity and preparation of top qualified athletes in various natural and geographical conditions, *Physical education and sports* (2003).
9. Bartonian E. O. *Basketball for All* (M.: Astra 7, 1997).
10. Davidenko D. N., Mozyukhin A. S., Vaschuk O. V., Telegin V. V. Physiological reserves of working capacity, *Characteristics of functional reserves of spores tsmena*, 5 (2010).
11. Gaskov A. V. *Factor structure of training facilities of qualified boxers at different stages of training* (Rostov: Theory and practice of physical culture, 2000).
12. Filimonov V. I. *Box (Sports-technical and physical training)* (M., INSAN, 2000).
13. Arkhangelskaya E. V., Yarmolyuk N. S., Gerasimchuk V. N. *Morphofunctional characteristics of athletes*, V International Scientific Congress «Problems of physical culture education: conceptual bases and scientific innovations» (Simferopol, 28-30 May 2018).

УДК 612.821, 159.923, 616.12-008.318

ИНТЕГРАЦИЯ ВЕГЕТАТИВНЫХ, ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И ЛИЧНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ У ЮНОШЕЙ И ДЕВУШЕК РАЗНОГО УРОВНЯ КРЕАТИВНОСТИ

Головин М. С., Козлова А. П.

*Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия
E-mail: golovin593@mail.ru*

Изучены механизмы вегетативной регуляции сердечного ритма, уровень креативности, психофизиологические и личностные показатели обучающихся 16–17 лет обоего пола. Изучались изменения межсистемных функциональных связей между вегетативными, психофизиологическими, психоэмоциональными показателями, а также образной креативностью. В группе юношей показатель беглости был значимо выше, чем у девушек. Однако в группе девушек установлены более высокие значения сопротивления замыканию и образной креативности. У девушек выявлено меньшее напряжение механизмов регуляции, что может свидетельствовать о меньшей «цене» адаптации к учебным нагрузкам, по сравнению с юношами. В группе девушек корреляционные связи установлены между психоэмоциональными показателями и образной креативностью, больше связей выявлено между показателями вариабельности сердечного ритма и другими системами.

Ключевые слова: креативность, вариабельность ритма сердца, психофизиология, личностные особенности, межсистемная интеграция.

ВВЕДЕНИЕ

Креативность – это базовый ресурс цивилизации. В современном мире происходит активный поиск интеллектуально инициативных личностей, способных к творческой деятельности. Изучение огромного числа факторов развития креативности, обеспечение перспектив личностного и творческого роста являются актуальными задачами современного образования и научных исследований [1].

Творческий потенциал является относительно устойчивым и постоянно совершенствуемым конструктом личностной сферы человека, способствующим поиску и реализации оптимальной физиологической, психофизиологической и личностной адаптации. Для теории и практики школьного образования является целесообразным определение физиологических и психологических факторов, вносящих наибольший вклад в развитие творческого потенциала.

Исследование биологических детерминант креативности, определяющих эффективность адаптации обучающихся к условиям образовательной среды, является значимым в сфере профессиональной ориентации, оптимизации учебно-воспитательного процесса и трудовой деятельности, сохранении психосоматического здоровья будущих специалистов [2, 3]. В процессе обучения, наряду с образовательными достижениями, необходимо исследовать «цену»

адаптации обучающихся к учебным, физическим и социальным нагрузкам. Индивидуальные особенности высшей нервной деятельности, вариабельность сердечного ритма и образная креативность также оказывают большое влияние на эффективность процесса адаптации к обучению [4, 5].

При переходе с одного уровня обучения на другой доля творчески развитых обучающихся снижается из-за трудностей при адаптации к новой среде. Одной из причин этого негативного явления является недостаточная диагностика физиологических, психофизиологических и психоэмоциональных особенностей обучающихся при переходе к новому уровню образования.

В литературе практически не встречаются работы, изучающие межсистемную интеграцию разных уровней организации организма обучающихся с разным уровнем креативности. В связи с этим, целью исследования явилось изучение вегетативных, психофизиологических и личностных процессов в организме юношей и девушек разного уровня креативности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения «Средняя общеобразовательная школа №178» Дзержинского района г. Новосибирска.

Обследовано 50 школьников 16–17 лет основной медицинской группы, без отклонений в состоянии здоровья. Получены информированные согласия от родителей детей, в которых они были ознакомлены с целями и содержанием исследования. Методом случайного деления обучающиеся были разделены на две рандомизированные по полу группы.

Оценку психофизиологического статуса школьников проводили с помощью компьютерной программы «Методика комплексной оценки здоровья учащихся общеобразовательных школ» [6]. Результаты исследования психофизиологического состояния обучающихся являются фрагментарной частью комплексного исследования и ранее частично были опубликованы [4, 7], что позволяет детально не описывать их в настоящей работе.

Для исследования уровня образной креативности использована батарея тестов Е. Торренса, состоящая из четырех классических свойств дивергентного мышления: беглость, оригинальность, разработанность и сопротивление замыканию. Креативность является общей способностью, базирующейся на взаимосвязях общего интеллекта, личностных характеристик и способностей к продуктивному мышлению. Интегрально творческий потенциал личности отражается в обобщенном показателе «Образная креативность» и позволяет характеризовать ее качественное своеобразие, определить сильные и слабые стороны [8–11].

Для оценки механизмов вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы применен анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР), являющийся маркером напряжения адаптационных процессов. Использован метод спектрального и временного анализа, вариационная пульсометрия по Р. М. Баевскому [12, 13]. Регистрация электрокардиографического сигнала осуществлялась с помощью АПК

ВНС–Микро (Нейрософт, Россия) в положении лежа на спине (5 мин) во II стандартном отведении.

Полученные в исследовании результаты обработаны методами математической статистики с использованием программного пакета “Microsoft Excel 2010” и “Statistica 10.0 for Windows”. Статистический анализ проводился на основе расчета средних арифметических выборочных совокупностей (M), и их ошибок ($\pm m$). Для выявления значимости различий между контрольной и экспериментальной группой использовали t -критерий Стьюдента (выборки имели нормальное распределение). Достоверными ($p \leq 0,05$) считали различия при уровне значимости 95 % [14].

Для анализа интеграционных процессов и межсистемных взаимосвязей проводился корреляционный анализ показателей. Оценку корреляционной связи (r) между переменными с нормальным распределением проводили с помощью коэффициента корреляции Пирсона. Сила связи считалась умеренной (гибкой) при $0,5 \leq r \leq 0,7$, сильной (жесткой) при $0,7 \leq r \leq 1,0$.

Межсистемная взаимосвязь различных функциональных систем организма может обуславливать изменения активности различных показателей для достижения полезного приспособительного результата (например, изменение одного из показателей влечет за собой изменение другого, и, как правило, приводит или к увеличению, или к снижению общей креативности обучающегося).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из этапов исследования являлась оценка уровня образной креативности у обучающихся старших классов. Показатель беглость отражает способность человека создавать большое количество осмысленных идей. Для определения беглости оценено общее количество всех адекватных ответов. Во всех группах этот показатель соответствовал норме (40–60 баллов) [10], однако достоверно более высокие значения выявлены у юношей.

Показатель оригинальность отражает способность давать необычные, уникальные ответы, требующие «творческой силы» (Дж. Гилфорд). Статистически значимых ответов в обеих группах не выявлено, показатели соответствовали норме.

Показатель разработанность отражает способность детально разрабатывать придуманные идеи (Дж. Гилфорд) и статистически значимо между группами не отличался. Это свидетельствует о равных способностях юношей и девушек развивать, дополнять, дорабатывать возникшие идеи, расширять их границы.

Сопrotивление замыканию отражает способность длительно оставаться открытым новизне и разнообразию идей, откладывая принятие окончательного решения, чтобы совершить мыслительный скачок и создать оригинальные идеи. У девушек установлен более высокий уровень сопротивления замыканию, чем у юношей. Известно, что менее творческие люди имеют тенденцию преждевременно переходить к заключениям без учета всей доступной информации [10].

Интегральный показатель всех выше перечисленных данных – это образная креативность. У девушек данный показатель статистически значимо выше, чем у юношей.

Таблица 1

Показатели образной креативности обучающихся

Показатель	Группы	
	Девушки	Юноши
Беглость, балл	53,8±0,9	58,7±2,7*
Оригинальность, балл	54,5±1,4	53,8±2,2
Разработанность, балл	59,2±1,9	61,8±2,1
Сопrotивление замыканию, балл	63,9±1,8	58,8±2,2*
Образная креативность, балл	57,5±1,2	53,9±1,7*

Примечание: * – различия значимы при $p \leq 0,05$

Методика оценки variability сердечного ритма позволяет изучить вегетативный статус человека, который во многом обуславливает уровень тревожности, концентрацию внимания, памяти и невротизма. Кроме того, многие показатели ВСР через модулирующие системы мозга тесно связаны с психоэмоциональным напряжением, функциональным состоянием коры головного мозга, когнитивными функциями и образной креативностью [15].

В результате исследования установлена тенденция к более высоким значениям среднего квадратичного отклонения (SDNN) и показателя адекватности парасимпатической регуляции (RMSSD) в группе девушек, что может указывать на усиление автономной регуляции и увеличение влияния дыхания на ритм сердца. Диапазон этих значений в большей степени зависит от типа регуляции сердечного ритма и в меньшей степени – от возрастно-половых особенностей [15]. RMSSD отражает активность парасимпатического звена вегетативной регуляции и не содержит медленно-волновых составляющих сердечного ритма. Более высокие значения RMSSD в группе девушек могут свидетельствовать о большей активности парасимпатической регуляции.

Общая мощность спектра (TP) отражает суммарную активность нейрогуморальных влияний на сердечный ритм. У девушек этот показатель статистически значимо выше, чем у юношей, что свидетельствует о большем нейрогуморальном влиянии на сердечный ритм.

При одной и той же суммарной мощности спектра порядок распределения его составляющих (HF, LF, VLF) может быть различным. Показатель HF (дыхательные волны) у девушек статистически значимо выше, чем у юношей. Вагусная активность является основной составляющей высокочастотного компонента спектральной мощности. Снижение этого показателя указывает на смещение вегетативного баланса в сторону преобладания симпатического отдела.

Мощность низкочастотной составляющей спектра (LF) характеризует состояние системы регуляции сосудистого тонуса. Этот процесс контроля сосудистого тонуса с обратной связью на гладкомышечные волокна сосудов осуществляется вазомоторным центром постоянно. В группе девушек показатель LF статистически значимо выше, чем у юношей.

Таблица 2

Показатели вариабельности сердечного ритма обследуемых школьников

Показатель	Девушки	Юноши
Частота сердечных сокращений (ЧСС), уд/мин	76,2±2,2	78,6±3,9
Среднее квадратичное отклонение (SDNN), мс	86,2±5,9	73,5±7,6
Показатель адекватности парасимпатической регуляции (RMSSD), мс	74,9±7,2	62,8±10,2
Амплитуда моды (Амо), %	29,2±2,06	32,9±3,2
Мода (Мо), сек	0,8±0,03	0,7±0,05
Индекс напряжения (ИН), у.е.	58,4±7,6	71,6±17,3
Вариационный размах ВР, сек	0,4±0,02	0,4±0,05
Общая мощность спектра (TP), мс ²	6117±905	3965±717*
Очень низкочастотные волны (VLF), мс ²	1826±337	1364±248*
Низкочастотные волны (LF), мс ²	1768±233	1231±181*
Высокочастотные волны (HF), мс ²	2523±567	1370±380*

Примечание: * – различия значимы при $p < 0,05$

Мощность очень низкочастотной составляющей спектра (VLF), по мнению зарубежных авторов, характеризует активность симпатического отдела вегетативной нервной системы, влияние сложных надсегментарных уровней регуляции, связь с психоэмоциональным напряжением и функциональным состоянием коры головного мозга [15]. VLF волны являются чувствительным индикатором управления процессами метаболизма и хорошо отражают энергодефицитные состояния. В группе девушек показатель VLF существенно больше, чем у юношей. Можно предположить, что у девушек выше активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, которая сочетается с хорошей регуляторной активностью процессов метаболизма и более низкой «ценой» адаптации.

Для оценки структуры межсистемных взаимосвязей между психофизиологическими и психоэмоциональными показателями, параметрами образной креативности, вегетативными механизмами регуляции сердечного ритма, а также для определения адаптивных перестроек был использован метод корреляционного анализа. По мнению многих отечественных и зарубежных исследователей, одним из критериев оценки адаптивных перестроек может быть формирование корреляционных взаимосвязей между показателями на разных уровнях организации организма (физиологическом, психофизиологическом и т.д.) [16, 17].

Согласно представлениям Н. П. Бехтеревой, увеличение количества межсистемных связей способствует более экономичному процессу адаптации к различным воздействиям. Существенное увеличение жестких связей характеризует

улучшение синхронности взаимодействия изучаемых процессов. Это говорит о большей устойчивости представителей данной группы к воздействию эндогенных и экзогенных факторов, но меньшей гибкости при изменяющихся внешних условиях, включая факторы социальной среды [16, 17].

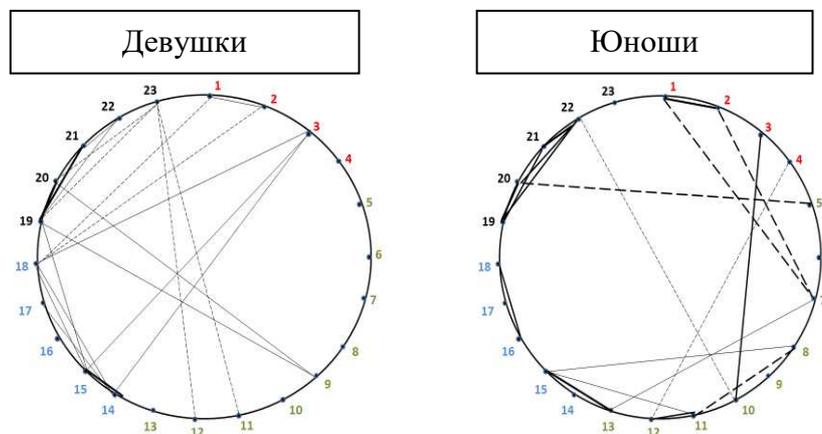


Рис. 1. Корреляционные связи вегетативных, психофизиологических показателей и образной креативности у обследованных

Примечание: 1 – стрессоустойчивость, 2 – невротизм, 3 – мотивация к успеху, 4 – экстраверсия, 5 – уровень смысловой памяти, 6 – уровень механической памяти, 7 – уровень образной памяти, 8 – коэффициент продуктивности нервных процессов, 9 – коэффициент подвижности нервных процессов, 10 – переключение внимания, 11 – ПЗМР, 12 – РДО запаздывания, 13 – РДО опережения, 14 – образная креативность, 15 – разработанность, 16 – оригинальность, 17 – сопротивление замыканию, 18 – беглость, 19 – ТР, 20 – HF, 21 – LF, 22 – VLF, 23 – ЧСС.

Сильная положительная связь $0,7 \leq r \leq 1,0$
 Сильная отрицательная связь $0,7 \leq |r| \leq 1,0$
 Средняя положительная связь $0,5 < r \leq 0,7$
 Средняя отрицательная связь $0,5 < |r| \leq 0,7$

Обследованные группы отличались между собой по общему количеству обнаруженных корреляционных связей. В группе девушек всего выявлено 36 связей (2 сильных, 21 средняя, 13 слабых). В группе юношей выявлено 66 связей (54 сильных, 12 средних). Большее количество умеренных и сильных корреляционных связей в группе юношей свидетельствует о более ригидной (жесткой) функциональной системе, интегрирующей в себе изученные подсистемы. Устойчивая система способствует более экономичному процессу адаптации к специфическим воздействиям (к которым система была специально адаптирована) и большей устойчивости к воздействию эндогенных и экзогенных факторов. Более лабильная функциональная система у девушек, отличающаяся большим числом степеней свободы, более адаптивна к неспецифическим влияниям и внезапным изменениям среды, однако менее адаптивна к специфическим факторам.

В группе девушек корреляционные связи установлены в основном между психоэмоциональными показателями и образной креативностью, что может свидетельствовать об их взаимном влиянии. У девушек больше связей между показателями ВРС и другими системами, тогда как у юношей выявлена только одна такая связь.

У юношей чаще всего коррелируют психоэмоциональные и психофизиологические показатели. В отличие от девушек, у юношей на образную креативность в большей степени влияют психофизиологические показатели (коэффициент продуктивности нервных процессов, ПЗМР, РДО опережения).

Тот факт, что достоверные корреляционные связи между изучаемыми параметрами определяют синхронизацию активности структур, которые объединяются в функциональную систему, позволяет использовать данный подход для оценки особенностей «функционального профиля» обучающихся, что является важной практической задачей [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, к факторам, которые взаимосвязаны с креативностью обучающихся, можно отнести: психофизиологические (память, внимание, ФАМ, состояние процессов возбуждения и торможения), психоэмоциональные показатели (невротизм, темперамент, тревожность, экстраверсия и др.), физиологические (вегетативная регуляция сердечно-сосудистой системы).

У юношей ниже показатели невротицизма, выше уровень краткосрочной смысловой памяти и наблюдается тенденция к более высокой мотивации к успеху. У девушек наблюдается большая подвижность нервных процессов, им необходимо меньше времени для переключения внимания с одного вида деятельности на другой.

В обеих группах интегральный показатель образной креативности и большинство ее субтестов (беглость, оригинальность и разработанность) соответствует половозрастной норме [10]. Образная креативность и сопротивление замыканию у девушек больше, тогда как у юношей выше показатель беглости.

В обеих группах большинство показателей variability сердечного ритма соответствуют нормативным значениям. У девушек выявлено более сильное влияние общих нейрогуморальных реакций и парасимпатического отдела ВНС на ритм сердца, большее влияние дыхательной аритмии, что может свидетельствовать о меньшей «цене» адаптации к учебным нагрузкам.

Общее количество корреляций в группе у юношей больше, чем у девушек. Группы также отличались по паттерну связей при построении корреляционных плед, что свидетельствует о разнокачественном межсистемном взаимодействии.

Список литературы

1. Старикова А. А. Соотношение креативности и личностных особенностей / А. А. Старикова // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2016. – Т. 11. – С. 1641–1645.
2. Байгужин П. А. Особенности нейровегетативной регуляции сердечного ритма у студенток с разным уровнем вербальной креативности / П. А. Байгужин, В. П. Мальцев // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 367.
3. Щербанова Е. И. Трудности в учении одаренных школьников / Е. И. Щербанова // Вопросы психологии. – 2003. – № 3. – С. 132–145.
4. Головин М. С. Особенности психофизиологического статуса обучающихся 16–17 лет обоего пола / М. С. Головин // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Педагогика, психология. – 2020. – № 3 (42). – С. 42–47.
5. Вакуленкова М. В. Креативность как фактор профессионального обучения бакалавров / М. В. Вакуленкова // Экономические и гуманитарные исследования регионов. – 2015. – № 2. – С. 29–34.
6. Айзман Р. И. Методика комплексной оценки физического и психического здоровья, физической подготовленности студентов высших и средних профессиональных учебных заведений / Р. И. Айзман, Н. И. Айзман, А. В. Лебедев, В. Б. Рубанович. – Новосибирск, 2010. – 100 с.
7. Головин М. С. Гендерные особенности психологического состояния обучающихся выпускных классов / М. С. Головин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. – 2021. – Т. 7 (73), № 1. – С. 118–125.
8. Быкова А. В. Особенности креативности личности студентов различных социальных групп / А. В. Быкова // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – № 308. – С. 144–148.
9. Guilford J. P. Creative abilities in the arts / J. P. Guilford // Psychol. Rev. – 1957. – V. 64, № 2. – P. 110.
10. Туник Е. Е. Диагностика креативности. Тест Е. Торренса. Адаптированный вариант / Е. Е. Туник // – СПб.: Речь, 2006. – 176 с.
11. Бехтерева Н. П. Динамика когерентности ЭЭГ при выполнении заданий на невербальную (образную) креативность / Н. П. Бехтерева, Ж. В. Нагорнова // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 5. – С. 5–13.
12. Вариабельность сердечного ритма: стандарты измерения, интерпретации, клинического использования: доклад рабочей группы Европейского общества кардиологии и Североамериканского общества кардиостимуляции и электрофизиологии // Вестник аритмологии. – 1999. – № 11. – С. 53.
13. Шлык Н. И. Оценка качества тренировочного процесса у спортсменов на основе экспресс-анализа вариабельности сердечного ритма с учетом индивидуального типа регуляции / Н. И. Шлык, Е. С. Лебедев, О. С. Вершинина // Теория и практика физической культуры. – 2019. – № 2. – С. 18–20.
14. Перевозкина Ю. М. Основы математической статистики в психолого-педагогических исследованиях: учебное пособие / Ю. М. Перевозкина, С. Б. Перевозкин – Мин-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. пед. ун-т. – Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2014. – Ч. 2. – 242 с.
15. Шлык Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов / Н. И. Шлык // Удмурт. ун-т. 2009. – 254 с.
16. Бехтерева Н. П. Механизмы деятельности мозга человека. Часть I. Нейрофизиология человека / Н. П. Бехтерева. – Л.: Наука, 1988. – 677 с.
17. Головин М. С. Интеграция функциональных, психофизиологических и биохимических процессов в организме спортсменов после аудиовизуальной стимуляции / М. С. Головин, Н. В. Балиоз, С. Г. Кривощёков, Р. И. Айзман // Физиология человека. – 2018. – Т. 44, № 1. – С. 64–71.
18. Медведев В. И. Адаптация человека / В. И. Медведев. – СПб.: Институт мозга человека РАН, 2003. – 584 с.

INTEGRATION OF VEGETATIVE, PSYCHOPHYSIOLOGICAL AND PERSONAL PROCESSES IN THE BODY OF YOUTH AND GIRLS OF DIFFERENT LEVELS OF CREATIVITY

Golovin M. S., Kozlova A. P.

*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation
E-mail: golovin593@mail.ru*

The study of biological determinants of creativity, determining the student's adaptation to the educational environment is important in the field of vocational guidance, optimization of the educational process and work, maintaining the psychosomatic health of future specialists. Indicators of autonomic mechanisms of heart rate regulation, the level of creativity, psychophysiological and personal indicators of 16–17 year old students of both sexes were studied. Changes in intersystem functional connections between vegetative, psychophysiological, psychoemotional indicators, as well as imaginative creativity were studied. Using the correlation analysis, the significant differences in the intersystem relationships of various functional systems between boys and girls are shown. In the group of boys, the fluency indicator was statistically significantly higher than that of girls. However, in the group of girls, higher values of the resistance to closure and the integral indicator of imaginative creativity were established. The girls showed a lower tension of the heart rate regulation mechanisms, which may indicate a lower "cost" of adaptation to educational loads, compared with boys. In the group of girls, correlations were established mainly between psycho-emotional indicators and imaginative creativity, more connections were found between indicators of heart rate variability and other systems. In young men, psychoemotional and psychophysiological indicators are most often correlated, and psychophysiological parameters influence imaginative creativity to a greater extent. The fact that reliable correlations between the studied parameters determine the synchronization of the structures activity that are combined into a functional system makes it possible to use this approach to assess the characteristics of the "functional profile" of students, which is an important practical task.

Keywords: creativity, heart rate variability, psychophysiology, human personality, intersystem integration.

References

1. Starikova A. A. The ratio of creativity and personal characteristics, *Scientific and methodological electronic journal Concept*, **11**, 1641 (2016).
2. Bayguzhin P. A., and Maltsev V. P. Features of the neurovegetative regulation of the cardiac rhythm at students with different level of verbal creativity, *Modern Problems of Science and Education*, **2**, 367 (2012).
3. Shcheblanova E. I. School problems of gifted children, *Voprosy Psichologii*, **3**, 132 (2003).
4. Golovin M. S. Peculiarities of the psychophysiological status of 16–17-year-old students of both sexes, *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pedagogika, psikhologiya*, **3 (42)**, 42 (2020).
5. Vakulenkova M. V. Creativity as factor of a vocational education of bachelors, *Economical and humanities researches of the regions*, **2**, 29 (2015).

6. Aizman R. I., Aizman N. I., Lebedev A. V., and Rubanovich V. B. Metodika kompleksnoi otsenki fizicheskogo i psikhicheskogo zdorov'ya, fizicheskoi podgotovlennosti studentov vysshikh i srednii professional'nykh uchebnykh zavedenii, 100 (Novosibirsk, 2010).
7. Golovin M. S. Features of the psychological status of students aged 16–17 years of both sexes, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Sociology. Pedagogy. Psychology*, **7 (73)**, 118 (2021).
8. Bykova A. V. The creativity peculiarities of students from different social groups, *Tomsk State University Journal*, **308**, 144 (2008).
9. Guilford J. P. Creative abilities in the arts, *Psychol. Rev.*, **64 (2)**, 110 (1957).
10. Tunik E. E. Diagnostics of creativity. E. Torrance test. Adapted version, 176 (SPb.: Rech, 2006).
11. Bekhtereva N. P., and Nagornova Zh. V. Changes in EEG coherence during tests for nonverbal (figurative) creativity, *Human Physiology*, **33 (5)**, 5 (2007).
12. Heart rate variability: standards for measurement, interpretation, clinical use: report of the working group of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, *Bulletin of Arrhythmology*, **11**, 53 (1999).
13. Shlyk N. I., Lebedev E. S. and Vershinina O. S. Athletic training process quality rating by express tests of heart rate variability in view of individual type of regulation, *Theory and practice of physical culture*, **2**, 18 (2019).
14. Perevozkina Yu. M., and Perevozkin S. B. *Osnovy matematicheskoi statistiki v psikhologo-pedagogicheskikh issledovaniyakh: uchebnoe posobie*, Min-vo obrazovaniya i nauki Russia, Novosibirsk state pedagogical university, 242 (Novosibirsk, NGPU Publ, 2014).
15. Shlyk N. I. *Heart rate and type of regulation in children, adolescents and athletes*, 254 (Udmurt. un-t, 2009).
16. Bekhtereva N. P. *Mechanisms of human brain activity*. Part I. Human neurophysiology, 677 (L.: Nauka, 1988).
17. Golovin M. S., Balioz N. V., Krivoshchekov S. G. and Aizman R. I. Integration of functional, psychophysiological, and biochemical processes in athletes after audiovisual stimulation, *Human Physiology*, **44 (1)**, 64 (2018).
18. Medvedev V. I. *Adaptation of man*, 584 (SPb.: Institute of the Human Brain RAS, 2003).

УДК 574.21

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА СРЕДЫ ГОРОДА КАЛУГИ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ QUERCUS ROBUR L.

Евсеева А. А., Абрахманова О. И.

*ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», Калуга, Россия
E-mail: annahabarova@yandex.ru*

Статья посвящена биомониторингу городской среды г. Калуги. В качестве объекта биоиндикации был выбран широко распространенный здесь дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). В ходе исследования нами была проведена оценка здоровья среды методом биоиндикации по значению флуктуирующей асимметрии листовых пластин дуба черешчатого. Исходя из данных, собранных нами в 2018 и 2020 годах и параметров шкалы оценки стабильности развития дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), показатели соответствуют 5 баллу, что означает высокое отклонение стабильности развития дуба черешчатого от нормы и критическому состоянию экосистем. Низкие показатели здоровья среды обусловлены влиянием высокой транспортной нагрузки и промышленных предприятий на объекты исследования. На основании полученных результатов и их оценке по шкалам здоровья среды возможно проведение мероприятий по улучшению качества и экологической безопасности окружающей среды города Калуги.

Ключевые слова: биомониторинг, флуктуирующая асимметрия, здоровье среды, стабильность развития, дуб черешчатый.

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая безопасность – это состояние защищенности окружающей среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, ЧС природного и техногенного характера [1]. Исходя из приведенного определения, очевидно, что экологическую безопасность можно установить через оценку здоровья среды. Под здоровьем среды понимается ее качество, необходимое для обеспечения здоровья человека и других видов живых существ [2]. Оценка здоровья среды доступна методами биоиндикации и биомониторинга. Поскольку рекреационные объекты города имеют большое средообразующее значение, необходимо проводить мониторинг их состояния в городской черте. Исходя из важности этого, все выбранные нами объекты исследования здоровья среды являются рекреационными зонами города. В качестве объектов биоиндикации традиционно используют растительные объекты экосистем. Древесные растения в целом наиболее предпочтительны для фитомониторинга, поскольку способны длительно существовать в динамично меняющейся городской среде. Ряд исследований посвящено использованию древесных растений как видов-индикаторов здоровья среды для Калужской области и Калуги [3–5]. Дуб издавна ценился в озеленении и широко представлен в рекреационных объектах Калуги, поэтому мы выбрали его в качестве объекта исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проходило в 2018–2020 годах в городе Калуге, в рекреационных объектах города (рис. 1).

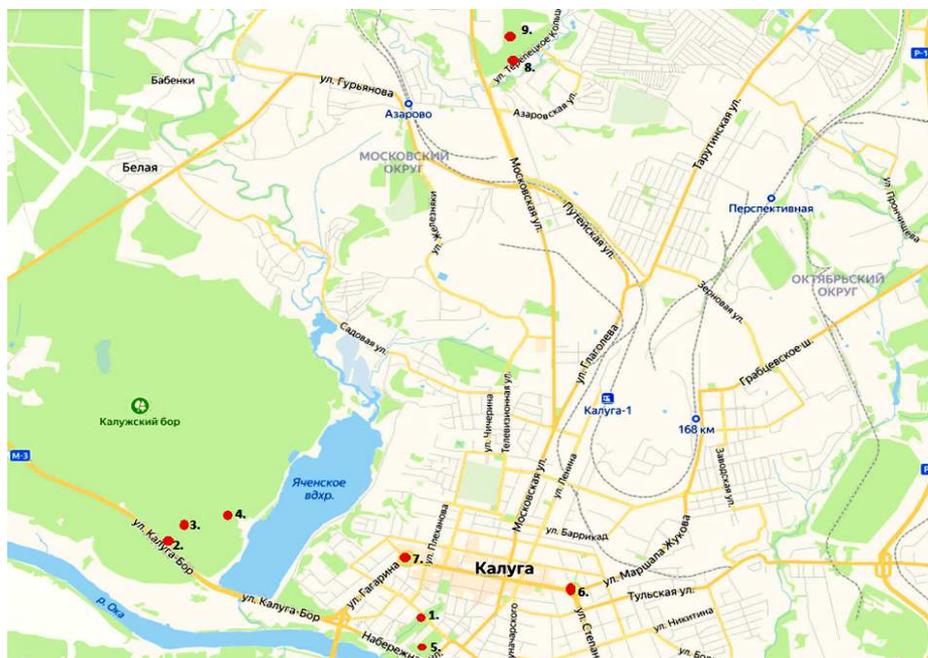


Рис. 1. Расположение точек исследования в городе Калуга: 1. Березуйский овраг; 2. Бор у остановки; 3. Бор 100 м от трассы; 4. Бор у лесничества; 5. Парк культуры и отдыха; 6. Площадь Победы; 7. Сквер Мира; 8. Усадьба Яновских (у автодороги); 9. Усадьба Яновских (центральная часть).

В ходе исследования нами была проведена оценка здоровья среды методом биоиндикации по значению флуктуирующей асимметрии листовых пластин дуба черешчатого. При выборе пробных деревьев в древостое учитывался их возраст. Выбранные для исследования деревья являются одновозрастными, относящимися к возрастной группе спелых. Для анализа было отобрано по 30 листьев в каждой точке исследования. Сбор листьев производился с 3 деревьев, находящихся на ближайшем расстоянии друг к другу на исследуемом участке, в нижних доступных частях крон, на высоте до 2–3 м от уровня земли, со стороны, обращенной к транспортной артерии. Отбирались листья после остановки роста, относительно среднего размера, без явных повреждений для удобства и точности последующего измерения. Анализируемые признаки представлены на схеме (рис. 2).

Листья сканировались и измерялись при помощи пакета программ Biondication tool kit, разработанной лабораторией биоиндикации КГУ им. К. Э. Циолковского [6]. Для оценки здоровья среды использовались шкалы Н. А. Гераськиной и Л. А. Луговской [7, 8].

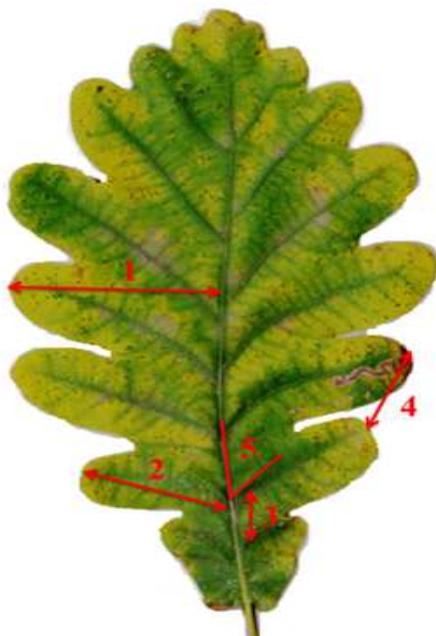


Рис. 2. Листовая пластинка дуба черешчатого
(Анализируемые признаки: 1. Ширина левой и правой половинок листа; 2. Расстояние от основания до конца жилки второго порядка, второй от основания листа; 3. Расстояние между основаниями первой и второй жилки второго порядка; 4. Расстояние между концами первой и второй жилки второго порядка; 5. Угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка).

На ближайших к объектам крупных автодорогах велся учет авторанспорта, данные представлены на таблице 1.

Таблица 1.

Учет загруженности дорог автотранспортом в час вблизи объектов исследования

Наименование объекта / Количество автотранспорта	Площадь Победы	Сквер Мира	Березуйский овраг	Парк культуры и отдыха	Калужский городской бор	Парк усадьбы Яновских
Будни	383	395	341	352	319	337
Час пик в будни	723	748	683	698	620	628
Выходные	300	327	291	297	278	264

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование проходило в рекреационных объектах города, таких как, Калужский городской бор, Комсомольская роща, Березуйский овраг, Центральный парк культуры и отдыха, площадь Победы, сквер Мира и Усадьба Яновских.

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии листовой пластинки дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) представлены на рисунке 3.

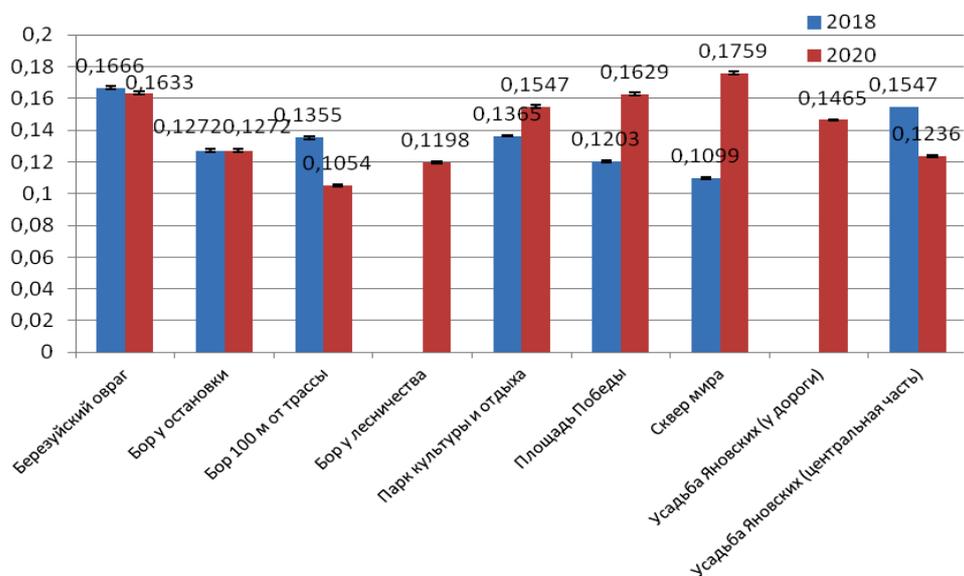


Рис. 3. Значения показателей коэффициента флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в точках сбора в г. Калуге в 2018 и 2020 гг.

Рассмотрим результаты, полученные в 2018 году. Диапазон значений варьирует от 0,1054 до 0,1759. Среднее значение в этом сезоне исследований составило $0,1358 \pm 0,007$. Максимальное значение на данной гистограмме мы наблюдаем в Березуйском овраге. Это объясняется высокой транспортной загруженностью прилегающих автодорог и расположением в центральной части города. Данная точка исследования находится непосредственно под Каменным мостом, поэтому данный объект, несмотря на достаточно большой размер, не может нивелировать получаемое антропогенное воздействие. Минимальное значение и приближенное к нему наблюдается в сквере Мира и на площади Победы. Это можно объяснить тем, что данных деревья находятся под постоянным антропогенным прессингом автотранспорта, поскольку данные объекты являются местами пересечения одних из наиболее загруженных городских автодорог. В связи с этим, листовые пластинки деревьев изначально недостаточно развиваются, что приводит к получению ложных результатов. Также относительно невысокие результаты коэффициента асимметрии наблюдаются в Калужском городском Бору и в Парке культуры и отдыха. Это объясняется достаточно крупными размерами объектов, что обуславливает их

способность к саморегуляции и снижению неблагоприятного воздействия за счет экосистемных свойств. Достаточно высокое значение асимметрии отмечено в точке Парка Усадьбы Яновских. Территория парка испытывает высокую антропогенную нагрузку, так как рядом расположены крупные промышленные объекты промышленной зоны «Азарово»: «Калужский завод автомобильного электрооборудования», «Калужский завод металлопластиковых конструкций», «Калужский двигатель» и др.

Теперь рассмотрим результаты, которые мы получили в 2020 году. В данный период наблюдений нами было расширено число участков исследования в наиболее крупных городских объектах, для их более детального изучения. Так, дополнительные точки исследования были заложены в Городском бору, в удалении от трассы и парке усадьбы Яновских, напротив, у автодороги для сравнения с центральной, удаленной от нее точкой, поскольку имелось предположение о высоком значении коэффициента асимметрии здесь из-за близости к промышленной зоне. Результаты показали, что точки, находящиеся в непосредственной близости к автодорогам в обоих объектах (Бор у остановки и Усадьба Яновских, у дороги), имеют более высокие показатели коэффициентов асимметрии, по сравнению с участками этих объектов рекреации, находящихся в отдалении от автодорог (Бор у лесничества и Усадьба Яновских, центральная часть). На гистограмме видны значительные изменения в некоторых точках сбора, по сравнению с 2018 годом. Показатель флуктуирующей асимметрии в сквере Мира достигает максимального значения (0,1759). Показатели на площади Победы и в Парке культуры и отдыха так же достигают высоких значений. Стабильными остались показатели в местах сбора в Бору у остановки и в Березуйском овраге. Значительно отличаются числовые выражения показателей в точках, расположенных в сквере Мира и на площади Победы. Стоит выделить их в отдельную группу для рассмотрения, поскольку это полностью искусственные рекреационные объекты города, имеющие наименьшие размеры среди исследуемых. Значения флуктуирующей асимметрии выросли здесь по сравнению с 2018 г. Нами предполагалось, что низкие показатели в этих точках были связаны с повышенной антропогенной нагрузкой, ограничивающей нормальное развитие листовых пластинок. Высокая концентрация токсичных веществ и жесткие микроклиматические условия приводят к структурным изменениям древесной растительности. У городских деревьев обычно более редкие кроны, короче побеги, меньше площадь листовой поверхности и морфометрические показатели листовых пластинок [9, 10]. Это может быть связано с изменением морфологических структур листовых пластинок под воздействием интенсивного антропогенного прессинга, и подобный результат, возможно, является не соответствующим реальной экологической обстановке [11]. Можно предположить, что, поскольку листья данных растительных объектов, претерпевают несоизмеримую с остальными точками исследования нагрузку, имеют отличающиеся морфологические параметры, поэтому сравнение их показателей флуктуирующей асимметрии с показателями других рекреационных зон затруднительно. Небольшие размеры данных объектов и их искусственное происхождение, по всей видимости, не позволяют противостоять высокой

антропогенной нагрузке. В 2020 году мы наблюдаем обратную динамику, возможно, связанную с режимом самоизоляции, проходившем в апреле–мае 2020 года. По данным регионального министерства природных ресурсов и экологии, воздух в Калужской области стал чище [12]. В атмосфере г. Калуги отмечается значительное снижение угарного газа и взвешенных частиц. Об этом говорят результаты наблюдений, проведенных в первые три месяца 2020 года. Загрязнение атмосферы было низким в апреле–мае и листья развивались нормально, затем режим самоизоляции был ослаблен, что повлияло на их окончательное формирование и изначально нормально развивающиеся листья затем оказались в условиях прежней нагрузки после снятия режима самоизоляции и дали получившиеся высокие значения коэффициента асимметрии.

Применение балльных шкал стабильности развития дает возможность выделения территорий по состоянию древесной растительности и степени отклонения от нормы под воздействием антропогенной нагрузки. Здоровье среды определялось по шкале Н. А. Гераськиной [8] (табл. 2).

Таблица 2.

Шкала оценки стабильности развития дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

Балл	Величина показателя стабильности развития
1 – норма	< 0,065
2 – угнетенное состояние	0,066 – 0,070
3 – угнетенное состояние	0,071 – 0,075
4 – угнетенное состояние	0,076 – 0,083
5 – критическое значение	> 0,083

В 2018–2020 гг. во всех точках исследования отмечается критическое состояние здоровья среды. Все точки выборок подвержены влияниям негативных факторов, которые оказывают угнетающее действия на местообитания дуба и затрудняют условия существования вида в данных условиях.

Точки сбора материала, находящиеся в Калужском городском бору, (Бор 100м. от трассы, Бор у лесничества, Бор у остановки); Березуйский овраг; Парк культуры и отдыха; площадь Победы; сквер Мира; Усадьба Яновских (у дороги и центральная часть) исходя из данных (рис. 3) собранных нами в 2018 и 2020 годах соответствуют 5 баллу, что означает высокое отклонение стабильности развития дуба черешчатого от нормы и критическому состоянию экосистем.

По шкале оценки здоровья среды обитания [7, 13] по значению флуктуирующей асимметрии листьев дуба черешчатого видно, что данные растительные объекты находятся в пессимальных условиях (табл. 3).

Это приводит к угнетению состояния дуба и снижению стабильности его развития. Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что пессимальные условия влияют негативно не только на растительный и древесный мир, но так же и на здоровье человека.

Таблица 3.
Шкала оценки среды обитания по значению флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

Параметры условий	Оптимальные условия	Субоптимальные условия	Субпессимальные условия	Пессимальные условия
Значение флуктуации ширины листа	ниже 0.033	0.033 до 0.048	0.048 до 0.063	выше 0.063

Нами была предпринята попытка обнаружения корреляции между расстоянием от точки сбора до ближайшей крупной автодороги и значениями коэффициента асимметрии (табл. 4).

Таблица 4.
Корреляция между значением флуктуирующей асимметрии листовой пластинки 2018 и 2020 годах и расстоянием до дороги

Точки сбора	2018 год		2020 год	
	Значение флуктуирующей асимметрии листовой пластинки	Расстояние до дороги (м)	Значение флуктуирующей асимметрии листовой пластинки	Расстояние до дороги (м)
Березуйский овраг	0,1666	10.3	0,1633	10.3
Бор у остановки	0,1272	35.3	0,1272	35.3
Бор 100 м от трассы	0,1355	100	0,1054	100
Бор у лесничества			0,1198	508
Парк культуры и отдыха	0,1365	132	0,1547	132
Площадь Победы	0,1203	24.5	0,1629	24.5
Сквер мира	0,1099	46.3	0,1759	46.3
Усадьба Яновских (у дороги)			0,1465	18.2
Усадьба Яновских (центральная часть)	0,1547	244	0,1236	244

В 2018 году корреляция не обнаружена. В 2020 году корреляция так же не достигает уровня статистической значимости, однако прослеживается тенденция к обратной взаимосвязи между расстоянием до автодороги и величиной

коэффициента асимметрии (-0.583 при $p \geq 0,05$), что позволяет считать автотранспорт фактором, влияющим на асимметрию листовых пластинок дуба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг здоровья среды в 2018–2020 гг., показал наличие стабильного среднего значения коэффициента асимметрии в точках, расположенных в Березуйском овраге, парке Культуры и отдыха и в усадьбе Яновских. Можно предположить, что факторы, которые влияют здесь на здоровья среды в течение длительного периода, не изменялись. Выявлено, что введенный режим самоизоляции в России весной 2020 г., в результате которого было отмечено снижение выбросов автотранспорта в городскую среду, положительно повлиял на стабильность развития дуба черешчатого, а значит и на здоровье городской среды в целом. Во всех точках исследования наблюдается критическое состояние здоровья среды. Низкие показатели здоровья среды, обусловлены влиянием высокой транспортной нагрузки и промышленных предприятий на объекты исследования. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что экологическое здоровье обследованных в ходе биомониторинга объектов г. Калуги находится на низком уровне. Выявлена тенденция к обратной взаимосвязи между удаленностью объектов исследования и городскими автодорогами, что говорит об автотранспорте, как о факторе, влияющем на стабильность и здоровье городской среды негативно. Подобные оценки важны, поскольку на основании полученных результатов и их оценке по шкалам здоровья среды возможно проведение мероприятий по улучшению качества и экологической безопасности окружающей среды города Калуги.

Список литературы

1. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция от 09.03.2021) [Электронный ресурс] // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ дата обращения: 14.04.2020.
2. Захаров В. М. Здоровье среды: концепция. / Захаров В. М. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 30 с.
3. Константинов Е. Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как вида биоиндикатора: дис. канд. биол. наук: 03.00.16 / Е. Л. Константинов. – Калуга, 2001. – 126 с.
4. Нестерова Е. В. Исследование состояния рекреационных зон г. Калуги методом биоиндикации / Е. В. Нестерова, А. А. Евсеева // Вестник Калужского университета. – 2019. – №1. – С. 70–75.
5. Захаров М. Б. Использование клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) в качестве индикатора здоровья среды городских рекреационных зон (на примере Калуги и Боровска) / М. Б. Захаров, А. А. Евсеева // Вестник Калужского университета. – 2019. – №2. – С. 90–97.
6. Стрельцов А. Б. Здоровье среды (школьный практикум). Региональное учебно-методическое пособие / А. Б. Стрельцов [и др.]. – Калуга: Издательство КГПУ им. К. Э. Циолковского, 2006. – 40 с.
7. Гераськина Н. А. Оценка стабильности развития дуба черешчатого на территории национально парка «Орловское Полесье» / Н. А. Гераськина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Самарская Лука. 2009. – Т. 18, № 3. – С. 240–244.
8. Луговская Л. А. Оценка комфортности среды по флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) / Л. А. Луговская // Научные ведомости. Серия Естественных науки. – 2016. – №18 (239), Выпуск 36. – 87 с.

9. Белева Ю. В. Показатели пластинки флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth. В естественных и антропогенных условиях сбора Тольятти / Ю. В. Белева // Самарская Лука: реакции проблемы региональной и глобальной экологии. – 2013. – Т. 23, № 3. – С. 167–174.
10. Бессонова Н. В. Использование метода биоиндикации для оценки экологического состояния различных районов в г. Хабаровске / Н. В. Бессонова // Вестник МГСУ. – 2012. – № 5. – С. 51–65.
11. Hodar Jose A. Leaf fluctuating asymmetry of Holm oak in response to drought under contrasting climatic conditions / Hodar Jose A. // J Arid Environ. – 2002. – P. 233.
12. Официальный портал органов власти Калужской области [Электронный ресурс] // URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37 дата обращения 20.12.20.
13. Гелашвили Д. Б. Структурно-информационные показатели флуктуирующей асимметрии билатерально симметричных организмов / Д. Б. Гелашвили, Е. В. Чупрунов, Д. И. Иудин // Журн. общ. биол. – 2004. – Т. 65, № 4. – С. 941–949.

MONITORING OF THE ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE CITY OF KALUGA BY BIOINDICATION USING QUERCUS ROBUR L.

Evseeva A. A., Abrakhmanova O. I.

*Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski, Kaluga, Russia
E-mail: annahabarova@yandex.ru*

The article is devoted to biomonitoring of the urban environment of Kaluga. The widely distributed pedunculate oak (*Quercus robur* L.) was chosen as the object of bioindication. The study was conducted in 2018–2020 in recreational facilities of the city. In the course of the study, we evaluated the health of the environment by the bioindication method based on the value of the fluctuating asymmetry of the leaf plates of oak petiole. The indicators at the collection points in the Forest near the bus stop and in the Berezuysky ravine remained stable during the period of the survey. Significantly different values of indicators in the points located in the square of the World and on Victory Square. Their values in 2020 increased compared to 2018. We assumed that the low values at these points were associated with an increased anthropogenic load that restricts the normal development of leaf blades. For the studied territory of Kaluga, these are the points with the lowest indicators, which should indicate a high health of the environment.

This may be due to changes in the morphological structures of the leaf blades under the influence of intense anthropogenic pressure, and such a result may not correspond to the actual ecological situation. In 2020, we are seeing a reverse trend, possibly related to the self-isolation regime that took place in April-May 2020. According to the Regional Ministry of Natural Resources and Ecology, the air in the Kaluga region has become cleaner.

Based on the data collected by us in 2018 and 2020 and the parameters of the scale for assessing the stability of the development of oak petiole (*Quercus robur* L.), the indicators correspond to a 5 point, which means a high deviation of the stability of the development of oak petiole from the norm and the critical state of ecosystems. Monitoring of environmental health showed the presence of a stable average value of the asymmetry coefficient at points located in the Berezuysky Ravine, the Park of Culture and

Recreation, Victory Square, Mira Square and the Yanovsky estate. It can be assumed that the factors that affect the health of the environment here over a long period have not changed. At all points of the study, a critical state of environmental health is observed. Low environmental health indicators are due to the influence of high transport loads and industrial enterprises on the objects of research. Based on the results obtained and their assessment on the environmental health scales, it is possible to carry out measures to improve the quality and environmental safety of the environment of the city of Kaluga.

Keywords: biomonitoring, fluctuating asymmetry, environmental health, development stability, petiolate oak.

References

1. Federal Law "On Environmental Protection" of 10.01.2002 N 7-FZ (latest version from 09.03.2021) [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823. Accessed: 14.04.2020.
2. Zakharov V. M. *Environmental health: concept*. Center for Environmental Policy of Russia, 30 (Moscow, 2000).
3. Konstantinov E. L. *Features of fluctuating asymmetry of the leaf blade of the hanging birch (Betula pendula Roth.) as a type of bioindicator*: dis. cand. biol. nauk: 03.00.16, 126. (Kaluga, 2001).
4. Nesterova E. V., Evseeva A. A. Study of the state of recreational zones in Kaluga by bioindication. *Bulletin of the Kaluga University*. **1**. 70. (2019).
5. Zakharov M. B., Evseeva A. A. The use of holly maple (*Acer platanoides* L.) as an indicator of the health of the environment of urban recreational zones (on the example of Kaluga and Borovsk), *Bulletin of the Kaluga University*, **2**. 90. (2019).
6. Streltsov A. B. *Health of the environment (school practice)*. Regional educational and methodological manual, Publishing House of KSPU named after K. E. Tsiolkovsky, 40 (Kaluga, 2006.).
7. Geraskina N. A. Assessment of the stability of the development of oak petiolate on the territory of the national park "Orel Polesie". *Samara Luka: problems of regional and global ecology*. *Samara Luka*, **18**, **3**, 240 (2009).
8. Lugovskaya L. A. Assessment of the comfort of the environment by the fluctuating asymmetry of the petiolate oak (*Quercus robur* L.) *Scientific bulletin. Natural Sciences series*, **18(239)**, **36**, 87 (2016).
9. Belyaeva Yu. V. Indicators of the plate fluctuating in the asymmetry of *Betula pendula* Roth. In the absence of natural natural and anthropogenic environments in the conditions of collecting Tolyatti. *Samarskaya Luka: reactions of the problem of the difference between the regional state duma and the global development of ecology*, **23**, **3**, 167 (2013).
10. Bessonova N. V. The use of the environment of the method of studying the bioindication of organisms for ecological assessment of the results of the ecological tree state of organisms of various plants in the districts of the city of Khabarovsk, *Bulletin of the MSU*, **5**. 51. (2012).
11. Hodar Jose A. *Leaf fluctuating asymmetry of Holm oakin response to drought nako under contrasting climatic conditions*, 233. (J Arid Environ, 2002).
12. *Official portal of the Kaluga region authorities* [Electronic resource]. URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37. Accessed 20.12.20.
13. Gelashvili D. B., Chuprunov E. V., Yudin D. I. Structural and informational indicators of fluctuating asymmetry of bilaterally symmetric organisms, *Journal of General Biology*, **65**, **4**, 941 (2004).

УДК 574.524:574.64:550.47

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Ершова Т. С.¹, Зайцев В. Ф.¹, Чаплыгин В. А.², Шабоянц Н. Г.³

¹*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань,
Российская Федерация*

²*Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО («КаспНИРХ»), Астрахань,
Российская Федерация*

³*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства
здравоохранения Российской Федерации, Астрахань, Российская Федерация
E-mail: ershova_ts@mail.ru*

Представлены результаты исследования содержания химических элементов в различных экологических формах донных отложений Каспийского моря. Показано, что все исследованные виды донных отложений Каспийского моря отличались наибольшей степенью аккумуляции железа. В Северной и Средней части Каспийского моря в наименьших концентрациях отмечена ртуть. Илистые и песчаные формы донных отложений по сравнению с ракушечными аккумулируют металлы в большей мере. В грунтах Северной части Каспийского моря происходило осаждение таких элементов как свинец, цинк, никель, хром и марганец, а в грунтах Средней части Каспийского моря – кадмий, медь, железо и ртуть. Существенных различий в накоплении кобальта грунтами Северной и Средней части Каспийского моря не выявлено.

Ключевые слова: химические элементы, аккумуляция, донные отложения, ракушечные, песчаные, илистые грунты, Каспийское море.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что процессы формирования ресурсного потенциала Каспийского моря происходят под влиянием различных экологических факторов, одними из которых является геохимический и гидрологический режим моря. Экосистема самых продуктивных районов моря – Северного и Среднего Каспия находится в состоянии антропогенного напряжения, в результате которого на этой акватории происходит изменение химических и физических параметров среды.

Исследования элементного состава компонентов экосистемы позволяют оценить биогеохимическое состояние Каспийского моря в целом и выявить угрозу снижения видового биоразнообразия гидробионтов.

Загрязнение морской среды считается основным фактором, угрожающим сохранению биологического разнообразия и разрушающим среду обитания водных биоресурсов в Каспийском бассейне.

Донные отложения, благодаря их способности аккумулировать многие органические и неорганические соединения, могут быть фактором риска для всей водной экосистемы. Так как большая часть тяжелых металлов депонируется в

донных отложениях [1–3], являющихся консервативным компонентом водной экосистемы в цикле миграции загрязняющих веществ, то они отображают всю информацию о химическом составе водоема, масштабах техногенного загрязнения. Таким образом, донные отложения способствуют самоочищению водной среды и в то же время превращаются в источник вторичного загрязнения водоема, влияя на внутренние процессы. При этом даже если содержание металлов в донных отложениях не является экстремально высоким, их воздействие на отдельные компоненты экосистемы может быть значимым [4].

Известно, что большая удельная концентрация тяжелых металлов наблюдается в мелких фракциях донных отложений [5–7]. По классификации Н. Гуи [8] к таковым относятся ил и песок. Степень токсичности поллютантов в грунтах зависит от того, в каких концентрациях и в какой форме они существуют в окружающей среде. Поглотительная способность донных отложений характеризуется площадью сорбционной поверхности, емкостью катионного обмена, связывающего комплекса, прочностью связывания, которая находится в зависимости от физико-химических факторов на границе раздела фаз с водой [9].

Являясь продуктом процесса самоочищения, донные отложения служат верным индикатором степени загрязненности водной экосистемы в системе экологического мониторинга [10–13].

В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют утвержденные нормативы содержания загрязняющих веществ в донных отложениях. Донные отложения, в зависимости от состава и происхождения, обладают неодинаковой способностью к снижению токсичности водной среды. Для различных донных отложений нормативы содержания в них токсичных веществ различаются [14].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись донные отложения Северной и Средней частей Каспийского моря: илистый, песчаный и ракушечный.

Образцы проб различных видов грунтов получены в результате экспедиций в период с 2014 по 2020 гг.

При определении ртути в объектах использовали ртутный анализатор РА – 915+ с приставкой РП-91-С, а при определении концентрации остальных химических элементов – атомно-абсорбционный спектрометр с электротермической атомизацией МГА-915 МД.

Концентрацию ртути выражали в мг/кг сырого веса, а концентрацию остальных химических элементов – в мг/кг сухого веса.

Полученные результаты подвергали статистическому анализу.

Поскольку в Российской Федерации пока не установлены стандарты качества донных отложений, оценка степени загрязненности исследуемых осадков выполняется согласно рекомендаций СП 11-102-97 на основе соответствия уровней содержания загрязняющих веществ критериям для экологической оценки загрязненности грунтов, по *Neue Niederlandische Liste. Altlasten Spektrum 3/95* («Голландские листы»). А также для оценки использовались канадские стандарты

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ...

качества морских донных отложений [15], разработанные специально для защиты водной биоты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Железо в донных отложениях Северной части Каспийского моря колебалось в пределах от $413,5 \pm 1,5$ мг/кг (ракушечный грунт) до $2915,5 \pm 2,5$ мг/кг (илистый грунт), а в Средней части Каспийского моря от $118,9 \pm 1,4$ мг/кг (ракушечный грунт) до $7390,8 \pm 5,4$ мг/кг (илистый грунт). Максимальные значения железа выявлены в илистых донных отложениях, а минимальные – в ракушечных. При этом следует отметить, что его содержание выше в песчаных донных отложениях Средней части Каспийского моря ($3202,9 \pm 2,2$ мг/кг) почти в 1,5 раза, а в илистых ($7390,8 \pm 5,4$ мг/кг) – более чем в 2 раза, чем в Северной части Каспийского моря. Отмечено преимущественное осаждение железа илистыми и песчаными грунтами Средней части Каспийского моря.

Таблица 1
Содержание химических элементов в донных отложениях Каспийского моря, мг/кг

Виды донных отложений	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni,	Co	Cr	Pb	Cd	Hg
Северная часть Каспийского моря										
Илистые	$2915,5 \pm 2,5$	$8,2 \pm 0,4$	$215,0 \pm 1,1$	$15,8 \pm 0,8$	$20,2 \pm 1,1$	$5,9 \pm 0,7$	$16,7 \pm 0,9$	$11,2 \pm 0,9$	$0,9 \pm 0,1$	$0,009 \pm 0,001$
Песчаные	$2249,7 \pm 3,4$	$4,3 \pm 0,4$	$70,3 \pm 1,1$	$11,9 \pm 0,6$	$8,3 \pm 0,6$	$4,8 \pm 0,5$	$7,7 \pm 0,7$	$8,2 \pm 0,7$	$0,7 \pm 0,1$	$0,002 \pm 0,0004$
Ракушечные	$413,5 \pm 1,5$	$6,1 \pm 0,8$	$8,7 \pm 0,4$	$4,9 \pm 0,3$	$12,9 \pm 0,8$	$11,2 \pm 0,4$	$18,3 \pm 0,2$	$6,9 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,02$	$0,01 \pm 0,0002$
Средняя часть Каспийского моря										
Илистые	$7390,8 \pm 5,4$	$16,4 \pm 1,2$	$72,04 \pm 1,5$	$10,1 \pm 0,3$	$12,2 \pm 0,4$	$7,2 \pm 0,6$	$12,1 \pm 0,3$	$9,5 \pm 0,9$	$1,3 \pm 0,1$	$0,01 \pm 0,002$
Песчаные	$3202,9 \pm 2,2$	$8,74 \pm 0,9$	$46,3 \pm 1,7$	$9,8 \pm 0,9$	$7,9 \pm 0,9$	$2,9 \pm 0,3$	$7,2 \pm 0,8$	$3,1 \pm 0,3$	$0,8 \pm 0,1$	$0,004 \pm 0,0001$
Ракушечные	$118,9 \pm 1,4$	$10,7 \pm 0,4$	$4,3 \pm 0,6$	$2,7 \pm 0,6$	$12,3 \pm 0,36$	$11,2 \pm 0,33$	$14,3 \pm 0,5$	$5,2 \pm 0,7$	$0,9 \pm 0,1$	$0,02 \pm 0,002$

Медь в илистых донных отложениях Северной части Каспийского моря достигала значения $8,22 \pm 0,35$ мг/кг, тогда как в песчаном грунте уровень аккумуляции ниже почти в 2 раза и составлял $4,26 \pm 0,41$ мг/кг. В ракушечных

грунтах эти значения выше, чем в песчаном, но ниже, чем в илистом и составляли $6,07 \pm 0,77$ мг/кг. Илистые донные отложения Средней части Каспийского моря концентрировали также наибольшее количество вышеуказанного химического элемента по сравнению с песчаными и ракушечными, и зафиксировано превышение содержания меди в 2 раза в илистых донных отложениях Средней части Каспийского моря по сравнению с таковыми Северной части Каспийского моря. Следует отметить, что наибольшие значения аккумуляции меди в Северной и Средней частях Каспийского моря в илистом типе грунта, а наименьшие – в песчаном. Концентрация меди в донных отложениях Северной части Каспийского моря в 2 раза ниже, чем в Средней части Каспийского моря. Таким образом, низкое содержание меди наблюдались в прибрежной зоне по сравнению с внешней частью каспийского шельфа. Аналогичная закономерность была описана ранее для донных отложений Черного моря [16].

Полученные низкие значения содержания меди в донных отложениях Северной и Средней части Каспийского моря обусловлены материнскими породами Прикаспийской низменности и связаны с дефицитом ее в почвах Астраханского региона [17, 18] и слабым накоплением меди в грунтах изученных районов Каспийского моря.

Известно, что почвообразующие породы Прикаспийской низменности представлены в основном марганец содержащими глинами [19]. Содержание марганца в грунтах достаточно высокое, особенно в Северной части Каспийского моря, куда он поступает с речным стоком. Концентрация марганца в илистых донных отложениях Северной части Каспийского моря максимальная и составляла $215,02 \pm 1,1$ мг/кг, что в 3 раза больше, чем в песчаных и в 23 раза больше, чем в ракушечных. Аккумуляция данного металла илистыми донными отложениями в Средней части Каспийского моря, как и в Северной части Каспийского моря, тоже наибольшая ($72,04 \pm 1,5$ мг/кг), минимальными концентрациями отличались ракушечные грунты ($4,3 \pm 0,6$ мг/кг). Выявлено превышение содержания марганца в Северной части Каспийского моря по сравнению со Средней части Каспийского моря: в песчаных и ракушечных грунтах в 2 раза, а в илистых в 3 раза [20].

Из изученных видов донных отложений Северной части Каспийского моря цинк аккумулировался в основном в илистых, где он достигал $15,9 \pm 0,8$ мг/кг, несколько ниже его зафиксировано в песчаном грунте ($11,9 \pm 0,6$ мг/кг) и в 3 раза меньше по сравнению с илистыми донными отложениями концентрация цинка в ракушечных грунтах.

Уровень аккумуляции цинка донными отложениями Северной части Каспийского моря выше уровня Средней части Каспийского моря. По мнению Е. В. Островской с соавторами [4], цинк поступает в Северную часть Каспийского моря с волжским стоком, и оседает в мелководной зоне, концентрируясь в ее осадках. Полученные средние значения содержания цинка в грунтах Северной и Средней части Каспийского моря были существенно ниже зарубежных стандартов качества.

Железо и цинк являются широко распространенными элементами в земной коре. Их высокие концентрации обусловлены антропогенным влиянием [4].

Никель также имел сходную картину распределения в различных видах донных отложений в Северной и Средней частях Каспийского моря. Максимальные значения показателя отмечены в илистых грунтах, причем в Северной части Каспийского моря эти значения в 2 раза были выше, чем в Средней части Каспийского моря ($20,23 \pm 1,12$ мг/кг и $12,19 \pm 0,35$ мг/кг соответственно). Никель, также как и кобальт, приносят в Северную часть Каспийского моря речные воды [4]. Содержание никеля в песчаных и ракушечных грунтах статистически не отличались в Северной и Средней части Каспийского моря. Концентрация никеля в исследованных донных отложениях ниже допустимого уровня (35 мг/кг) зарубежных стандартов качества.

Кобальт в Северной и Средней частях Каспийского моря имел сходную картину распределения в различных видах донных отложений: ракушечный > илистый > песчаный. Следует отметить, что значения аккумуляции кобальта илистыми и ракушечными грунтами в Северной и Средней части Каспийского моря находились на одном и том же уровне (7 мг/кг и 11 мг/кг для илистых и ракушечных грунтов соответственно). В то же время в песчаных донных отложениях Северной части Каспийского моря концентрация металла в 2 раза выше, чем в Средней части Каспийского моря. Возможно, это связано с тем, что песчаные грунты Северной части Каспийского моря накапливают кобальт из речного стока.

Уровень аккумуляции хрома илистыми донными отложениями Северной части Каспийского моря достоверно выше такового значения в Средней части Каспийского моря ($16,73 \pm 0,92$ и $12,11 \pm 0,25$ мг/кг соответственно), в ракушечных грунтах отмечена аналогичная картина ($18,27 \pm 0,21$ и $14,32 \pm 0,48$ мг/кг соответственно). Концентрация хрома в песчаных грунтах в Северной и Средней части Каспийского моря не имела статистических различий.

Свинец, также как и кадмий, в большей мере аккумуляровался илистыми донными отложениями Северной части Каспийского моря, где его концентрация составляла – $11,15 \pm 0,94$ мг/кг. Концентрация свинца в песчаных и ракушечных грунтах в 1,4 и 1,6 раза ниже соответственно. В Северной части Каспийского моря концентрация свинца выше, чем в Средней части Каспийского моря ($11,15 \pm 0,94$ и $9,47 \pm 0,97$ мг/кг соответственно), т.е. происходило его осаждение в грунтах Северной части Каспийского моря. Свинец в большей мере аккумуляровался илистыми донными отложениями ($9,47 \pm 0,97$ мг/кг), а наименьшим количеством свинца обладали песчаные грунты ($3,10 \pm 0,30$ мг/кг), что также меньше, чем в Северной части Каспийского моря. В донных отложениях не выявлено превышение допустимых уровней по свинцу в сравнении с зарубежными стандартами качества (Критерии экологической оценки, Канадские стандарты качества морских донных отложений) [15].

Результаты исследований свидетельствуют о том, что в Северной части Каспийского моря по содержанию кадмия наибольшим значением отличались илистые донные отложения ($0,9 \pm 0,04$ мг/кг) [20]. Концентрация этого металла в песчаных и ракушечных грунтах, по сравнению с илистым, ниже в 1,3 и 1,5 раза, соответственно, и накопление металла ракушечными грунтами минимальное – $0,7 \pm 0,02$ мг/кг сухого вещества. В Средней части Каспийского моря кадмий в

максимальном количестве аккумулировался илистыми грунтами ($1,3 \pm 0,13$ мг/кг), а в минимальном – песчаными ($0,80 \pm 0,08$ мг/кг). Ранее Е. В. Островская с соавторами [4] отмечали самые высокие концентрации кадмия в осадках глубоководных зон Средней части Каспийского моря, в то же время в прибрежной части наблюдались более низкие его концентрации. По данным Е. В. Островской с соавторами [4] в период с 2012–2014 гг. донные осадки характеризовались высоким уровнем обогащения кадмием. При этом максимальных значений кадмий достигал в 2014 г. и составлял 0,25 мг/кг. Сравнивая наши данные, с ранее опубликованными [4], можно отметить дальнейшее увеличение концентрации кадмия во всех видах исследованных донных отложений.

Ракушечные грунты по сравнению с песчаными и илистыми отличались максимальными значениями ртути ($0,0095 \pm 0,0002$ мг/кг), а значение ртути в иле выше более чем в 4 раза, чем в песке ($0,0087 \pm 0,0004$ и $0,002 \pm 0,0004$ мг/кг). В донных отложениях Средней части Каспийского моря отмечена аналогичная закономерность: наибольшие значения металла выявлены в ракушечных грунтах ($0,016 \pm 0,002$ мг/кг). Несколько ниже отмечены значения ртути в илистых грунтах ($0,012 \pm 0,002$ мг/кг). А песчаные отложения отличались минимальными значениями, которые в 3 и 4 раза ниже, чем в илах и ракушечных грунтах. При сравнении донных отложений Северной и Средней частей Каспийского моря по уровню накопления исследованного металла показано, что концентрация ртути во всех типах грунтов выше в Средней части Каспийского моря. Ранее на это обращали свое внимание Е. А. Романкевич и Н. А. Айбулатов [22]. При этом они отмечали сильное загрязнение донных осадков северо-западной части Средней части Каспийского моря. По сравнению со значениями концентрации ртути в донных отложениях северо-западной части Каспийского моря за 2014 год [4] наши значения ниже [20]. Полученные средние концентрации ртути в различных грунтах Северной части Каспийского моря также ниже зарубежных стандартов качества.

Таким образом, в Северной и Средней частях Каспийского моря выявлены особенности распределения химических элементов в различных типах донных отложений:

Северная часть Каспийского моря

Илистые донные отложения: Fe>Mn>Ni>Cr>Zn>Pb>Cu>Co>Cd>Hg;

Песчаные донные отложения: Fe>Mn>Zn>Ni>Pb>Cr>Co>Cu>Cd>Hg;

Ракушечный донные отложения: Fe>Cr>Ni>Co>Mn>Pb>Cu>Zn>Cd>Hg.

Средняя часть Каспийского моря

Илистые донные отложения: Fe>Mn>Cu>Ni>Cr>Zn>Pb>Co>Cd>Hg;

Песчаные донные отложения: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Co>Cd>Hg;

Ракушечный донные отложения: Fe>Cr>Ni>Co>Cu>Pb>Mn>Zn>Cd>Hg [20].

Все типы донных отложений отличались наибольшей степенью аккумуляции железа и наименьшей – ртути.

В Северной части Каспийского моря накопление таких элементов как свинец, цинк, кобальт (песчаный грунт), никель (илистый грунт), марганец и хром (илистый и ракушечный грунты) выше, чем в Средней части Каспийского моря.

Содержание большинства металлов в донных отложениях Северной и Средней частях Каспийского моря находятся в пределах нормы зарубежных стандартов качества. Исключение составляет кадмий, что свидетельствует о высоком уровне загрязнения донных отложений (особенно илистых) Северной и Средней частей Каспийского моря.

На основании вышесказанного выявлены некоторые особенности распределения изученных металлов в донных отложениях Северной и Средней части Каспийского моря. Так, в Северной части Каспийского моря, по сравнению со Средней частью Каспийского моря, в илах шло в основном накопление никеля, марганца и хрома. Песчаные грунты в большей мере аккумулировали свинец, кобальт и марганец, ракушечные грунты – железо, марганец. В Средней части Каспийского моря преимущественно аккумулировались илами медь, железо; песчаным грунтом – медь, железо, ракушечным – кадмий, медь.

Различия в содержании остальных элементов в грунтах Северной и Средней части Каспийского моря недостоверны ($p > 0,05$).

Илистые и песчаные грунты по сравнению с ракушечными аккумулировали металлы в большей мере. Это связано с тем, что по своим свойствам илистые и песчаные грунты похожи: обладают высокой пористостью. При этом илы образуются как структурный осадок в воде при наличии микробиологических процессов, поэтому они богаче содержанием органических веществ, которые в песке не задерживаются. Помимо этого известно, что аккумуляция металлов в профиле почв зависит от наличия в нем гумуса и илистой фракции [23], уменьшение количества металлов связано с уменьшением количества гумуса и илистой фракции. Этим можно объяснить накопление элементов преимущественно илистыми донными отложениями по сравнению с песчаными и ракушечными.

На фоне результатов исследований других типов донных отложений илистые являлись основными накопителями металлов (свинца, меди, цинка, железа, никеля, марганца); ракушечные – кобальта. Накопление кобальта можно объяснить преимущественным его накоплением раковинной моллюсков. На что ранее указывала Ю. С. Зверькова [24] в отношении моллюсков *Viviparus viviparus*. По мнению А. В. Махлун с соавторами [25] некоторые металлы, такие как никель и кобальт способны аккумулироваться в раковинах моллюсков в достаточно высоких концентрациях. Так, в ракушечных грунтах зафиксировано достаточно высокое количество никеля и хрома. Следует отметить, что различия в уровнях накопления указанных элементов в ракушечных грунтах, как в Северной части Каспийского моря, так и в Средней части Каспийского моря недостоверны. Ракушечные грунты Северной части Каспийского моря по сравнению с песчаными и илистыми отличались максимальными значениями ртути ($0,0095 \pm 0,0002$ мг/кг).

Илистые и песчаные донные отложения имели сходную картину распределения химических элементов. Ряд убывания содержания металлов в илистых и песчаных донных отложениях Северной и Средней части Каспийского моря содержит общие черты в распределении некоторых элементов:

$Fe > Mn > Zn > Pb > Co > Cd > Hg$,

а ряд убывания содержания тяжелых металлов в ракушечных грунтах:

Fe > Cr > Ni > Co > Pb > Zn > Cd > Hg.

При этом илистые донные отложения аккумулировали вышеперечисленные микроэлементы в большей степени, чем песчаные. Так, например, концентрация ртути в иле превосходила в 4 раза таковую в песке. Известно, что илы часто становятся депо накопления загрязняющих веществ токсичными для донных обитателей, источником вторичного загрязнения вод [23, 24].

В грунтах Северной части Каспийского моря происходило осаждение таких химических элементов как свинец, цинк, никель, хром и марганец, а в грунтах Средней части Каспийского моря – кадмий, медь, железо и ртуть. Существенных различий в накоплении кобальта грунтами Северной и Средней части Каспийского моря не выявлено. Накопление металлов в районе зоны смешения морских и речных вод является следствием работы маргинального фильтра океанов, который способен осаждать около 90 % взвешенных и 40 % растворенных форм тяжелых металлов [23], являясь своего рода естественным барьером на пути поступления в мировой океан материковых загрязнений. Здесь вследствие коагуляции начинают интенсивно осаждаться тяжелые металлы, такие как Mn, Ni, Zn и Pb.

Для сравнения содержания элементов в земной коре и донных отложений Северной и Средней частей Каспийского моря (северо-западная часть) рассчитаны кларки концентраций элементов относительно кларков по А. П. Виноградову, которые отражены в таблице 2.

Таблица 2

Кларки концентрации химических элементов

		Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Hg
Кларк по А. П. Виноградову (1957) [25]		38000	20	850	50	40	8	200	10	0,5	0,01
Северная часть Каспийского моря	Ил	0,07	0,41	0,25	0,32	0,50	0,87	0,08	1,12	1,86	0,87
	Песок	0,06	0,21	0,08	0,24	0,21	0,60	0,04	0,82	1,42	0,2
	Ракушка	0,01	0,30	0,01	0,09	0,32	1,40	0,09	0,69	1,28	0,95
Средняя часть Каспийского моря	Ил	0,19	0,82	0,08	0,20	0,30	0,90	0,06	0,95	2,6	1,2
	Песок	0,08	0,44	0,05	0,19	0,20	0,36	0,03	0,31	1,6	0,4
	Ракушка	0,003	0,54	0,01	0,05	0,31	1,40	0,07	0,52	1,94	1,6

Следует отметить, что все исследованные металлы, кроме кадмия и ртути, имеют низкую биофильность, в связи с тем, что их концентрация ниже, чем в литосфере.

Рассчитанные нами кларки концентрации указывали на колебание значений для донных отложений Северной и Средней части Каспийского моря в пределах единицы, что свидетельствует об их рассеянии в минеральном теле. При этом наименьшие кларки концентрации показаны для марганца, хрома, никеля, цинка и железа. Высокие значения кларков концентрации кадмия свидетельствуют об их

накоплении, а, следовательно, можно говорить о некотором загрязнении этим металлом.

В связи с тем, что Астраханская область территориально близка с Каспийским морем, находится в пределах одной литосферной плиты, целесообразно сравнить содержание некоторых изученных химических элементов в основных типах почв Астраханской области и донных отложениях Каспийского моря. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3
Содержание меди, цинка и марганца в различных типах донных отложений водных и наземных экосистем Прикаспийской низменности в мг/кг сухого вещества

Виды грунтов	Cu	Zn	Mn
Северный Каспий			
Илистый	8,22±1,5	15,84±3,17	215,02±21,06
Песчаный	4,26±0,41	11,90±1,55	70,33±16,1
Ракушечный	6,07±0,77	4,85±1,28	8,65±0,35
Средний Каспий			
Илистый	16,38±1,22	10,14±1,18	72,04±12,48
Песчаный	8,74±0,94	9,84±0,87	46,28±8,66
Ракушечный	10,70±1,02	2,72±0,62	4,34±0,55
Среднее содержание микроэлементов в основных типах почв Астраханской области (Гундарева,2006)			
Почвы	16,6	47,8	152,1

Региональные ландшафтно-геохимические исследования показали основные закономерности дифференциации анализируемых в работе химических элементов.

Грунты и почвы исследованных территорий и акваторий, являются отчасти, составной частью почвенного покрова Прикаспийской низменности. В свою очередь, исследуемые почвы в сравнении с почвами центральной части РФ, представляют молодое образование. Их формирование во многом зависело от изменения уровня Каспийского моря, влияющего на химический состав и местоположение почвообразующих пород, что создало своеобразную неоднородность и малый размер различных структурных и химических групп почв области.

Согласно данным А. Н. Гундаревой [17] по меди, цинку и марганцу, в почвах Астраханской области содержится достаточно высокое количество марганца по сравнению с медью и цинком и показано низкое содержание меди, что связано с особенностями почвообразующих пород Прикаспийской низменности и вполне согласуется с результатами наших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований по выявлению содержания Fe, Cu, Mn, Ni, Zn, Co, Cr, Pb, Cd, Hg Каспийского моря показали:

1. Илистые донные отложения являются основными накопителями некоторых металлов (Pb, Cu, Zn, Fe, Ni, Mn) по сравнению с песчаными и ракушечными;
2. Во всех исследованных видах донных отложений Северной и Средней части Каспийского моря в наибольшем количестве аккумулируется железо ($7390,83 \pm 5,44$ мг/кг), а в наименьшем – ртуть ($0,002 \pm 0,0004$ мг/кг);
3. В донных отложениях Северной части Каспийского моря из изучаемых элементов осаждаются свинец, цинк, никель, хром и марганец, а Средней части Каспийского моря – кадмий, медь, железо и ртуть.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства по рыболовству на 2020 год по теме: «Исследование содержания тяжелых металлов в кормовой базе и промысловой ихтиофауне Каспийского моря» № госрегистрации АААА-А20-120032590074-3

Список литературы

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – С.17–28.
2. Алексеенко В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко – М.: Логос, 2000. – 670 с.
3. Брагинский Л. П. Критерии и мера токсичности в биомониторинге речных бассейнов / Л. П. Брагинский // Антропогенные влияния на водные экосистемы. – М., 2005. – С. 9–20.
4. Островская Е. В. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна / Е. В. Островская, В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова – Астрахань: Сорокин Роман Васильевич, 2017. – С. 236–251.
5. Папина Т. С. Пробоотбор, как важная составляющая экоаналитического контроля речных экосистем / Т. С. Папина // Экологическая химия. – 2004. – С. 47–53.
6. Christensen B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover / B. T. Christensen // Europ. J. Soil Sci. – 2001. – Vol. 52. – P. 345–353.
7. Eyrikh S. S. Mercury in glacier ice as indicator of paleo pollution (the prospects and first results from Belukha glacier, Siberian Altai) / S. S. Eyrikh, M. Schwikowski, H. W. Gaggeler // High Latitude Paleoenvironments Meeting. – Moscow, 2002. – P. 28–29
8. Gyu H. Laboratory theory and methods for sediments analysis / H. Gyu // U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations. – 1969. – № 5, chapter C1. – P. 58.
9. Болотов В.П. Оценка содержания и миграция тяжелых металлов в экосистемах Волгоградского водохранилища: дис. ... канд. биол. наук. / В. П. Болотов. – Москва, 2015. – 120 с.
10. Campbell C. A. Tillage-fertilizer changes: Effect on some soil quality attributes under long-term crop rotations in a thin black Chernozem / C. A. Campbell, F. Selles, G. P. Lafond, V. O. Biederbek, R. P. Zentner // Can. J. Soil Sci. – 2001. – V.81. – P.157–165.
11. Meng Wei. On approaches of estuarine ecosystems health studies / Wei Meng, Lusan Liu // Estuarine, Coast, and Shelf Sci. – 2010. – Vol. 86, № 3. – P. 313–316.
12. Нахшин Е. П. Тяжелые металлы в системе вода – донные отложения / Е. П. Нахшин. – Л.:Наука, 1982. – С. 215.
13. Денисова А. И. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды / А. И. Денисова, Е. П. Нахшина, Б. И. Новиков, А. К. Рябов – Киев: Наукова думка, 1987. – 164 с.
14. Нахшин Е. П. Тяжелые металлы в системе вода – донные отложения / Е. П. Нахшин. – Л.:Наука, 1982. – С. 215.
15. CCME (Canadian Council of the Ministers of the Environment). Canadian Environmental Quality Guidelines Winnipeg, 2001.

16. Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря. – М.: Недра, 1996. – 502 с.
17. Гундарева А. Н. Биогенная миграция меди, цинка и марганца в наземных экосистемах Астраханской области: дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.32 Биологические ресурсы / А. Н. Гундарева. – Астрахань, 2006. – 186 с.
18. Шабоянц Н. Г. Биохимические особенности миграции металлов в пресноводных и морских экосистемах Волго-Каспийского бассейна: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.18 Гидробиология / Н. Г. Шабоянц – Астрахань, 2009. – 24 с.
19. Батовская Е. К. Уровни содержания тяжелых металлов в Прикаспийской низменности / Е. К. Батовская, А. А. Жилкин, И. В. Халяпина // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 8. – С. 134–139.
20. Чаплыгин В. А. Тяжелые металлы в кормовых организмах и осетровых (*Acipenser persicus* и *Acipenser gueldenstaedtii*) Каспийского моря в связи с условиями обитания: дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.06 Ихтиология / В. А. Чаплыгин – Астрахань, 2019. – 184 с.
21. Зайцев В. Ф. Ртуть и кадмий в экосистеме Каспийского моря / В. Ф. Зайцев, Т. С. Ершова, В. А. Чаплыгин, А. С. Танасова // Современные методы исследования содержания тяжелых металлов в окружающей среде (Череповец, 14–16 мая 2018 г.): тезисы Всероссийской научной конференции и школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов. – Череповец: Череповецкий гос. ун-т, 2018. – 78 с.
22. Романкевич Е. А. Геохимическое состояние морей России и здоровье человека / Е. А. Романкевич, Н. А. Айбулатов // Вестник отделения наук о земле РАН. – 2004. – № 1. – С. 1–16.
23. Гордеев В. В. Система река-море и ее роль в геохимии океана: дисс. ... док. геолого-мин. наук: 25.00.28 Океанология / В. В. Гордеев. – М., 2009. – 240 с.
24. Зверькова Ю. С. Экологическая оценка реки Днепр (в пределах Смоленской области) по комплексу гидрохимических и гидробиологических показателей дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.08 – Экология / Ю. С. Зверькова. – Тольятти, 2011. – 222 с.
25. Махлун А. В. Микроэлементный состав донных сообществ авандельты Волги и западной части Северного Каспия: дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.10 Гидробиология / А. В. Махлун – Севостополь, 2017. – 157 с.
26. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. / А. П. Виноградов – М.: изд.-во АН СССР, 1957. – 298 с.

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF BOTTOM SEDIMENTS IN SOME AREAS OF THE CASPIAN SEA

Yershova T. S.¹, Zaitsev V. F.¹, Chaplygin V. A.², Shaboyants N. G.³

¹*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

²*Volga-Caspian Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography-KaspNIRKh, Astrakhan, Russia*

³*Astrakhan State Medical University of the Ministry of health of the Russian Federation, Astrakhan, Russia*

E-mail: ershova_ts@mail.ru

The Caspian Sea is the only body of water of its kind, which is characterized by a peculiar species composition of organisms, among which sturgeon fish species are of the greatest value. Pollution of the marine ecosystem destroys the habitat of aquatic bioresources, which affects the conservation of the biological diversity of the Caspian Sea.

Studies of the elemental composition of ecosystem components allow us to assess the biogeochemical state of the Caspian Sea as a whole and identify the threat of reducing the species biodiversity of hydrobionts.

The chemical composition of bottom sediments largely determines the biomass of benthos, which plays an important role in the nutrition of valuable commercial species of sturgeon, and is also one of the sources of water enrichment with biogenic substances. At the same time, soils serve as an indicator of the degree of contamination of the aquatic ecosystem. Due to the fact that the soil-forming rocks of the Caspian lowland are mainly represented by manganese-containing clays, the content of manganese in the soils of the studied area of the Caspian Sea is quite high, especially in the Northern part of the Caspian Sea, where it enters with river runoff.

It was found that all the studied types of bottom sediments of the Caspian Sea were characterized by the highest degree of iron accumulation; in the Northern and Middle parts of the Caspian Sea, mercury was the lowest concentration. Silty and sandy bottom sediments accumulate metals to a greater extent than shell sediments. This is due to the fact that the properties of silty and sandy bottom sediments are similar: they have a high porosity. In the soils of the Northern part of the Caspian Sea, such elements as lead, zinc, nickel, chromium and manganese are deposited, and in the soils of the Middle part of the Caspian Sea – cadmium, copper, iron and mercury. There were no significant differences in the accumulation of cobalt in the soils of the Northern and Middle parts of the Caspian Sea.

Keywords: chemical elements, accumulation, bottom sediments, shell, sandy, silty soils, Caspian Sea.

References

1. Alekin O. A. *Fundamentals of hydrochemistry*, 17 (Leningrad : Gidrometeoizdat, 1970). (in Russ.).
2. Alekseenko V. A. *Environmental Geochemistry*, 670 (Logos, M., 2000). (in Russ.).
3. Braginsky L. P. Criteria and measure of toxicity in biomonitoring of river basins, *Anthropogenic effects on aquatic ecosystems*, **9** (2005). (in Russ.).
4. Ostrovskaya E. V., Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V. *Pollutants in the waters of the Volga-Caspian Basin*, 236 (Astrakhan: Roman V. Sorokin, 2017). (in Russ.).
5. Papina T. S. Sampling as an important component of ecoanalytic control of river ecosystems. *Environmental chemistry*, 47 (2004). (in Russ.).
6. Christensen B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *Europ. J. Soil Sci.*, **52**, 345 (2001).
7. Eyrikh S. S., Schwikowski M., Gaggeler H. W. Mercury in glacier ice as indicator of paleo pollution (the prospects and first results from Belukha glacier, Siberian Altai). *High Latitude Paleoenvironments Meeting*, 28 (Moscow, 2002). (in Russ.).
8. Gyu H. Laboratory theory and methods for sediments analysis, *U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations*, **5**, 58 (1969).
9. Bolotov V. P. *Assessment of the content and migration of heavy metals in the ecosystems of the Volgograd reservoir*: dis. ... cand. biol. sciences, 120 (Moscow, 2015). (in Russ.).
10. Campbell C. A., Selles F., Lafond G. P., Biederbek V. O., Zentner R. P. Tillage-fertilizer changes: Effect on some soil quality attributes under long-term crop rotations in a thin black Chernozem, *Can. J. Soil Sci.*, **18**, 157 (2001).
11. Meng Wei, Lusan Liu. On approaches of estuarine ecosystems health studies, *Estuarine, Coast and Shelf Sci.*, **86** (3), 313 (2010).
12. Nachshin E. P. *Heavy metals in the system water – sediment*, 215 (L.:Nauka, 1982). (in Russ.).

13. Denisova A. I., Nakhshina E. P., Novikov B. I., Ryabov A. K. *Bottom sediments of the reservoirs and their impact on water quality*, 164 (Kiev: Naukova dumka, 1987). (in Russ.).
14. Nakhshin E. P. Heavy metals in the water-bottom sediments system, 215 (L.: Nauka, 1982).
15. CCME (Canadian Council of the Ministers of the Environment). *Canadian Environmental Quality Guidelines Winnipeg* (2001). (in Russ.).
16. *Technogenic pollution and the processes of natural self-purification of the Pre-Caucasian zone of the Black Sea*, 502 (M.: Nedra, 1996). (in Russ.).
17. Gundareva A. N. *Biogenic migration of copper, zinc and manganese in terrestrial ecosystems of the Astrakhan region*: diss. ... cand. biol. sciences: 03.00.32 Biological resources, 186 (Astrakhan, 2006). (in Russ.).
18. Shaboyants, N. G. *Biochemical features of metal migration in freshwater and marine ecosystems of the Volga-Caspian basin*: abstract. diss. ... cand. biol. sciences: 03.00.18 Hydrobiologiya, 24 (Astrakhan, 2009). (in Russ.).
19. Batovskaya E. K., Zhilkin A. A., Khalyapina I. V. Levels of heavy metal content in the Caspian lowland. *Bulletin of the RUDN. Ser. Ecology and life safety*, **8**, 134. (2003). (in Russ.).
20. Chaplygin V. A. *Heavy metals in forage organisms and sturgeon (Asipseg persicus and Acipenser gueldenstaedtii) Of the Caspian Sea in connection with habitat conditions*: diss. ... cand. biol. sciences: 03.02.06 Ichthyology, 184 (Astrakhan, 2019). (in Russ.).
21. Zaitsev V. F., Ershova T. S., Chaplygin V. A., Tanasova A. S. *Mercury and cadmium in the ecosystem of the Caspian sea. Modern methods for studying the content of heavy metals in the environment*: Abstracts of the all-Russian scientific conference and school-seminar for young scientists, postgraduates and students (Cherepovets, may 14-16, 2018), 78 (Cherepovets: Cherepovets state University. UN-t, 2018). (in Russ.).
22. Romankevich E. A., Aybulatov N. A. Geochemical state of the seas of Russia and human health. *Bulletin of the Department of Earth Sciences of the Russian Academy of Sciences*, **1**, 16. (2004). (in Russ.).
23. Gordeev V. V. *The river-sea system and its role in ocean geochemistry*: Diss. ... doctor of geological and mineral sciences: 25.00.28 Oceanology, 240 (Moscow, 2009). (in Russ.).
24. Zverkova Yu. S. *Ecological assessment of the Dnieper river (within the Smolensk region) according to the complex of hydrochemical and hydrobiological indicators* diss. ... cand. biol. sciences: 03.02.08-Ecology, 222 (Tolyatti, 2011). (in Russ.).
25. Makhlyn A. V. *Microelement composition of the bottom communities of the Volga Avandelta and the western part of the Northern Caspian* : diss. ... cand. biol. sciences: 03.02.10 Gidrobiologiya, 157 (Sevastopol, 2017). (in Russ.).
26. Vinogradov A. P. *Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils*, 298 (M.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1957). (in Russ.).

УДК 598.1:591.53 (477.75)

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-2-58-68

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ВОЗРАСТНЫХ
СОСТОЯНИЙ *PTILOSTEMON ECHINOCEPHALUS* (WILLD.) GREUTER
(*LAMYRA ECHINOCEPHALA* (WILLD.) TAMAMSCH.)**

Заднепровская Е. В.¹, Вахрушева Л. П.²

¹*ФГБУН Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук,
Москва, Российская Федерация*

²*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: vakhl@inbox.ru*

В статье приводится описание онтогенетических состояний *Ptilostemon echinocephalus*, для каждого из которых выявлены морфологические критерии, дифференцирующие особи прегенеративного, генеративного и сенильного периодов онтогенеза. Установлена длительность пребывания особей в каждом из них и общая длительность онтогенетического развития, продолжающаяся 15–18 лет. Отмечается специфика хода онтогенеза в зависимости от эколого-ценотических условий, имеющих отличия в сообществах петрофитных степей и фриганоидных фитоценозах Крыма.

Ключевые слова: *Ptilostemon echinocephalus*, морфологические критерии, возрастные состояния, фриганоидные фитоценозы, петрофитные степи, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Ptilostemon Cass. (incl. *Lamyra* (Cass.) Cass., *Chamaepeuce* DC. – род семейства Asteraceae, включающий, согласно данным Международного альянса Asteraceae (TICA) [1] и международной базе данных The Plant List [2], 18 видов растений, произрастающих на Крымском полуострове, Кавказе, в Южной Европе и Малой Азии [3].

На территории Крыма и Российской Федерации обнаружен только один вид данного рода – *Ptilostemon echinocephalus* (Willd.) Greuter (*Lamyra echinocephala* (Willd.) Tamamsch.) – реликтовый вид. Ареал *Ptilostemon echinocephalus* охватывает Крым, Кавказ, Малую Азию. Он внесен в Красную книгу Республики Крым [4], а также в Красные книги Краснодарского [5] и Ставропольского краев [6, 7].

Ptilostemon echinocephalus показывает достаточно широкую фитоценотическую амплитуду в пределах Горного Крыма, встречаясь от петрофитных степей до фриганоидных фитоценозов, о чем свидетельствуют публикации В. В. Корженевского и Л. Э. Рыфф [8, 9], а также наши предшествующие исследования [10, 11], позволившие первично установить некоторые онтогенетические признаки вида и его фитоценотическую приуроченность. Однако, несмотря на указанный в ККРК статус «2» (редкий) [4], с популяционной точки

зрения *Ptilostemon echinocephalus* остается малоизученным. Адаптивная стратегия вида и возможность успешно существовать в разнообразных эколого-ценотических условиях, как известно, проявляется через признаки популяционной структуры и, прежде всего, посредством особенностей онтогенетической структуры. Предварительной ступенью для ее изучения является нахождение комплекса морфологических критериев, характеризующих различные онтогенетические состояния, что и составляет цель настоящего исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основная часть исследований проводилась в фитоценозе петрофитной степи *Stipeto-Satureetum festucoso-lamiriosum* на территории ландшафтно-рекреационного парка «Битак», в окр. Симферополя [10, 11] а также в петрофитных степях и фриганоидных сообществах Долгоруковской яйлы, Чатырдага, Мангуп Кале в 2017–2020 гг.

Выявление и учет качественно-количественных критериев морфологических признаков возрастных состояний особей *Ptilostemon echinocephalus* осуществлялись в соответствии с классическими методами [12–16].

Проростки и ювенильные особи наблюдали как в природных условиях, так и в условиях искусственного выращивания. Проращивание семян осуществлялось согласно ГОСТу [17], однако в связи с малым количеством семян и редкостью растений, число заложённых для опыта семян на чашку Петри ограничивалось 10–25 шт. Проклюнувшиеся семена высаживали в смесь торфа, агроперлита и вермикулита (1:1:1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее возрастные состояния *P. echinocephalus* (*L. echinocephala*) были предварительно подразделены на периоды онтогенеза: латентный, прегенеративный, генеративный и сенильный [11]. В настоящей статье представлены разработанные авторами схематические изображения прегенеративной фазы развития *P. echinocephalus*, с детализацией морфогенеза листа, а также уточнен комплекс качественно-количественных морфологических признаков для дифференциации растений прегенеративного и генеративного онтогенетических состояний.

Главными признаками дифференциации прегенеративного периода развития являются количество листьев и степень дифференциации листовой пластинки. Онтогенетические состояния в прегенеративном периоде имеют следующий вид.

Латентный период. Семена (**se**) гладкие, черные, овальные 3–5 мм длиной.

Прегенеративный период. Проростки (**p**) при первоначальном исследовании в естественных популяциях обнаружены не были, поэтому их изучение осуществлялось в лабораторных условиях, позднее – были найдены во фриганоидных фитоценозах (2020 г.). Проростки появлялись в течение 5–10 дней после посева, гипокотиль достигал длины до 3 см, развивая два семядольных листа ярко-зеленого цвета округло-овальной формы: длиной до 1,5 см и шириной – 0,3–

0,6 см. В начале ранне-весенней вегетации (апрель–май) проростки легко обнаруживались в естественных фитоценозах, причем наиболее обильны они были во фриганоидных сообществах.

Ювенильное состояние (j). Переход проростков в ювенильное состояние происходил через 21–30 дней. В этом возрасте сохраняются семядольные листья, но в начальный период ювенильного возраста они остаются зелеными, по мере взросления – становятся буро-зелеными, а в зрелом ювенильном – черно-бурыми, полностью высыхая к моменту перехода в имматурную фазу онтогенеза. У ювенильных особей развивается 4–7 зеленых ланцетных листьев с острой верхушкой, длиной от 0,7 см до 3,5 см. Во всех исследуемых образцах вторая пара листьев (внутреннего круга розетки) превышает длину первой в 3 раза (рис. 1 а, б).

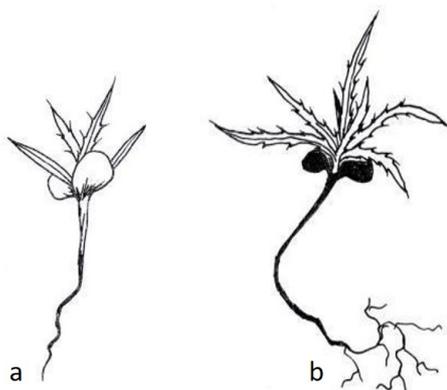


Рис. 1. Ювенильная стадия развития (а – молодое, б – зрелое растение) (схема – рис. Заднепровской Е. В.).

У молодых ювенильных растений лист ланцетовидной формы с ровным краем листовой пластинки и острой верхушкой. Затем на верхушке листа появляется «шипик», дальнейшая дифференциация происходит следующим образом: с обеих сторон листовой пластинки симметрично формируются «шипик», а к окончанию ювенильного возраста в месте локализации латеральных «шипиков» образуется зубчик листа (при этом острие сохраняется на каждом его зубчике) (рис. 2). В ювенильном возрастном состоянии растение пребывает до конца первого вегетационного сезона, а в конце переходит в молодое имматурное состояние и уходит в первую перезимовку. В случае влажного летнего сезона ювенильные растения продолжают формировать листья ювенильной биоморфы (до 15 шт.) и, в виде зрелого ювенильного растения, уходят в перезимовку. Таким образом, скорость прохождения фаз онтогенеза замедляется в условиях достаточного количества атмосферной влаги.

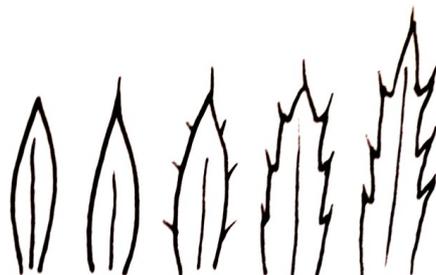


Рис. 2. Развитие и дифференциация листовой пластинки *P. echinocephalus* в ювенильной (j) стадии онтогенеза (схема – рис. Заднепровской Е. В.).

Общими закономерностями динамики развития молодых особей в составе растительных сообществ являются следующие: обычно проростки и ювенильные растения, появляясь обильно ранней весной, произрастают группами и поселяются рядом с материнскими растениями, но уже к имматурному возрасту происходит сильное изреживание и от группировок остаются единичные растения, которые в небольшом количестве сохраняются к началу–середине лета. В период сильной засухи, наступающей в августе, происходит еще одно отмирание молодых растений, что заметно сказывается на базовом онтогенетическом спектре, поскольку в нем всегда доминируют генеративные особи. Растения всех других возрастных состояний *Ptilostemon echinocephalus* оказываются малоустойчивыми для выживания в этих экстремальных условиях. В петрофитных степях проростки появляются также в заметном количестве ранней весной, локализируются на участках, лишенных растительного покрова или с малыми значениями проективного покрытия (10–12 %) других видов сообщества, поскольку в таких локусах снижена конкурентная напряженность. Однако в дальнейшем они массово элиминируются как вследствие усиливающейся с возрастом конкуренции, так и в связи с наступлением засушливого периода. В результате эти особенности находят выражение в различной пространственной структуре особей, формирующейся в петрофитных степях и во фриганодных сообществах.

Имматурное состояние (im). В этом возрасте у растения обнаруживаются от 7 до 14 зеленых вегетирующих листьев, длиной от 3,0 до 10,0 см, глубина рассечения листовых пластинок составляет 0,1–0,8 см. Чем более молодой лист, тем больше глубина рассечения его листа. Таким образом, зубчатый край листовой пластинки, сформировавшийся в ювенильном возрасте, преобразуется у имматурного растения в лопастной лист, каждая узкая лопасть которого заканчивается шипиком. В зависимости от особенностей прохождения ювенильной фазы, у имматурных особей сохраняются 8–15 сухих ювенильных листьев.

Найденные морфометрические отличия позволили дифференцировать особи на молодые имматурные (im_1) и зрелые имматурные (im_2) (табл. 1). Принципиальное отличие их морфологии в том, что у имматурной зрелой особи (в переходном возрастном состоянии к виргинильной) в области каудекса уже может иметь место начальная партикуляция, и тогда формируются особи с двумя розетками (рис. 4).

Таблица 1.
Морфометрические признаки имматурных растений *P. echinocephalus*

Стадия	Количество вегетирующих листьев, шт.	Количество сухих листьев, шт.	Длина листа, см	Глубина рассечения листа, см	Длина корневой шейки
im ₁	7–12	8–12	3,0–7,5	0,1–0,5	1,5–4,7
im ₂	10–14	10–15	6,0–10,0	0,4–0,8	5,0–8,5

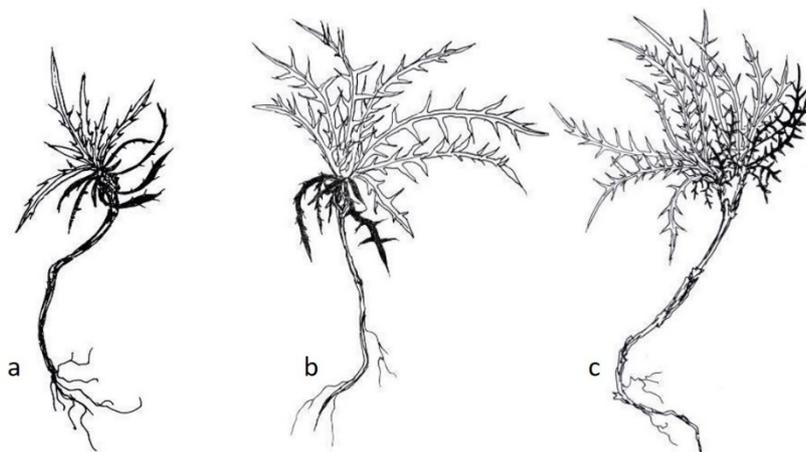


Рис.4. а – имматурная молодая особь (im₁), имматурные взрослые растения (im₂) с одной (b) и двумя розетками (c). Черным цветом обозначены высохшие листья (схема – рис. Заднепровской Е. В.).

В имматурном возрасте *P. echinocephalus* может пребывать 1–2 года, уходя во вторую перезимовку как в молодом, так и во взрослом имматурном возрасте.

Виргинильное возрастное состояние (v). В следующую фазу онтогенеза *Ptilostemon echinocephalus* переходит на 2–3 год жизни и пребывает в ней до двух лет. В виргинильной фазе онтогенеза (рис. 5) количество отмерших листьев достигает 40–45, из них около 15 – это листья имматурного возраста, 25–30 засохших листьев, но уже с признаками глубины рассечения листовой пластинки, характерной для виргинильных растений. Вегетирующих зеленых листьев почти столько же, т.е. от 20 до 25 штук (длина зеленых листьев – 8–15 см), глубина рассечения листовой пластинки – 0,9–2,0 см. При таких особенностях морфологии листа, начиная с виргинильного возраста, его следует считать рассеченным (рис. 5). В случае, если виргинильное растение формирует две розетки, то процессы усыхания листьев идут еще интенсивнее, и засохших бывает в 2 раза больше, чем вегетирующих (Рис. 5b). Следовательно, для дифференциации возрастных состояний у *P. echinocephalus*, важно учитывать не только размер листьев и глубину (степень) рассечения листовой пластинки, но и такой признак как соотношение

усохших и вегетирующих листьев, начиная с виргинильного возраста. Однако в классической биоморфологии рекомендуют данный прием использовать, начиная с генеративного и сенильного возрастов [13]. Вероятно, в связи с тем, что растения *P.echinocephalus* нередко обитают на чрезвычайно сухих экотопах – осыпных мергелистых склонах, часто и в условиях недостатка питательных веществ, где полностью отсутствует почвенный слой, а растения фактически растут на материнской породе, дефицит влаги и элементов питания «заставляет» их (ради выживания) вырабатывать особый, специфический механизм адаптации, который приводит к раннему усыханию листьев. Это обуславливает возникновение несоответствия у еще растущего растения в соотношении количества нарастающих и отмирающих частей растения.



Рис. 5. Виргинильная (v) особь (a – однорозеточная виргинильная, b – виргинильная двурозеточная) (фото авторов).

Генеративный период. Генеративное возрастное состояние (g). Генеративный возраст у *P.echinocephalus* наступает на 4–5 год жизни. Генеративные растения были подразделены на: молодые генеративные (g_1), взрослые (зрелые) генеративные (g_2) и старые генеративные (g_3). В нашей выборке **молодые генеративные** (g_1) растения высотой до 30 см развивают от одной до трех розеток, образующих генеративные побеги с 1–6 корзинками (с фертильными цветками); вегетативных розеток 1–3 шт. Усохшие прошлогодние побеги и розетки с высохшими листьями присутствуют у растений этого возраста в числе 3–5 шт. Часть этих розеток может сохраниться от виргинильного возраста. Растение находится в молодом генеративном возрасте 2–3 года.

Взрослые (зрелые) генеративные (g_2) показывают наибольшие показатели в развитии вегетативной и генеративной сфер. Растения g_2 морфологически хорошо развиты, достигают высоты 30–50 см, развивают до 12 генеративных побегов, диаметр «куста» достигает 50–60 см. Максимальное количество корзинок на одном побеге – 6, все с фертильными цветками. Вегетативных розеток – 3 шт., розетки с высохшими листьями присутствуют в количестве 6 до 9 шт. (иногда до 10). Растение пребывает в этом возрасте до 4–5 лет. Здесь еще имеет место некоторое

преобладание процессов роста над процессами отмирания (рис. 6b), в сообществах петрофитных степей примерно в соотношении 60/40. Зрелые генеративные растения доминируют также в исследованных фриганоидных сообществах. На склоновых экотопах у них развивается морфологическая адаптация в форме удлиненных ксилоризомов, которые обеспечивают растениям более надежное закрепление на динамичном грунте, слагаемом мергелистыми и мергелисто-глинистыми частицами эдафотопы. Кроме того, во фриганоидных сообществах у генеративных растений наблюдается соотношение сухих и зеленых листьев как 70/30, т.е. такое же, как это имеет место только у субсенильных и сенильных растений в петрофитных степях.



Рис. 6. Молодая g_1 (a) и зрелая g_2 (b) генеративные особи *Ptilostemon echinocephalus* (фото авторов).

Что касается особей **старого генеративного возраста (g_3)**, то признаки, избранные нами для дифференциации, остаются теми же, что и для предыдущих возрастных состояний: высота растений, как правило, не превышает 30 см, формируется обычно не более двух генеративных побегов, каждый из которых несет 2–3 корзинки. Количество розеток с усохшими листьями достигает 10–12 шт.: к этому возрасту от многих из них остаются высохшие основания побегов с небольшим числом также высохших и частично разрушившихся листьев. Общий габитус растения начинает сильно меняться: происходит переход в состояние «рыхлого куста», т.е. вертикально стоящие побеги несколько отодвигаются друг от друга и приобретают наклонное положение в направлении от центра к периферии, в их прикорневой части формируется плагиотропная часть. Соотношение сухих и вегетирующих частей примерно 75/25. Растение находится в старом генеративном возрасте 2–3 года.

Сенильный период. Особи субсенильного возрастного состояния (ss) характеризуются заметным преобладанием процессов отмирания над процессами роста (рис. 7a), примерно в соотношении 80/20. На особи формируется одна розетка

с зелеными листьями (до 10–12 шт.), дающая один генеративный побег, развивающий максимально до 2 корзинок. Количество розеток с усохшими листьями может достигать у наиболее стойких растений 13–14 шт., а чаще – это 10–12 розеток. Растение находится в субсенильном возрастном состоянии 2 года.

Сенильные особи (s) состоят из многочисленных розеток с усохшими листьями (рис. 7b), некоторые из них в своей верхней части имеют до 8 зеленых листьев. Растение находится на конечной фазе своей вегетации, поэтому отсутствует смысл в определении соотношения сухих и зеленых частей. Розетки с усохшими листьями плохо структурированы, т.к. у них уже в возрасте g_3 начались процессы разрушения усохших листьев и их количество у таких растений подсчитать не представляется возможным. Диаметр особей в этом возрасте может быть до 30–40 см. Растение пребывает в сенильном возрасте не более одного вегетационного периода.

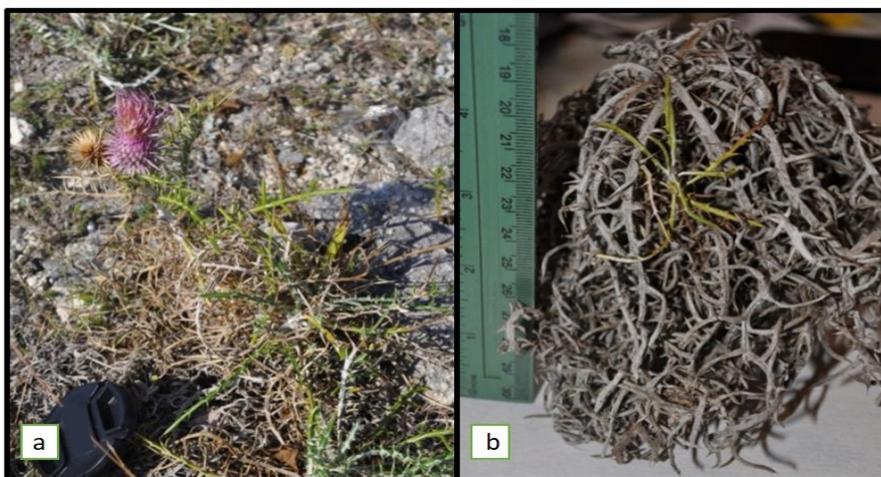


Рис. 7. *P.echinocephalus* в субсенильном (a) возрастном состоянии (ss) и сенильном (b) – s (фото авторов).

В данных фитоценологических и эдафических условиях, характеризующихся высочайшим дефицитом влаги и максимальной для каждой определенной местности инсоляцией, происходит быстрое протекание онтогенеза, быстрое «старение» (почти нет молодых генеративных растений), интенсивное усыхание листьев, начинающееся у виргинильных растений и продолжающееся в сенильном возрасте и ускоряющее переход в старческие состояния, вплоть до быстрого отмирания, чаще всего, не достигнув настоящего сенильного возраста. Для обеспечения существования на экстремальных местообитаниях у *P.echinocephalus* обязательно имеет место вегетативное размножение, поэтому существование популяции обеспечивается как семенным, так и вегетативным способами.

Во фриганоидных сообществах Долгоруковской яйлы и Чатырдага, развитых на южных микросклонах, в наиболее засушливые годы (2019 и 2020 гг.) нами были обнаружены растения, которые по морфологическим признакам соответствовали

генеративным растениям, но находились в нецветущем состоянии. Этот факт позволяет предположить, что в крайне жестких условиях часть особей популяции переходит в квазисенильное возрастное состояние. Но его возврат для продолжения нормального онтогенеза зависит от экотопических (прежде всего погодных условий): если будут осадки, то нормальный ход онтогенеза продолжится, если нет – произойдет быстрое старение и отмирание, например, в **старом генеративном состоянии (g₃)** или субсенильном возрасте, без прохождения последнего этапа онтогенеза - сенильного возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для *Ptilostemon echinocephalus* установлен полный цикл онтогенеза, состоящий из 4 периодов (латентный, прегенеративный, генеративный и сенильный) и 11 возрастных состояний, который особи проходят в течение 15–18 лет.
2. Основными критериями для дифференциации прегенеративных возрастных состояний являются: количество листьев, морфологическая форма листа, форма края листовой пластинки, количество вегетирующих розеток и число розеток с усохшими листьями; для виргинильного возраста найден дополнительный критерий- процентное соотношение усохших и вегетирующих листьев.
3. Основными критериями для дифференциации генеративных возрастных состояний являются: количество генеративных побегов, число корзинок, формирующихся на каждом из них, количество розеток с вегетирующими и усохшими листьями, процентное соотношение сухих и зеленых листьев.
4. Дифференциация субсенильного и сенильного возрастных состояний производится по тем же критериям, которые используются для генеративных особей, основной акцент – на соотношение усохших и вегетирующих частей.
5. Расшифрована специфика хода онтогенеза листа в ювенильном возрасте и характер реализации онтогенеза в целом, в зависимости от эколого-ценотических условий фриганоидных сообществ и петрофитных степей.

Список литературы

1. База данных The Plant List <http://www.theplantlist.org> дата обращения: 01.06.2021.
2. База данных The international compositae alliance – TICA <https://www.compositae.org> дата обращения: 01.06.2021.
3. Tutin T. G. Flora Europaea. Volume 4. / Tutin T. G., Heywood V. H., Burges N. A., Moore D. M., Valentine D. H., Walters S. M., Webb D. A. // Plantaginaceae to Compositae (and Rubiaceae) Cambridge: Cambridge University Press. 1976 – 505 p.
4. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / А. В. Ена, А. В. Фатерыга (ред.). – Симферополь: АРИАЛ, 2015. – 480 с.
5. Красная книга Краснодарского края. Животные. III издание / Отв. ред. А. С. Замотайлов, Ю. В. Лохман, Б. И. Вольфов – Краснодар: Адм. Краснодар. края, 2017. – 720 с.
6. Красная книга Ставропольского края. Т.1: Растения / под ред. А. Л. Иванова. – Ставрополь: Изд-во ОАО «Полиграфсервис», 2002. – 384 с.
7. Красная книга Ставропольского края. Т.1: Растения / под ред. А. Л. Иванова. – Ставрополь: Астериск, 2013. – 400 с.

8. Голуб В. Б. Растительные сообщества класса Onosmato polyphyllae-Ptilostemonetea Korzhenevsky 1990 на территории Черноморского побережья Кавказа и Крымского полуострова / Голуб В. Б., Гречушкина Н. А., Сорокин А. Н., Николайчук Л. Ф. // Растительность России. – 2011. – № 17–18.
9. Рыфф Л. Э. Редкие биотопы эрозионно-денудационных ландшафтов юго-восточного Крыма / Л. Э. Рыфф // Бюллетень ГНБС. – 2017. – № 124.
10. Заднепровская Е. В. Фитоценотическая приуроченность и пространственная структура ценопопуляции *Lamyra echinocephala* (Willd.) Tamamsch в Предгорном Крыму / Заднепровская Е. В. // Дни науки КФУ им. В. И. Вернадского: Сборник тезисов участников III науч. конф. – Симферополь. 2017. – Т.7. – С. 349–351.
11. Вахрушева Л. П. Современное состояние ценопопуляции *Lamyra echinocephala* (Willd.) Tamamsch. в фитоценозах ландшафтно-рекреационного парка «Битак» (окр. г. Симферополя) / Вахрушева Л. П., Заднепровская Е. В. // Вопросы степеведения. – 2019. – №15. – С. 59–62
12. Работнов Т. А. Вопросы изучения состава ценопопуляций для целей фитоценологии / Работнов Т. А. // Пробл. ботаники. – 1950. – Вып. I. – С. 465–483.
13. Уранов А. А. Ценопопуляции растений (развитие и взаимоотношения). / Уранов А. А., Богданова А. Г., Григорьева Н. М. – Москва: Наука, 1975. – 136 с.
14. Смирнова О. В. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). / Смирнова О. В., Заугольнова Л. Б., Ермакова И. М. – Москва: Наука, 1976. – 216 с.
15. Злобин Ю. А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений (учебно-методическое пособие). / Злобин Ю. А. – Изд-во Казанского ун-та, 1989 г. – 147 с.
16. Злобин Ю. А. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения: монография. / Злобин Ю. А., Скляр В. Г., Клименко А. А. – Сумы: Университетская книга, 2013. – 439 с.
17. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями №1, 2). Введ. 1986-07-01. – М.: Стандартиформ, 2011. – 30 с.

MORPHOLOGICAL CRITERIA FOR THE DIFFERENTIATION OF AGE STATUS OF *PTILOSTEMON ECHINOCEPHALUS* (WILLD.) GREUTER (*LAMYRA ECHINOCEPHALA* (WILLD.) TAMAMSCH.)

Zadneprovskaya E. V.¹, Vakhrusheva L. P.²

¹*Timiryazev Institute of Plant Physiology of RAS, Moscow, Russia*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

E-mail: vakhl@inbox.ru

Ptilostemon echinocephalus (Willd.) Greuter (*Lamyra echinocephala* (Willd.) Tamamsch.) is the only species of the genus *Ptilostemon* from the Asteraceae family that grows on the Crimean Peninsula.

The relic area of *Ptilostemon echinocephalus* distributed by the Crimea, the Caucasus, Asia Minor. The species is included in the Red Book of the Republic of Crimea, Krasnodarskiy and Stavropolskiy Krays of the Russian Federation. The article is the result of a long-term study of morphological criteria of *Ptilostemon echinocephalus* age status. Thus, the ontogenesis of individuals of the species *Ptilostemon echinocephalus* includes 12 age states, the total during of ontogenesis lasts 15–18 years.

The main characters of the pregenerative period differentiation of development are the number of leaves and the differentiation degree of the leaves lamina. During the study, another important feature was identified to indicate different age stages, the ratio of vegetating and dried leaves.

Generative plants were subdivided into: immature generative (g1), adult (mature) generative (g2) and old generative (g3). For the generative stage of development, the ratio of generative and vegetative rosettes, the ratio of dried and vegetative shoots, and the number of baskets were indicative.

Differentiation of subsenile and senile age states is conducted according to the same criteria that are used for generative individuals, the main emphasis is on the ratio of dried and vegetative parts. The article also notes the specificity of the course of ontogenesis depending on the ecological-coenotic conditions in the petrophytic steppes and phrygana communities of the Crimea.

Keywords: *Ptilostemon echinocephalus*, morphological criteria, age states, phryganoid phytocoenoses, petrophytic steppes, Crimea

References

1. *Database The Plant List* [<http://www.theplantlist.org>, date of the application: 01.06.2021].
2. *Database The international compositae alliance – TICA* [<https://www.compositae.org>, date of the application: 01.06.2021].
3. Tutin T. G., Heywood V. H., Burges N. A., Moore D. M., Valentine D. H., Walters S. M., Webb D. A. *Flora Europaea*, **4**, 505 p. (Plantaginaceae to Compositae (and Rubiaceae) Cambridge: Cambridge University Press, 1976).
4. *Red Data Book of the Republic of Crimea. Plants, algae and mushrooms*, A. V. Ena, A. V. Fateryga (ed.). 480 p. (Simferopol: ARIAL, 2015).
5. *Red Data Book of the Krasnodar Territory. Animals*. III edition, Ed. ed. A.S. Zamotailov, Yu. V. Lokhman, B. I. Wolfov, 720 p. (Krasnodar: Adm. Krasnodar. krai, 2017).
6. *Red Data Book of the Stavropol Territory*. Vol. 1: Plants, ed. A. L. Ivanova, 384 p. (Stavropol: Publishing house of JSC «Polygraphservice», 2002).
7. *Red Book of the Stavropol Territory*. Vol. 1: Plants / ed. A.L. Ivanova, 400 p. (Stavropol: Asterisk, 2013).
8. Golub V. B., Grechushkina N. A., Sorokin A. N., Nikolaychuk L. F. Plant communities of the class Onosmato polyphyllae-Ptilostemonetea Korzhenevsky 1990 on the Black Sea coast of the Caucasus and the Crimean Peninsula, *Vegetation of Russia*, **17–18**. (2011).
9. Ryff L. E. Rare biotopes of erosion-denudation landscapes of southeastern Crimea, *Bulletin GNBS*, **124** (2017).
10. Zadneprovskaya E. V. *Phytocenotic confinement and spatial structure of the Lamyra echinocephala (Willd.) Tamamsch cenopopulation in the Piedmont Crimea*, Science Days of the Vernadsky KFU: conf., **7**, 349 (Simferopol, 2017).
11. Vakhrusheva L. P., Zadneprovskaya E. V. The current state of the *Lamyra echinocephala* (Willd.) Tamamsch cenopopulation. in phytocenoses of the landscape-recreational park «Bitak» (environs of the city of Simferopol), *Problems of steppe studies*, **15**, 59 (2019).
12. Rabotnov T. A. Issues of studying the composition of cenopopulations for the purposes of phytocenology, *Probl. Botany*, **I**, 465 (1950).
13. Uranov A. A., Bogdanova A. G., Grigorieva N. M. *Plant cenopopulations (development and relationships)*, 136 p. (Moscow: Nauka, 1975).
14. Smirnova O. V., Zaigolnova L. B., Ermakova I. M. *Plant cenopopulations (basic concepts and structure)*. 216 p. (Moscow: Nauka, 1976).
15. Zlobin Yu. A. *Principles and methods of studying cenotic populations of plants* (teaching aid), 147 p. (Publishing house of Kazan University, 198).
16. Zlobin Yu. A., Sklyar V. G., Klimenko A. A. *Populations of rare plant species: theoretical foundations and methods of study*: monograph, 439 p. (Sumy: University book, 2013).
17. GOST 12038-84 *Agricultural seeds. Methods for determining germination* (with Amendments No. 1, 2). Enter. 1986-07-01, 30 p. (M.: Standartinform, 2011).

УДК 612.824

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОДИНАМИКИ СОВРЕМЕННЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ И ЮГА РОССИИ

Ибрагимова Э. Э.¹, Калюжный Е. А.²

¹*ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
Симферополь, Республика Крым, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет», Нижний Новгород,
Россия
E-mail: evelina_biol@mail.ru*

Проведен сравнительный анализ характеристик сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем на основе гемодинамических показателей, интегрального показателя вариационной пульсометрии, индекса Баевского у обучающихся высших учебных заведений младших курсов Нижнего Новгорода и Симферополя в контексте динамичных требований современного учебного процесса.

Средние значения индекса Баевского составили $65,3 \pm 2,91$ у юношей и $64,7 \pm 3,14$ у девушек средней полосы, а у сверстников центрального Крыма – $75,6 \pm 4,21$ и $91,1 \pm 5,16$, соответственно. Внутригрупповой анализ показал преобладание когорты ваготоников над симпатотониками на 8,9 %, что подтверждает доминирование парасимпатических влияний у сверстников юношеского возраста. Внутригрупповая гендерная дифференциация тонуса вегетативной нервной системы, проверенная параллельным вычислением интегральных показателей индекса Кердо и пульсового давления, показала значимые различия с преобладанием симпатикотонии у девушек.

Ключевые слова: физиологические показатели, стресс индекс, нагрузки учебного процесса, сердечно-сосудистая и вегетативная нервная системы, механизмы регуляции, кардиоинтервалография.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем физиологии человека, гигиены, педиатрии является исследование закономерностей адаптации в реальных условиях среды обитания, воспитания и обучения, составляющих основу психофизического здоровья современных учащихся. Морфологическая и функциональная готовность организма учащегося противостоять различным стрессорам с успешным выполнением социально значимой деятельности, является результатом совместной деятельности родителей, педагогов, физиологов и медицинского сообщества. Адаптивность или согласованность морфофункционального развития организма и среды его обитания проявляется в том, что происходящие по мере роста и развития изменения в организме согласованы между собой и соответствуют факторам среды обитания. Индикаторами качества морфофункционального состояния и адаптационных возможностей учащихся выступают показатели физиологического, психологического, социального развития при отсутствии избыточного симпатического напряжения вегетативной нервной системы [1–3].

Способность к адаптации – важное свойство организма, обеспечивающее возможность его существования и осуществления всех физиологических функций в процессе приспособления к изменяющимся условиям и характеру деятельности [4, 5], поэтому от адаптационных возможностей и резервов организма будет зависеть его ответная неспецифическая стресс-реакция [1, 6, 7]. По мнению Г. Селье, стресс-реакция, сформировавшаяся в процессе эволюционного развития, представляет собой необходимое звено адаптации организма в целом и вегетативной нервной системы в частности к действию экзогенных факторов, она обеспечивает увеличение функциональных резервов организма и его успешную адаптацию к стрессовому фактору с последующей ликвидацией самого стресса [3, 6, 8]. При дистрессе, который развивается если успешная адаптация не достигнута, истощаются защитные реакции организма, отмечается срыв механизмов адаптации, приводящий к развитию различных заболеваний [9, 10]. Ю. Г. Кузмичев, Н. Г. Чекалова (2010) отмечают, что стрессу противостоят функциональные резервы человека, представляющие собой комплекс физиологических функций, определяющих уровень активности функциональных систем организма, особенности его жизнедеятельности и уровня работоспособности [10, 11].

Физиометрические исследования физиологических функций включают в себя определение функциональных показателей и резервов организма индивида [4, 7, 12]. В контексте медико-педагогического контроля (Приказ № 621 Минздрава РФ от 30. 12. 2003 г.) проводятся исследования показателей функционального состояния учащихся, как обязательного компонента комплексной оценки их здоровья [13, 14].

Показатели кардиореспираторной системы, являясь оперативными факторами физиологического и функционального состояния человека, традиционно используются в практике возрастной физиологии в качестве объективных показателей адаптационных возможностей исследуемых индивидов. При наблюдении и изучении физиометрического статуса учащихся, наряду с абсолютными значениями кардиореспираторной системы, привлекаются и интегральные её показатели, такие как пульсовое давление, вегетативный индекс Кердо [3, 15].

В организме человека все процессы координируются и регулируются центральной нервной системой, в этой связи для объективной оценки функционального состояния организма и его адаптационных возможностей исследователи используют широкий арсенал методов определения качества регуляции. К числу информативных неинвазивных инструментальных методов относят диагностику состояния вегетативной нервной системы – вариационную пульсометрию – кардиоинтервалографию (КИГ). С точки зрения математического моделирования и репрезентативности, этот метод, основанный на вычислении расчетного коэффициента – индекса напряжения (ИН), считается наиболее точным [6, 9, 11].

Р. М. Баевский, А. П. Берсенева (2008, 2012) определяют адаптационные возможности как запас функциональных резервов, которые постоянно расходуются на поддержание равновесия между организмом и средой [4, 9, 12].

Наибольшая мобилизация адаптационных возможностей современных учащихся высшей школы, традиционно приходится на первые годы обучения. Наблюдение, изучение и представление объективной картины реализации механизмов адаптации на органном и системном уровнях современных учащихся, представляется минимально достаточным и необходимым звеном медико-педагогического контроля [16]. В этой связи цель исследования заключалась в анализе различий в показателях физиологического статуса и уровня напряжения регуляторных систем у студентов первых курсов высшей школы Крымского полуострова и средней полосы Российской Федерации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценка физиологических показателей и обработка персональных данных студентов вуза проводились с соблюдением требований законодательства [13]. У обучающихся в возрасте 18–21 год (♂ – 118, ♀ – 136) исследовали следующие физиологические показатели: антропометрические (длина (ДТ, см), масса тела (МТ, кг), на основании которых рассчитывали индекс массы тела или индекса Кетле2 ($ИК2 = МТ/ДТ^2$); гемодинамические: систолическое (САД, мм рт. ст.), диастолическое (ДАД, мм рт. ст.) артериальное давление, частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) с вычислением интегральных показателей таких как индекс Кердо (ИКр), ($ИКр = 1 - ДАД/ЧСС$), пульсовое давление (ПД), ($ПД = САД - ДАД$) [11, 16]. Измерение физиологических показателей обучающихся осуществляли в утреннее время в состоянии покоя, до начала активной деятельности.

Напряжение вегетативного тонуса и регуляторных систем обучающихся осуществляли на основе инструментальных, неинвазивных методов вариационной пульсометрии, кардиоинтервалографии с вычислением индекса напряжения (ИН) или индекса Баевского с применением аналогоцифрового преобразователя с программным обеспечением «Кардиоэксперт-1» (производство город Саров, Россия). Для выявления общих механизмов и различий адаптации регуляторных механизмов вегетативной нервной системы был проведен сравнительный анализ физиологических показателей обучающихся вуза Нижнего Новгорода и Симферополя.

Нормативная база интегральных показателей гемодинамики и кардиоинтервалографии показывает, что при значениях индекса Кердо $ИКр < 0$ имеет место ваготонический тип регуляции функций вегетативной нервной системой (ВНС), при $ИКр > 0$ – симпатикотонический тип и при $ИКр = 0$ – эйтония соответственно.

В норме величина ПД составляет 40 мм. рт. ст., при значениях отличных от нормы, констатируется напряжение функционального состояния ВНС; при показателях ИН в диапазоне от 50 до 150 у.е. – эйтония, по мере уменьшения показателя – умеренная и далее выраженная ваготония, при увеличении показателя – умеренная и выраженная симпатикотония, характеризующие вегетативный тонус (ВТ) обучающегося [4].

Формирование комбинационной таблицы проводилась с привлечением таблиц и операторов программного продукта «Excel 2003», статистическую обработку данных проводили с помощью лицензионного программного обеспечения IBM SPSS Statistics 19.0. Проверку нормальности распределений осуществляли с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Силу связей оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена, характер связей ИН с физиологическими показателями – при помощи множественной линейной регрессии. Результаты представлены в виде $M \pm m$, где M – среднее, m – стандартная ошибка средней и в виде абсолютных значений в арифметической и логарифмической шкалах; сравнения средних и ошибок средних между выборками проводились с привлечением t-критерия Стьюдента; процентные доли представлены с указанием стандартного отклонения процентной доли ($P \pm \sigma_p\%$, где P – процентная доля, $\sigma_p\%$ – стандартное отклонение процентной доли). За критический уровень значимости принимали $p \leq 0,05$ [17, 18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных выявил, что общегрупповые физиологические показатели испытуемых находятся в пределах функциональных, гигиенических, возрастно-половых норм, что вполне ожидаемо, так как в исследовании принимали участие здоровые обучающиеся. Значительный интерес представляет гипотеза о внутригрупповых различиях по исследованным показателям у обучающихся Крыма и средней полосы России.

Антропометрические показатели (длина и масса тела) являются физиологическими индикаторами общей адаптированности организма обучающегося, его роста, развития и созревания органов и систем. В медико-биологических исследованиях традиционно используется интегральный массаростовой показатель ИК2, который составляет в норме от 14 до 24 у.е., при значениях меньше минимальных определяются начальные этапы кахексии, при больших – ожирение [3, 15]. В проведенном исследовании были установлены статистически значимые гендерные отличия (при $p < 0,05$) по показателям ИК2. В частности, среднегрупповые показатели у юношей составили – $21,6 \pm 0,26$, у девушек – $ИК2 = 20,7 \pm 0,2$ показывая оптимумы возрастно-половых, популяционных значений [16].

Данное возрастно-половое соотношение ИК2, можно объяснить как физиологическими закономерностями завершения ростовых процессов в юношеском возрасте, обновленным постпубертаным приоритетом по длине и массе тела у юношей, так и особенностью юношей, уделяющих больше времени занятиям спортом, чем девушки, что отмечается в результатах подобного рода исследований [5, 7, 15, 19].

Физиометрические, гемодинамические, функциональные показатели современных учащихся дают более углубленную и дискретную картину, физиологической адаптации на любом этапе онтогенеза [11, 15].

Анализ показателей гемодинамики у юношей и девушек позволил установить общие средние значения в пределах функциональных норм, однако показатели систолического и диастолического артериального давления статистически значимо (при $p < 0,05$), больше у юношей, в процентном соотношении на 5,5 % и 3,7 % соответственно, а частота сердечных сокращений значимо преобладает у девушек (на 2,8 %).

Важная, физиологическая роль вегетативной нервной системы (ВНС) заключается в поддержании гомеостаза и адаптации к изменяющимся условиям. Отклонения, возникающие в регулирующих отделах ВНС, предшествуют гемодинамическим, метаболическим, энергетическим нарушениям и, таким образом, могут быть наиболее ранними прогностическими признаками дистресса [10, 12]. Интегральные показатели вегетативной обеспеченности и гемодинамики, определенные по результатам расчета индекса Кердо, позволили установить у юношей преобладающий тонус ВНС по типу ваготонии, а так же более стабильные значения пульсового давления в сравнении с девушками. Возможно, статистически значимые гендерные отличия исследованных показателей гемодинамики и ВНС, могут быть, проявлением зависящей от пола функциональной напряженности эффекторных и управляющих систем организма, возникающих в ответ на действие факторов экзосреды, а также являющихся следствием сложных физиологических процессов – гетерохронности роста и созревания, которые продолжаются и в юношеский период (табл. 1).

Таблица 1.

Градация функциональных показателей сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем по половому признаку ($M \pm m$)

Показатель	Н. Новгород (НН)			Симферополь (С)			(НН)/(С)	
	♂	♀	p=	♂	♀	p=	(♂) p=	(♀) p=
САД	118,5 ±2,45	112,4 ±2,53	0,00	122,9 ±2,79	126,5 ±1,64	0,26	0,36	0,01
ДАД	77,5 ±2,06	74,7 ±2,12	0,01	74,8 ±1,57	72,6 ±0,92	0,24	0,49	0,61
ЧСС	77,4 ±3,28	79,6 ±3,38	0,21	75,5 ±1,89	82,8 ±1,11	0,01	0,76	0,40
ИКр	-0,02 ±0,01	0,04 ±0,02	0,01	-0,10 ±0,02	0,11 ±0,02	0,01	0,01	0,02
ПД	40,9 ±2,13	37,6 ±2,19	0,01	48,1 ±2,15	53,9 ±1,26	0,05	0,01	0,01

Полученные данные согласуются с представленными в литературе, согласно которым интенсивность переживания повседневных социальных симплексов больше выражена у женщин, что приводит к усилению напряжения регуляторных систем ВНС, способствующих проявлению эрготропии у лиц женского пола [4, 11, 16]. Анализ интегрального показателя, характеризующего напряжение вегетативной

нервной системы – индекса Баевского (ИН) сверстников, проживающих в средних и южных широтах Российской Федерации, показал, что на популяционном уровне он соответствует закону нормального распределения. Общегрупповая характеристика определяет середину распределения и большую часть индивидов, находящихся в состоянии эйтонии, а крайние величины – ваготонии и симпатикотонии. Выявлено, что половина респондентов (42–60 %) имеющих ИН в диапазоне 50–100 у.е., являются нормотониками, 29–40 % – ваготониками (ИН < 50 у.е.) и значительно меньшее количество обследуемых (11–17 %, ИН > 100 у.е.) – симпатотониками. Показаны распределения выборок в сторону некоторого преобладания парасимпатического тонуса и ваготонические влияния в юношеский период, однако у сверстников, проживающих в южных широтах, это влияние выражено на 11% больше у юношей и на 66,8 % у девушек соответственно. Полученные данные свидетельствуют о смещении интенсивности распределений ваготонических влияний у обучающихся в зависимости от места проживания, что подтверждается и большим числом респондентов с нормотонией или эйтонией в широтах средней полосы России (табл. 2).

Таблица 2.

Распределение сравнительных показателей индекса Баевского (ИНу.е.) у обследованных обучающихся

ИН	Пол	Р±σ _p ,%	М	±m	Р ± σ _p ,%	М	±m	Статистика	
		Н. Новгород (НН)			Симферополь (С)			Ts=	P<
< 50	♂	28,1±2,8	34,9	1,79	32,1±4,2	33,1	0,41	0,58	0,563
	♀	41,5±3,1	36,4	1,49	46,3±4,4	34,8	0,22	0,44	0,612
Статистика		Ts= 0,64; p< 0,520			Ts= 3,91; p<0,001				
50-100	♂	61,1±3,1	68,1	1,54	58,5±4,5	96,9	0,15	6,71	0,001
	♀	40,6±3,1	71,5	2,04	35,1±4,3	98,8	0,07	9,96	0,001
Статистика		Ts= 1,31; p<0,181			Ts= 8,27; p<0,001				
100 <	♂	10,8±1,9	129,9	7,18	9,4±2,6	135,8	4,84	0,38	0,503
	♀	17,9±2,4	116,7	3,83	18,6±3,5	143,7	3,25	7,32	0,001
Статистика		Ts =1,77; p<0,089			Ts= 1,33; p< 0,21				
Все	♂	52,4±3,1	65,3	2,91	31,1±4,2	75,6	4,21	5,41	0,016
	♀	47,6±3,1	64,7	3,14	68,9±4,2	91,1	5,16	8,22	0,001
Статистика		Ts = 0,14; p<0,889			Ts = 1,88; p<0,062				

Дисперсии групп вегетативного тонуса (ВТ) значимо обособлены друг от друга и могут рассматриваться как самостоятельные выборки при анализе внутригрупповых физиологических особенностей. Согласно коэффициенту детерминации модели, в 47 % случаев исходный вегетативный тонус предполагает динамику стресс индекса Баевского, остаточный процент изменчивости относится соответственно к другим закономерным и случайным экзо- и эндофакторам среды.

Средние показатели ИН характеризующие ВТ сверстников Нижнего Новгорода (НН) и Симферополя (С) в группах ваготоников и эйтоников не имели

статистически значимой разницы в силу чего могут рассматриваться как однородная группа с некоторыми разнонаправленными тенденционными различиями. Вместе с тем в группе симпатоников интегральный показатель ИН оказался более выраженным (на 35,3 %) у обучающихся средней полосы России (табл. 3).

Таблица 3.
Динамика исходного вегетативного тонуса и показателей индекса Баевского (ИН, у.е.) у обучающихся Нижнего Новгорода (Н) и Симферополя (С)

ВТ	(НН)	(С)	P<
	(ИН, у.е.) М ± m		
Парасимпатонус	27,5±0,53	31,8±9,17	0,665
Эйтония	60,3±1,27	69,3±5,50	0,037
Симпатонус	114,8±3,15	155,3±4,08	0,001

Для определения и оценки приоритетов влияния исходных физиологических показателей как ведущих факторов, на вегетативный тонус обучающихся, проанализировали модели на основании построения линейных уравнений множественной регрессии для учащихся Средней полосы России и Крыма. В итоге получены статистически значимые модели ($p < 0,01$) вида:

$$(НН) \text{ ИН} = 81,57 + 0,32 \cdot \text{ЧСС} - 0,06 \cdot \text{САД} + 0,91 \cdot \text{ДАД} + 0,53 \cdot \text{ДТ} - 0,57 \cdot \text{МТ}$$

$$(С) \text{ ИН} = 36,44 + 0,51 \cdot \text{ЧСС} - 0,11 \cdot \text{САД} + 0,29 \cdot \text{ДАД} + 0,12 \cdot \text{ДТ} + 0,33 \cdot \text{МТ},$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений, САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, ДТ – длина тела, МТ – масса тела.

Полученные модели согласуется с выводами ряда исследователей, в частности, по данным работ Милушкиной О. Ю., Скоблиной Н. М. с соавторами [8, 10, 19], выраженное влияние на увеличение значений индекса Баевского, симпатизацию ВНС обуславливает повышение диастолического давления при снижении систолического; снижении массы тела, при увеличении длины тела; увеличении частоты сердечных сокращений. У учащихся Средней полосы и Юга России регрессионные модели схожи по логической структуре обусловленности показателей, однако у южан влияния динамик со стороны частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления почти в два раза сильнее, а со стороны диастолического давления и длины тела слабее, что обуславливает изменения анализируемого интегрального показателя напряжения ВНС. Особенностью требующей дальнейшего изучения, является обусловленность связи массы тела и её интегрирования в регрессионную модель. Если у учащихся средней полосы ИН растет у индивидов при увеличении роста и уменьшении массы тела, т.е у грациализированных респондентов, то у южан его возрастание отмечается при меньших значениях увеличения длины и средних темпах увеличения массы тела, т.е у гиперстеников. Полученные модели дают возможность объективного прогноза

вектора направленности вегетативного тонуса и функциональной обеспеченности организма обучающегося юношеского возраста в оперативном формате на основе значений доступных, стандартных, физиологических показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ физиологических показателей современных обучающихся высшей школы позволил установить преобладание в общем массиве нормальных значений, с некоторыми объяснимыми динамичными смещениями распределений средних значений.

Динамика основополагающего показателя роста и созревания индекса Кетле находится в пределах физиологической нормы – $21,6 \pm 0,26$ у юношей и $20,7 \pm 0,21$ у девушек и имеет статистически значимые гендерные различия.

Систолическое и диастолическое артериальное давление значимо выше у юношей относительно девушек на 5,5 % и 3,7 % соответственно, однако у девушек на 2,8 % преобладает частота сердечных сокращений.

У юношей величины интегральных показателей (индекс Кердо и пульсовое давление) свидетельствуют о том, что доминирующим типом регуляции вегетативных функций является ваготонический.

Исходный вегетативный тонус у большей части обследованных обучающихся соответствует эйтонии (42–60 %), крайние позиции – симпатонусу (11–17 %) и парасимпатонусу (29–40 %), причем у юношей эти влияния больше выражены.

У обучающихся Южной широты России, в сравнении со сверстниками, проживающими в средней полосе, наблюдается значимое преобладание (на 11 %) ваготоников.

Построение регрессионных моделей обусловленности влияния средовых и эндогенных факторов на динамику и изменчивость индекса Баевского, целесообразно для получения информации объективных взаимосвязей в контексте научных исследований, а также при реализации медико-педагогического контроля в современном образовательном пространстве, в том числе и высшей школы.

Список литературы

1. Аболенская А. В. Адаптационные возможности организма и состояния здоровья детей / А. В. Аболенская. – М.: Международный фонд охраны здоровья матери и ребенка, 1996. – 131 с.
2. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем / П. К. Анохин. – М.: Медицина, 1975. – 447 с.
3. Безруких М. М. Возрастная физиология / М. М. Безруких, В. Д. Сонькин, Д. А. Фарбер. – М.: Академия, 2009. – 416 с.
4. Баевский Р. М. Введение в донозологическую диагностику / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М.: Слово, 2008. – 220 с.
5. Калюжный Е. А. Морфофункциональное состояние и адаптационные возможности учащихся образовательных учреждений в современных условиях: монография. / Калюжный Е. А. – Арзамас: АФННГУ – 2020. – 328 с.
6. Берсенева А. П. Донозологическая диагностика в оценке уровня здоровья школьников. / Берсенева А. П. [и др.]. // Функциональная диагностика. – 2006. – № 33. – С. 5–15.
7. Ибрагимова Э. Э. Мониторинг уровня стресса обучающихся как подход профилактики нарушения регуляторных механизмов / Э. Э. Ибрагимова // Ученые записки Крымского

- федерального университета им. В. И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. – 2019. – Т. 5 (71), № 2. – С. 83–90.
8. Петраш М. Д. Особенности вегетативной регуляции при воздействии повседневных стрессоров: возрастно-половой аспект / М. Д. Петраш, В. А. Гребенников // World of Science. Pedagogy and psychology. – 2018. – Т. 6, № 6. – URL: <https://mir-nauki.com/PDF/64PSMN618.pdf>.
 9. Берсенева А. П. Индивидуальный донозологический контроль на основе анализа variability сердечного ритма с использованием прибора «Heart Wizard» / А. П. Берсенева, В. А. Пугачев, А. Р. Баевский [и др.] // Вестник Удмуртского университета. – 2012. – Вып. 1. – С. 45–50.
 10. Кузмичев Ю. Г. Статистический подход к оценке симпатического-ваготонического баланса у детей и подростков по данным вариационной пульсометрии (КИГ) / Ю. Г. Кузмичев и др. // Актуальные вопросы педиатрии, перинатологии и репродуктологии: межвузовский сб. научн. работ / под ред. А. В. Прахова и С. Б. Артифексова. – Вып. 4. – Н. Новгород, 2010. – С. 115–117.
 11. Чекалова Н. Г. Функциональные резервы организма детей и подростков. Методы исследования и оценки: учебное пособие / Н. Г. Чекалова и др. – Н. Новгород: НижГМА, 2010. – 164 с.
 12. Bojorges-Valdes E. R. et al. Scalling patterns of heart rate variability data / E. R. Bojorges-Valdes et al. // Physiol Meas. – 2007. – 28 (6). – P. 721–730.
 13. Приказ МЗ РФ № 621 от 30.12.2003 «О комплексной оценке состояния здоровья детей». – Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.worklib.ru/>.
 14. Paul K. WHO. Young and physically active: a blueprint for making physical activity appealing to youth / Paul K., Anne M., Charlie F. – WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, 2012. – 44 p.
 15. Богомолова Е. С. Гигиеническое обоснование мониторинга роста и развития школьников в системе «здоровье – среда обитания»: автореф. дис. ... докт. мед. наук / Е. С. Богомолова. – Н. Новгород, 2010. – 44 с.
 16. Кучма В. Р. Гигиена детей и подростков / В. Р. Кучма. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 480 с.
 17. Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие / Г. Ф. Лакин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
 18. Баврина А. П. Современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях / А. П. Баврина // Медицинский альманах. – 2020. – № 2 (63). – С. 95–104.
 19. Милушкина О. Ю. Гигиеническая характеристика образа жизни современной студенческой молодежи / О. Ю. Милушкина, Н. А. Скоблина, С. В. Маркелова и др. // Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы. – Москва, 2019. – С. 32–44.

FEATURES OF REGULATORY MECHANISMS AND INDICATORS OF HEMODYNAMICS OF MODERN STUDENTS OF THE HIGH SCHOOL OF THE CENTRAL STRIP AND SOUTH OF RUSSIA

Ibragimova E. E.¹, Kalyuzhny E. A.²

¹*Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol, Republic of Crimea, Russia*

²*Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia*
E-mail: evelina_biol@mail.ru

The comparative analysis of characteristics of cardiovascular and autonomic nervous systems to the underlying of hemodynamic parameters, the integral indicator of variational pulsometry, the Baevsky index at first or second-year students of higher educational institutions in Nizhny Novgorod and Simferopol was carried out.

The analysis of the physiological parameters of the surveyed students of higher education allowed us to establish the domination in the general array of normal values, with some dynamic change in the distribution of average values. The average values of the Baevsky index were $65,3 \pm 2,91$ for boys and $64,7 \pm 3,14$ for girls in the middle part of Russia, and $75,6 \pm 4,21$ and $91,1 \pm 5,16$ for the same age of the central Crimea.

The intra-group analysis showed the predominance of vagotonics over sympathotonics by 8.9 %, which confirms the dominance of parasympathetic influences in adolescent contemporaries.

Significant gender differences in determining the mass-height index with the predominance of the indicator in young men, in the range of modern anthropometric, age and gender norms were determined. The dynamics of the fundamental indicator of grow and maturation-the Quetelet index-is within the physiological norm – $21,6 \pm 0,26$ in boys and $20,7 \pm 0,21$ in girls and has statistically significant gender differences.

Systolic and diastolic blood pressure is significantly higher in boys compared to girls by 5,5 % and 3,7 %, respectively, but the heart rate prevails in girls by 2,8 %.

The initial vegetative tone in most of the examined students corresponds to eitonia (42–60 %), the extreme positions – to sympathonus (11–17 %) and parasympathonus (29–40 %), and in young men these effects are more pronounced.

Intra-group gender differentiation of the tone of the autonomic nervous system, verified by parallel calculation of the integral indicators of the Kerdo index and pulse pressure, showed significant differences with the predominance of sympathicotonia among girls. At young men, the values of integral indicators (Kerdo index and pulse pressure) indicate that the dominant type of regulation of vegetative functions is vagotonic.

Students of the Southern Latitude of Russia, in comparison with their contemporaries who living in the middle zone, have a significant predominance (by 11 %) of vagotonics. The shown adaptive potential of the regulatory systems of the body of modern higher school students, which is in a state of eitonia, is more optimal in girls, in contrast to young men, who show the tension of the regulatory systems in the context of an intensive educational process.

The construction of regression models of the conditionality of the influence of environmental and endogenous factors on the dynamics and variability of the Baevsky index is advisable to obtain information about objective relationships in the context of scientific research, as well as in the implementation of medical and pedagogical control in the modern educational space, including higher education.

Keywords: physiological indicators, stress index, workload of the educational process, cardiovascular and vegetative nervous systems, regulation mechanisms, cardiointervalography.

References

1. Abolenskaya A. V., *Adaptational capabilities of the body and the state of children's health*, 131 p. (International Fund for the Protection of Mother and Child Health, Moscow, 1996).
2. Anokhin P. K., *Essays on the physiology of functional systems*, 447 p. (Medicine, Moscow, 1975).
3. Bezrukikh M. M., Sonkin V. D., Farber D. A., *Age physiology*, 416 p. (Academy, Moscow, 2009).

4. Baevsky R. M., Berseneva A. P., *Introduction to prenosological diagnostics*, 220 p. (Word, Moscow, 2008).
5. Kalyuzhny E. A., *Morphofunctional state and adaptive capabilities of students of educational institutions in modern conditions: monograph*, 328 p. (AFNNSU, Arzamas, 2020).
6. Berseneva A. P. et al., Prenosological diagnostics in assessing the level of health of schoolchildren, *Functional diagnostics*, **33**, 5 (2006).
7. Ibragimova E. E., Monitoring the level of stress of students as an approach to preventing violations of regulatory mechanisms, *Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Sociology. Pedagogy. Psychology.*, **5 (71)**, 2, 83 (2019).
8. Petrash M. D., Grebennikov V. A., Features of vegetative regulation under the influence of everyday stressors: age-sexual aspect, *World of Science. Pedagogy and psychology*, **6**, 6 (2019).
9. Berseneva A. P., Pugachev V. A., Baevsky A. R., Individual prenosological control based on the analysis of heart rate variability using the device "Heart Wizard", *Bulletin of the Udmurt University*, **1**, 45 (2012).
10. Kuzmichev Yu. G. et al., Statistical approach to the assessment of sympathetic-vagotonic balance in children and adolescents according to the data of variational pulsometry, *Actual issues of pediatrics, perinatology and reproductology*, ed. by A. V. Prakhov (N. Novgorod, 2010), p. 115.
11. Chekalova N. G. et al., *Functional reserves of the body of children and adolescents. Methods of research and evaluation: textbook*, 164 p. (NizhGMA, N. Novgorod, 2010).
12. Bojorges-Valdes E. R. et al., Scalling patterns of heart rate variability data, *Physiol Meas*, **28 (6)**, 721 (2007).
13. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation № 621 of 30.12.2003 "On a comprehensive assessment of the state of children's health", Electronic resource, Access mode: <http://www.worklib.ru/>.
14. Paul K., Anne M., Charlie F., WHO. *Young and physically active: a blueprint for making physical activity appealing to youth*, 44 p. (WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2012).
15. Bogomolova E. S., *Hygienic justification of monitoring the growth and development of schoolchildren in the system "Health – Environment"*, dissertation abstract of doctor Medical Sciences, 44 p. (N. Novgorod, 2010).
16. Kuchma V. R., *Hygiene of children and adolescents*, 480 p. (GEOTAR-Media, Moscow, 2010).
17. Lakin G. F., *Biometrics: textbook*, 352 p. (Higher School, Moscow, 1990).
18. Bavrina A. P., Modern rules for the use of descriptive statistics methods in medical and biological research, *Medical Almanac*, **2 (63)**, 95 (2020).
19. Milushkina O. Yu., Skoblina N. A., Markelova S. V. et al., Hygienic characteristics of the lifestyle of modern student youth, *Health of youth: new challenges and prospects*, 32 (2019).

UDK 581.543:630.181

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-2-80-86

PHYTOMELIORATIVE ROLE OF SHRUB BELT IN ROADSIDE PLANTATIONS

Ivanisova N. V.¹, Kurinskaya L. V.¹, Kolesnikov S. I.², Davydenko N. M.¹

¹*Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov, Donskoy State Agrarian University, Novocherkassk, Russia*

²*Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*
E-mail: lyubov.kurinskay@mail.ru

Along the federal roads of the Rostov region, Krasnodar Territory and the Stavropol Territory, it is increasingly possible to find clean plantations consisting of one or two tree species, with a completely destroyed bush belt. In 62 % of the plots studied, the shrub belt is represented by species of scumpia (*Cotinus coggygria*, 17 %), terna (*Prunus spinosa*, 9 %), elm (*Ulmus parvifolia*, 5 %), maple (*Acer tataricum*, 3 %), that is, resistant to anthropogenic and climatic factors steppe. The bush belt in protective roadside strips plays a significant role in the accumulation of soil moisture (by 6.3 %), humus (by 2.4 %), in reducing the noise load (by 25 dB). Ancestral and overband shrubs make it possible to create a dense structure of forest strips, which fully performs protective functions both from drifts of the highway bed with snow, and to reduce the negative impact of vehicles on adjacent landscapes. The study of the phytomeliorative role of the shrub belt in existing roadside plantations is a relevant area of research for the further development of recommendations for the creation and maintenance of protective roadside plantings in the steppe zone of southern Russia.

Keywords: shrub, phytomeliorative role, soils, roadside plantations, noise, illumination.

INTRODUCTION

Roadside protective plantations in the steppe zone of southern Russia play a significant role in the regulation of wind flows, the distribution of heat, moisture and pollutants. Many years of experience of steppe forestry has proved that plantations should be multicultural, consisting of the main and accompanying breeds and the shrub belt [1]. The bush belt is a component of protective forest stripes located either up to the main forest stripes or after. It prevents the penetration of steppe elements under the canopy of plantations.

To create sustainable plantations, it is necessary to take into account the natural and climatic conditions, functional purpose and environmental and biological characteristics of each species. Shrub belt in protective plantations performs soil protective role, reduces evaporation of moisture, prevents blowing [2], reduces overgrowth by weed vegetation, reduces noise pollution [3]. But recently, there has been a tendency when creating or caring for protective plantations not to design a bush belt, but to introduce or leave only the main or accompanying breed. Along the federal roads of the Rostov region, Krasnodar and Stavropol Territory, clean plantations consisting of one or two tree species with a

completely destroyed bush belt are increasingly found. The study of the reclamation role of the shrub belt in existing roadside plantations is a relevant area of research for the further development of recommendations on the creation and maintenance of protective roadside plantations in the steppe zone of southern Russia [4].

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out in the period 2017–2019, two motor roads were chosen as the research targets: of the federal (M4 Novocherkassk-Rostov) and regional significance (Novocherkassk-Shakhty), experiencing various anthropogenic impacts (fig. 1).



Fig.1. Map – scheme of location of objects of research.

The distance from the roadbed edge to the forest growing stock was considered when laying the test areas (TA). The sampling area was located at a distance directly near the road, 10–100 m from the growing stock and under the growing stock, in the zones of the so-called "edge" effect of the impact of vehicles on ecosystems and especially on biota.

The assessment of the protective roadside growing stock state is given in accordance with the tree state category scale (Sanitary rules in forests of the Russian Federation, 2013).

Single samples were taken on the TA from the upper soil horizon by the envelope method. PH of water extract (GOST 26423-85), humus determination by I. V. Tyurin method (GOST 26213-91) were determined in soil samples. The assessment of the noise protective role of the shrub zone was carried out in the state with leaves and without them using the Testo 816-4 sound level meter. The measurements were carried out in front of, in and behind growing stock directly from the noise source [5]. Measurement of luminosity in growing stock with participation of a shrub zone and without it was carried out by means of the TKA-Lux luxmeter.

RESULTS AND DISCUSSION

According to the current recommendations, the roadside forest strips in the steppe zone are formed by means of a shrub zone. Which is located either immediately after the road ditch part, or after the protective strips on the side of adjacent agricultural fields [6]. The main types of shrub vegetation and their ecological and biological features are presented in table 1. Considering climatic and anthropogenic factors, the stability of shrubs in the system of roadside growing stock was assessed separately.

Table 1
Ecological and biological features of the roadside growing stock shrubs of the steppe zone

№	Sort	Relationship to illumination	Relation to soil	Relation to moisture	Stability
1	2	3	4	5	6
1	Amórpha fruticósa	light-loving.	undemanding	undemanding	3 (not resistant to salinization)
2	Ulmus parvifolia	light-loving	exacting	drought-resistant	3
3	Cotinus coggygria	shade-tolerant	undemanding	drought-resistant	1
4	Ácer tatáricum	shade-tolerant	undemanding	drought-resistant	1
5	Caragána arboréscens	light-loving	undemanding	undemanding	1
6	Ligústrum vulgáre	shade-tolerant	those with low	drought-resistant	1
7	Lonícera tatárica	shade-tolerant	undemanding	drought-resistant	1
8	Elaeágnus angustifólia	light-loving	undemanding	drought-resistant	2
9	Ribes aureum	shade-tolerant	undemanding	drought-resistant	1

Continuation of table 1

10	Tamarix	shade-tolerant	undemanding	drought-resistant	2
11	Prunus spinosa	light-loving	undemanding	drought-resistant	1
12	Rosea cinnamomea	light-loving	undemanding	drought-resistant	1
13	Hippophae	light-loving	undemanding	exacting	2
14	Córylus avellána	shade-tolerant	undemanding	drought-resistant	3
15	Córnus mas	shade-tolerant	exacting	drought-resistant	3 (not resistant to dry winds)
16	Amelanchier vulgaris	light-loving	undemanding	drought-resistant	4
17	Swida sanguinea	shade-tolerant	undemanding	drought-resistant	1

Stability category: 1 – stable; 2 – medium-stable; 3 – unstable for abiotic and biotic factors; 4 – based on anthropogenic factors.

Taxation description of roadside protective plantings at the studied objects is given in Table 2. The predominant breed in protective plantations is Robinia pseudoacacia and Fraxinus lanceolata. In multi-row bands, all other things being equal, the life activity of trees and shrubs is influenced by their spatial placement and breed composition, which determine the degree of competitive relations between them [5].

Table 2

Taxing characteristic of roadside protective plantations

N ₂	Location	The predominant sort	Number of rows in the lane	The edges line up with the side of the road	Shrub belt inside plantings	Edge rows on the side of agricultural fields
Novocherkassk- Shakhty						
1	50 m from the road	50 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 50 % <i>Fraxinus lanceolata</i>	6	-	<i>Ulmus parvifolia</i>	<i>Prunus spinosa</i>
1.1	20 m from the road	50 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 50 % <i>Fraxinus lanceolata</i>	6	-	<i>Ulmus parvifolia</i>	-
2	50 m from the road	50 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 50 % <i>Ácer negúndo</i>	6	<i>Cotinus coggýgria</i>	-	<i>Elaeágnus angustifólia</i>
2.1	20 m from the road	50 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 50 % <i>Fraxinus lanceolata</i>	6	<i>Cotinus coggýgria</i>	<i>Ulmus parvifolia</i>	-
3	20 m from the road	50 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 50 % <i>Fraxinus lanceolata</i>	6	<i>Cotinus coggýgria</i>	<i>Ácer tatáricum</i>	<i>Prunus spinosa</i>

Continuation of table 2

3.1	50 m from the road	50 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 50 % <i>Fraxinus lanceolata</i>	6	<i>Cotinus coggýgria</i>	<i>Ácer tatáricum</i>	-
Rostov-on-Don - Novocherkassk						
4	20 m from the road	80 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 20 % <i>Quércus róbur</i>	5	-	<i>Swida sanguinea</i>	-
4.1	20 m from the road	50 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 50 % <i>Fraxinus lanceolata</i>	6	<i>Cotinus coggýgria</i> , <i>Swida sanguinea</i>	-	<i>Prunus spinosa</i>
5	50 m from the road	60 % <i>Robínia pseudoacácia</i> and 30 % <i>Fraxinus lanceolata</i> and 10 % <i>Quércus róbur</i>	7	<i>Cotinus coggýgria</i> , <i>Swida sanguinea</i>	-	<i>Prunus spinosa</i>
5.1	20 m from the road	50 % <i>Fraxinus lanceolata</i> and 50 % <i>Robínia pseudoacácia</i>	6	<i>Cotinus coggýgria</i> , <i>Swida sanguinea</i>	<i>Swida sanguinea</i>	-
6	50 m from the road	60 % <i>Fraxinus lanceolata</i> and 20 % <i>Populus pyramidalis</i> , 10 % <i>Quércus róbur</i> , 10 % <i>Ácer negúndo</i>	7	<i>Cotinus coggýgria</i> , <i>Swida sanguinea</i>	-	<i>Rosea cinnamomea</i>
6.1	10 m from the road	100 % <i>Fraxinus lanceolata</i>	1	-	-	-

The highest percentage (more than 62 %) in the studied roadside growing stock is occupied by the shrub zone consisting of *Cotinus coggýgria*, 17 % – *Prunus spinosa*, 9 % – *Ulmus parvífolia*, 5 % – *Ácer tatáricum*, i.e. from species resistant to both anthropogenic and climatic factors of the steppe zone

When studying the soil protection role of the shrub zone, special attention was paid to such edaphic factors as pH, humus content, aggregate composition, soil moisture (table 3).

On the test area without a shrub zone, there is a decrease in the content of humus, soil compaction and a decrease in humidity. In the presence of a shrub in the edge tree rows and inside the growing stock, soil moisture and humus content is increased. It is also noted that in the test areas with the shrub zone, the middle loamy neutral soils predominate and moisture evaporation decreases.

The presence of the shrub zone up to 1.5 m in height significantly increases the noise absorbing capacity of roadside forest strips (table 4). But the greatest noise absorbing effect of the shrub tier is observed from the roadbed.

For effective dispersion of sunlight in roadside forest strips, its width should be more than 30 meters with several shrub species both in the edge tree rows on the roadbed side and inside the growing stock (table 4).

Table 3

Influence of the shrub zone on the roadside landscapes soils

№	Shrubby belt	pH	Content of humus, %	Aggregate content (%): <0.25 mm	Humidity, %
1	inside plantings and beyond the band belt	7,80±0,06	5,80±0,06	0,60±0,07	4,69±0,08
1.1	inside plantings	7,60±0,11	6,66±0,06	0,16±0,02	6,17±0,37
2	forest edge number	7,30±0,11	5,66±0,06	0,46±0,05	5,50±0,41
2.1	forest edge number and inside plantings	7,90±0,11	4,76±0,03	0,80±0,06	5,35±0,36
3	forest edge number and inside plantings	7,80±0,11	6,82±0,07	0,50±0,11	5,11±0,22
3.1	forest edge number and inside plantings	7,50±0,11	5,00±0,13	0,56±0,02	4,69±0,61
4	forest edge number	7,70±0,17	6,05±0,09	0,16±0,01	6,86±1,36
4.1	forest edge number	7,60±0,06	8,30±0,14	0,40±0,13	6,73±0,27
5	forest edge number	7,80±0,09	5,02±0,05	0,27±0,01	6,12±0,61
5.1	forest edge number and inside plantings	7,70±0,06	5,76±0,12	0,20±0,08	6,87±0,11
6	forest edge number	7,80±0,11	3,83±0,07	0,83±0,02	8,67±0,09
6.1	control (inside plantings)	7,60±0,06	2,66±0,07	0,10±0,03	3,94±1,04

Table 4

Influence of shrubs on noise pollution and illumination

№	Noise pollution, decibel			Illumination, Lux		
	before	inside	behind	before	inside	behind
1	74±3,02	59±2,0	50±3,39	16,8±0,25	2,5±0,47	7,8±0,80
1.1	82±1,58	70±3,81	63±4,80	9,2±0,52	5,6±0,27	11,3±0,20
2	78±2,09	63±2,65	60±2,00	19,5±0,33	4,6±0,33	6,7±0,39
2.1	80±1,87	75±1,58	75±1,58	10,3±0,22	2±0,32	18,3±0,72
3	60±3,32	55±2,92	53±4,80	3,5±0,46	3,0±0,45	7,4±0,23
3.1	78±1,58	67±4,42	60±2,92	7,3±0,27	6±0,33	15,1±0,22
4	80±3,87	32±2,35	70±1,41	68,6±0,71	2,6±0,27	19,2±0,48
4.1	90±2,45	45±2,92	60±2,00	76,0±1,51	0,08±0,03	70,0±0,73
5	95±5,34	50±1,22	60±3,74	66,0±2,12	2,6±0,47	66,5±0,49
5.1	90±3,46	55±1,58	95±2,24	31±2,55	0,03±0,02	32,0±0,47
6	80±1,41	50±2,55	70±2,70	31,4±1,20	18,5±0,37	32,0±1,10
6.1	80±6,20	75±1,00	55±2,24	27,4±0,44	30,6±1,12	35,6±2,08

CONCLUSIONS

The presence of two or more shrub rows in the edge tree rows of protective growing stock allows to reduce moisture evaporation, over-compaction and acidification of the upper soil horizon.

Roadside forest strips of dense impermeable construction with the shrub species allow to achieve maximum noise reduction from the motor road, to reduce luminosity at frontal and lateral lighting of the roadbed.

The introduction of two or more shrub species into the system of protective growing stock will allow to create a sustainable phyto-meliorative phytocoenosis.

The work was supported by the State Program for Leading Scientific Schools of the Russian Federation (NSH-2511.2020.11)

References

1. Zdornov I. A., Nagimov Z. Ya., Kapralov A. V. Sanitary condition of roadside protective forest lanes in northern Kazakhstan, *Successes of modern natural science*, **3**, 44 (2018).
2. Chernikov E. A., Goptarev S. M., Morkovin V. A. Influence of protective forest strips on the ecological state of the roadside territory, *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*, **3 (21)**, 74 (Voronezh, 2017).
3. Ivanova A. N. *The influence of the parameters of roadside forest lanes on reducing noise near roads (using the example of the Saratov right bank)*: diss.... edging. biol. Sciences, 118. (Saratov, 2014).
4. Kokin A. V., Shumakova G. E. Agroecobsecurity of timber and open agroecosystems of the South of Russia, *Bulletin MANEB*, **20, 1**, 116 (2015).
5. Ivanisova N. V., Davydenko N. M., Kurinskaya L. V., Kolesnikov S. I. *The protective effect of plantations on soil of roadsive landscapes*, 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, 635 (CONFERENCE PROCEEDINGS, 2018).
6. Bechina D. N., Boytsova E. N. *The influence of wood-shrub vegetation on noise reduction on the example of Saratov*, Environmental and technological aspects of forestry in the steppe and forest-steppe: materials conf, Ed. A. V. Golubev; FGOU VPO "Saratov GAU", 108 p. (Saratov, 2007).

Иванисова Н. В. Фитомелиоративная роль кустарникового пояса в придорожных насаждениях / Н. В. Иванисова, Л. В. Куринская, С. И. Колесников, Н. М. Давыденко // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология, химия. – 2021. – Т. 7 (73), №2. – С. 80–86.

Вдоль федеральных дорог Ростовской области, Краснодарского края и Ставропольского края все чаще можно встретить чистые насаждения, состоящие из одной или двух древесных пород, с полностью уничтоженным кустарниковым поясом. В 62 % исследованных насаждений кустарниковый пояс представлен видами скумпии (*Cotinus coggygia*, 17 %), терна (*Prunus spinosa*, 9 %), вяза (*Ulmus parvifolia*, 5 %), клена (*Acer tataricum*, 3 %), есть устойчивыми к антропогенным и климатическим факторам степной зоны. Кустарниковый пояс в защитных придорожных полосах играет существенную роль в накоплении почвенной влаги (на 6,3 %), гумуса (на 2,4 %), в снижении шумовой нагрузки (на 25 дБ). Прикуветные и заполосные кустарниковые насаждения позволяют создать плотную конструкцию лесных полос, которая в полной мере выполняет защитные функции как от заносов полотна автодороги снегом, так и по снижению негативного влияния автотранспорта на сопредельные ландшафты. Изучение фитомелиоративной роли кустарникового пояса в существующих придорожных насаждениях является актуальным направлением исследований для дальнейшей разработки рекомендаций по созданию и содержанию защитных придорожных насаждений в степной зоне юга России.

Ключевые слова: кустарник, фитомелиоративная роль, почвы, придорожные насаждения, шум, освещенность.

УДК 577.112:612

ПОКАЗАТЕЛИ ДЕСТРУКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭРИТРОЦИТАХ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА IN VITRO

Коношенко С. В.¹, Елкина Н. М.², Большакова А. А.¹

¹*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

²*Медицинская академия им. С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*
E-mail: svkonoshenko@inbox.ru

Показано, что в условиях развития окислительного стресса *in vitro* в мембране и цитозольной фракции эритроцитов усиливаются реакции окислительной модификации протеинов и образование среднемолекулярных олигопептидов. По сравнению с цитозольной фракцией в мембране эритроцитов наблюдается хорошо выраженное преобладание образования среднемолекулярных олигопептидов. Более выраженные изменения в направлении интенсификации претерпевают процессы окислительной модификации протеинов по сравнению с образованием среднемолекулярных олигопептидов, что прослеживается как в мембране, так и в цитозольной фракции эритроцитов.

Ключевые слова: эритроциты, окислительная модификация протеинов, среднемолекулярные олигопептиды, окислительный стресс.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема окислительного стресса является одной из наиболее актуальных в современной биологии и медицине [1–4]. Развитие окислительного стресса связано с усиленным генерированием активных форм кислорода (АФК), что обусловлено нарушением прооксидантно-антиоксидантного равновесия, которое в норме ограничивает накопление АФК и препятствует формированию цепного, лавинообразного процесса их образования.

В настоящее время хорошо известен тот факт, что многие заболевания сопровождаются развитием окислительного стресса и в этот процесс вовлекаются эритроциты [5–7]. Известно также, что под действием АФК в клетках осуществляются различного рода деструктивные процессы, связанные со структурными изменениями липидов, протеинов и нуклеиновых кислот [8, 9]. Представляется важным понять характер деструктивных изменений в эритроцитах в условиях развития окислительного стресса.

В связи с этим, целью настоящей работы являлось изучение окислительной модификации протеинов и образования среднемолекулярных олигопептидов в мембранах и цитозольной фракции эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса *in vitro*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили эритроциты практически здоровых людей (25 человек, средний возраст 38,0 лет). Кровь брали на базе ГБУЗ РК «Центр крови», г. Симферополь.

Моделирование окислительного стресса осуществляли, используя среду Фентона, содержащую 10 мМFeSO₄ и 3 мМ H₂O₂. Эритроциты инкубировали в среде Фентона в течение 2, 4 и 6 часов при температуре 37° С. Эритроциты гемолизировали по методу Драбкина, мембраны и цитозольную фракцию отделяли методом центрифугирования [10].

В мембранах и цитозольной фракции эритроцитов определяли содержание продуктов окислительной модификации протеинов [8] и среднемолекулярных олигопептидов [11].

Продукты окислительной модификации протеинов (альдегидные и кетонные производные аминокислот нейтрального и основного характера) идентифицировали спектрофотометрически при 356 нм, 370 нм, 430 нм и 530 нм.

Спектрофотометрическую идентификацию среднемолекулярных олигопептидов осуществляли при 254 нм, 275 нм и 280 нм.

Полученные данные обрабатывали статистически с применением t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследований, в динамике инкубации эритроцитов в среде Фентона наблюдается существенное увеличение содержания продуктов окислительной модификации протеинов (ОМП) как в мембранах, так и в цитозольной фракции эритроцитов.

Таблица 1
Содержание продуктов ОМП в мембранах эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса *in vitro*

Объект исследования	Продукты ОМП, ед.опт.пл			
	Нейтральной природы		Основной природы	
	альдегиды	кетоны	альдегиды	кетоны
	356 нм	370 нм	430 нм	530 нм
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)				
	0,115±0,008	0,142±0,009	0,153±0,012	0,026±0,003
Эритроциты после инкубации в среде Фентона в течение:				
2-х ч.	0,162±0,023*	0,192±0,022*	0,192±0,023*	0,066±0,010*
4-х ч.	0,234±0,043*	0,243±0,040*	0,267±0,034*	0,073±0,010*
6-ти ч.	0,350±0,042*	0,389±0,048*	0,400±0,050*	0,109±0,013*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контрольной группой (p<0,05).

Так, в мембранах через 2 инкубации эритроцитов в среде Фентона содержание альдегидных продуктов ОМП нейтрального характера возрастало в 1,4 раза по сравнению с контролем; содержание кетонных продуктов нейтрального характера увеличивалось в 1,35 раза, альдегидных продуктов основного характера – в 1,3 раза, кетонных продуктов основного характера – в 2,5 раза.

Через 4 часа инкубации эритроцитов в среде, продуцирующей АФК, прослеживается дальнейший рост уровня продуктов ОМП: альдегидных продуктов нейтрального характера в 2,0 раза по сравнению с контролем, кетонных продуктов нейтрального характера – в 1,7 раза, содержание альдегидных и кетонных продуктов ОМП основного характера увеличивалось в 1,7 и 2,8 раза, соответственно.

Через 6 часов инкубации эритроцитов в среде Фентона уровень альдегидных и кетонных продуктов нейтрального характера увеличивался в 3,0 и в 2,7 раза по сравнению с контролем; содержание альдегидных и кетонных продуктов основного характера возрастало в 2,6 и в 4,2 раза. Наиболее выраженные изменения отмечены в содержании альдегидных продуктов ОМП нейтрального характера и кетонных продуктов основного характера.

В цитозольной фракции эритроцитов также отмечалось существенное увеличение продуктов окислительной модификации протеинов как нейтрального, так и основного характера.

Таблица 2

Содержание продуктов ОМП в цитозольной фракции эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса *in vitro*

Объект исследования	Продукты ОМП, ед.опт.пл			
	Нейтральной природы		Основной природы	
	альдегиды	кетоны	альдегиды	кетоны
	356 нм	370 нм	430 нм	530 нм
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)				
	1,03±0,15	1,07±0,14	1,33±0,14	0,37±0,07
Эритроциты после инкубации в среде Фентона в течение:				
2-х ч.	1,62±0,27*	1,63±0,23*	1,51±0,14*	0,46±0,08*
4-х ч.	2,55±0,27*	2,26±0,17*	2,63±0,33*	0,71±0,09*
6-ти ч.	1,78±0,19*	1,92±0,13*	1,98±0,16*	0,59±0,04*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контрольной группой (p<0,05).

Так, через 2 часа инкубации эритроцитов в среде Фентона содержание альдегидных продуктов ОМП нейтрального характера увеличивалось в 1,6 раза по сравнению с контролем, содержание кетонных продуктов ОМП нейтрального характера – в 1,6 раза, содержание альдегидных и кетонных продуктов основного

характера – на 12,0 % и 24,0 %, соответственно. Через 4 часа инкубации эритроцитов в среде Фентона наблюдалось дальнейшее увеличение содержания продуктов ОМП: альдегидных продуктов нейтрального характера в 2,5 раза по сравнению с контролем, кетонных продуктов нейтрального характера – в 2,0 раза, альдегидных и кетонных продуктов основного характера – в 2,0 и 1,9 раза.

Через 6 часов инкубации эритроцитов уровень регистрируемых продуктов ОМП несколько снижался, хотя и оставался достоверно выше контроля (в среднем в 1,7 раза). Наблюдаемое снижение содержания регистрируемых продуктов ОМП через 6 часов инкубации эритроцитов в среде Фентона может быть связано с более глубокими деструктивными процессами, ведущими к фрагментации некоторой доли белковых молекул и в дальнейшем к вымыванию белковых фрагментов этилацетатно-спиртовой смесью в процессе эксперимента.

Другим, не менее важным показателем деструктивных процессов, связанных с фрагментацией протеинов, является уровень содержания среднемолекулярных олигопептидов (СМО). При определении содержания СМО в мембранах и цитозольной фракции эритроцитов были получены данные, представленные в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Содержание СМО в мембранах эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса in vitro

Объект исследования	Среднемолекулярные олигопептиды, ед.опт.пл. • мл ⁻¹		
	254 нм	275 нм	280 нм
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)			
	0,346±0,024	0,250±0,015	0,198±0,012
Эритроциты после инкубации в среде Фентона в течение:			
2-х ч.	0,400±0,032	0,288±0,020	0,228±0,014
4-х ч.	0,467±0,037*	0,338±0,024*	0,267±0,016*
6-ти ч.	0,690±0,055*	0,505±0,040*	0,396±0,028*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контрольной группой (p<0,05).

Показано, что через 2 часа инкубации эритроцитов в среде Фентона содержание СМО в мембранах увеличивалось, в среднем, на 15,0 % по сравнению с контролем (на уровне тенденции). Через 4 часа инкубации эритроцитов отмечено увеличение содержания СМО на 35,0 % по сравнению с контролем, что наблюдается при всех длинах волн регистрации.

Через 6 часов инкубации эритроцитов в среде Фентона уровень, СМО возрастал, в среднем, в 2,0 раза по сравнению с контролем.

В цитозольной фракции эритроцитов содержание СМО также возрастало с увеличением времени инкубации эритроцитов в среде Фентона. Через 2 часа инкубации эритроцитов увеличение показателей было незначительным (в среднем, на 10,0 % по сравнению с контролем, на уровне тенденции), через 4 часа инкубации отмечено достоверное увеличение показателей, в среднем, на 25,0 % по сравнению с контролем. Через 6 часов инкубации эритроцитов уровень СМО в цитозольной фракции возрастал в 1,5 раза по сравнению с контролем.

Таблица 4

Содержание СМО в цитозольной фракции эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса *in vitro*

Объект исследования	Среднемолекулярные олигопептиды, ед.опт.пл. • мл ⁻¹		
	254 нм	275 нм	280 нм
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)			
	0,620±0,030	0,435±0,028	0,284±0,016
Эритроциты после инкубации в среде Фентона в течение:			
2-х ч.	0,682±0,035*	0,479±0,030*	0,312±0,020*
4-х ч.	0,775±0,054*	0,544±0,038*	0,355±0,020*
6-ти ч.	0,930±0,064*	0,650±0,040*	0,406±0,024*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контрольной группой (p<0,05).

Следует отметить, что более выраженные изменения в образовании СМО прослеживаются в мембранах эритроцитов по сравнению с их цитозольной фракцией.

Из полученных данных видно, что как в мембранах, так и в цитозольной фракции эритроцитов, более выраженные изменения в направлении интенсификации претерпевают процессы окислительной модификации протеинов по сравнению с образованием среднемолекулярных олигопептидов. Это можно объяснить тем, что окислительная модификация отдельных аминокислотных остатков в протеинах не всегда сопровождается фрагментацией их молекул. В целом, это взаимосвязанные процессы, иллюстрирующие характер деструктивных изменений, осуществляемых на уровне молекул протеинов в процессе развития окислительного стресса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Установлено, что в условиях развития окислительного стресса *in vitro* в мембранах и цитозольной фракции эритроцитов усиливаются процессы окислительной модификации протеинов и образования среднемолекулярных олигопептидов.
2. Наиболее выраженные изменения в содержании среднемолекулярных олигопептидов в условиях развития окислительного стресса наблюдаются в мембранах эритроцитов по сравнению с их цитозольной фракцией.
3. В условиях развития окислительного стресса более выраженные изменения в направлении интенсификации претерпевают процессы окислительной модификации протеинов по сравнению с образованием среднемолекулярных олигопептидов, что прослеживается как в мембранах, так и в цитозольной фракции эритроцитов.

Список литературы

1. Азизова О. А. Взаимосвязь маркеров окислительного стресса с клиническим течением хронической ишемии мозга / О. А. Азизова // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2013. – №9. – С. 21–27.
2. Курашова Н. А. Особенности окислительного стресса при различных патологических состояниях у мужчин репродуктивного возраста / Н. А. Курашова // Бюлл. Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. – 2012. – №2 (2). – С. 31–35.
3. Луцкий М. А. Формирование окислительного стресса как одного из звеньев сложного патогенеза социально-значимых заболеваний нервной системы: инсульта и рассеянного склероза / М. А. Луцкий, А. М. Земсков, М. А. Смелянец и др. // Фундаментальные исследования. – 2014. – №10. – С. 27–32.
4. Владимиров Ю. А. Активные формы кислорода и азота: значение для диагностики, профилактики и терапии / Ю. А. Владимиров // Биохимия. – 2004. – Т. 69, Вып.1. – С. 5–7.
5. Елкина Н. М. Липидный состав и пероксидация липидов в эритроцитах при железодефицитной анемии / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), №1. – С. 25–29.
6. Елкина Н. М. Процессы пероксидации липидов и генерирование активных форм кислорода в эритроцитах больных кардиомиопатией / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), №1. – С. 30–35.
7. Новицкий В. В. Белковый спектр мембран эритроцитов у больных раком лёгкого и с опухолями головы и шеи / В. В. Новицкий, К. Г. Корешкова, Е. А. Степовая и др. // Бюл. экспер. биол. и медицины. – 1999. – Т. 127, Прил. 1. – С. 18–20.
8. Дубинина Е. Е. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения / Е. Е. Дубинина, С. О. Бурмистров, Д. А. Ходов и др. // Вопр. медицинской химии. – 1996. – Т. 41, №1. – С. 24–26.
9. Йолкіна Н. М. Стан процесів пероксидації ліпідів, розпаду білків та активність окремих антиоксидантних ферментів в еритроцитах при ішемічній хворобі серця і кардіоміопатії / Н. М. Йолкіна, С. В. Коношенко, ІліасШашуа, Е. С. Крутіков, З. М. Мірмуїнова // Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. – 2011. – №4. – С. 52–56.
10. Drabkin D. A simplified technique for large scale crystallization myoglobin and hemoglobin in the crystalline / D. Drabkin // Arch. Biochem. – 1959. – V. 21. – P. 224–226.
11. Габриэлян Н. И. Скрининговый метод определения средних молекул в биологических жидкостях. / Габриэлян Н. И., Левицкий Э. Р., Дмитриев А. А. и др. – Методические рекомендации. – М.: Медицина, 1985 г. – 34 с.

**THE INDEXES OF DESTRUCTIVE PROCESSES IN ERYTHROCYTES UNDER
MODEL OXIDATIVE STRESS IN VITRO**

Konoshenko S. V., Elkina N. M., Bolshakova A. A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: svkonoshenko@inbox.ru*

The problem of oxidative stress is one of more actual in biology and medicine. It is known that oxidative stress is realized when the balance in prooxidative and antioxidative processes is destroyed [1–4]. Today we have many dates about that under some diseases with oxidative stress erythrocytes are involved in pathological processes as demonstrated by biochemical changes occurring in them [5–8]. In this regard, it is interest to examine the state of the processes of protein oxidative modification and formation of oligopeptides with average mass in membranes and cytosol fraction of erythrocytes under development of oxidative stress in vitro.

The materials for the study were the erythrocytes of healthy subjects (25 persons at 35–45 years old). Erythrocytes were incubated in Fenton system (10 mM FeSO₄ and 3 mM H₂O₂) at 37 °C during 2, 4 and 6 hours. Membranes of erythrocytes were separated from erythrocytes (cytosol fraction) by method of centrifugation [9]. In membranes and cytosol fraction the content of proteins oxidative modification products and the content of oligopeptides with average mass were determined [10, 11].

It has been shown, that under development of oxidative stress in vitro in cytosol fraction and membranes of erythrocytes the processes of proteins oxidative modification and formation of oligopeptides with average mass are intensified. So, in membranes of erythrocytes the level of proteins oxidative modification products was raised at 2,0 times from 4 hours of incubation of erythrocytes in Fenton system, and at 3,13 times from 6 hours of incubation (as compared with control). In cytosol fraction the level these components of proteins oxidative modification was raised at 1,63 time, from 2 hours of incubation and at 2,0 times from 4 hours of incubation of erythrocytes. From 6 hours of incubation of erythrocytes in Fenton system the level of protein oxidative modification products was lowed.

The level of oligopeptides with average mass was raised also. So, in membranes of erythrocytes the level of these components was raised: at 15 % from 2 hours of incubation, at 35 % from 4 hours and at 2,0 times from 6 hours of incubation as compared with control. In cytosol fraction the level of oligopeptides was raised: at 10 % from 2 hours of incubation, at 25 % from 4 hours of incubation and at 1,5 times 6 hours.

The abstained dates evidence about intensification destructive processes in erythrocytes under oxidative stress.

Keywords: erythrocytes, proteins oxidative modification, oligopeptides, destructive processes, oxidative stress.

References

1. Azizova O. A., Interaction of markers of oxidative stress with clinical proceed of chronic brain ischemia, *J. Neurology and psychiatry*, **9**, 21 (2013).
2. Kurashova N. A., Peculiarities of oxidative stress under different state of man in reproductive age, *Bull. East-Siberian scientific centre SD RAMN*, **2(2)**,31 (2012).
3. Lutskij M. A., Zemskov A. M., Formation of oxidative stress as one from links of difficult pathogenesis of social diseases of nervous system-insult and diffuse cerebral sclerosis, *Fundam. researches*, **10**, 27 (2014).
4. Vladimirov U. A., The active forms of oxygen and nitrogen: significance for diagnostic, prophylactic and therapeutics, *Biochemistry*, **69**, **1**, 5 (2004).
5. Yolkina N. M., Konoshenko S. V., Lipids composition and rapids peroxidation in erythrocytes under iron-deficiency anemia, *Sc. notes of V.I. Vernadsky, Crimean Federal University*, **1(67)**, №1, 25 (2015).
6. Yolkina N. M., Konoshenko S. V., Processes of lipids peroxidation and oxygen active forms formation in erythrocytes of patients with cardiomyopathy, *Sc. notes of V. I. VernadskyTaurida University, Biology and Chemistry*, **1(67)**, **1**, 30 (2015).
7. Novitsky V. V., Koreshkova K. G., Stepovaja E. A. et al, Protein spectre of erythrocytes membranes of patients with lung cancer and tumor of head and neck, *Bul. experiment. biology and medicine*, **127**, **1**, 18 (1999).
8. Yolkina N. M., Konoshenko S. V., Shashuallias, Krutikov E. S., Mirmuminova Z. M., The state of processes of lipids peroxidation, proteins destruction, and activity of antioxidative enzymes in erythrocytes of patients with ischemic heart disease and cardiomyopathy, *Experiment and clinical physiology and biochemistry*, **4**, 52 (2011).
9. Drabkin D., A simplified technique for large scale crystallization myoglobin and haemoglobin in the crystalline, *Arch. Biochem.*, **21**, 224 (1959).
10. Dubinina E. E., Burmistrev S. O., Hodov D. A. et al, Oxidative modification of proteins of human blood scarum, the method of their determination, *Voprosi medical chem.*, **41**, **1**, 24 (1996).
11. Gabrieljan N. I., Levitskiy E. R., Dmitriev A. A., et al, *Skimming method of identification of molecules with average mass in biological liquids*, Methodic recommendation, 34 (Moscow, Medicine, 1985).

УДК 612.821

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-2-95-103

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЕТА-РИТМОВ ЭЭГ У ДЕТЕЙ 4-15 ЛЕТ В СОСТОЯНИИ УСТОЙЧИВОГО ЗРИТЕЛЬНОГО ВНИМАНИЯ

Михайлова А. А., Кайда А. И., Эйсмонт Е. В., Павленко В. Б.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: anna.kulenkova@gmail.com*

В исследовании приняли участие 159 детей (82 девочки и 77 мальчиков) в возрасте от 4 до 15 лет с нормальным уровнем физического и умственного развития. ЭЭГ регистрировали в состоянии устойчивого зрительного внимания (УЗВ). Выявлен наибольший прирост относительной мощности (ОМ) бета1-ритма ЭЭГ в возрастном диапазоне 7–12 и бета2-ритма – в период 10–15 лет. Полученные значения показателей ОМ бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в состоянии УЗВ, у детей разного возраста могут быть использованы как референтные данные в соответствующих областях исследований, а также при разработке протоколов коррекции когнитивных функций и психоэмоционального состояния с применением биологической обратной связи по ЭЭГ. Возрастная динамика ОМ бета-ритма может служить индикатором созревания процессов коркового торможения, лежащих в основе становления произвольных когнитивных функций и осознанного целенаправленного поведения детей.

Ключевые слова: ЭЭГ, относительная мощность, бета-ритм, дети, подростки.

ВВЕДЕНИЕ

Биоэлектрическая активность головного мозга, регистрируемая с поверхности кожи головы, характеризуется ритмическими колебаниями, генерируемыми синхронизированной синаптической активностью больших популяций нейронов в таламокортикальных и кортико-корковых сетях. Такая активность представлена в виде электроэнцефалограммы (ЭЭГ). В процессе онтогенеза важной особенностью ЭЭГ является постепенное снижение мощности ее ритмов на протяжении детского и подросткового возраста. Причиной этих изменений являются синаптический прунинг (сокращение числа синапсов или нейронов для повышения эффективности нейросетей, удаления избыточных связей), увеличение толщины костей черепа и мягких тканей головы. При этом, однако, в наибольшей степени падает мощность низкочастотных компонентов ЭЭГ (дельта- и тета-ритмов), в то время как мощность высокочастотных составляющих (альфа-, бета- и гамма-ритмов) снижается в меньшей степени [1].

Одним из надежных параметров оценки биоэлектрической активности головного мозга у детей является относительная мощность (ОМ) ЭЭГ. Указанный показатель отражает вклад конкретного ритма по отношению к общей электрической активности в определенном отведении ЭЭГ. Использование

показателей ОМ минимизирует индивидуальные различия абсолютной мощности, связанные с толщиной костей черепа и другими анатомическими факторами.

Было показано, что ОМ высокочастотных колебаний значимо увеличивается в возрастных периодах 8–12 [2], 10–13 лет [3]. При этом увеличение ОМ альфа-ритма происходило в затылочных областях, а ОМ бета-ритма – в центральных и передних областях неокортекса. Изменения спектрального состава ЭЭГ могут отражать снижение количества активных синапсов по мере взросления детей [4], увеличение миелинизации или размера аксонов [5].

Также были обнаружены различия в ОМ ЭЭГ у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ) и нормально развивающихся сверстников. Так, у детей 8–12 лет с СДВГ, в сравнении с контрольной группой, обнаружены более высокие показатели ОМ дельта- и тета-ритмов, низкие значения ОМ альфа- и бета-ритмов [6]. Аналогичные особенности были обнаружены и в группах детей с СДВГ 8–13 лет [7] и 6–14 лет [8]. В другой работе было показано, что ОМ бета-ритма в центральных областях была выше у нормально развивающихся детей по сравнению с детьми с СДВГ [9]. У взрослых с СДВГ также зарегистрирована более низкая ОМ альфа-ритма, чем у здоровых испытуемых [10].

Особенности показателей ОМ ритмов ЭЭГ выявлены и у детей 8–11 лет с плохой успеваемостью в школе. Такие дети имели более высокую ОМ тета-ритма и низкую ОМ альфа2-ритма по сравнению с детьми контрольной группы [11].

Таким образом, результаты исследований показали, что ОМ ЭЭГ систематически изменяется не только в зависимости от возраста, но и при различных нарушениях развития. Однако не было проведено комплексного исследования изменений ОМ ритмов ЭЭГ у детей в широком возрастном диапазоне, что позволило бы выявить критические периоды в развитии биоэлектрической активности головного мозга. Такие данные могли бы быть использованы при проведении коррекционных тренингов биологической обратной связи по ЭЭГ с детьми и подростками. Особый интерес представляет исследование бета-ритма ЭЭГ, поскольку данный ритм отражает активность тормозящих ГАМК-эргических нейронных сетей неокортекса [12, 13]. Баланс возбуждения и торможения критически важен для оптимального протекания процессов произвольного и непроизвольного внимания, обучения, мышления, а также для поддержания эмоционального статуса ребенка. Исходя из этого важно выявить в каком возрасте является нормой определённая степень выраженности показателей бета-ритма и его поддиапазонов.

Предыдущие исследования анализировали возрастную динамику ОМ ритмов ЭЭГ детей в покое и, как правило, при закрытых глазах [2, 3]. В то же время, особый интерес представляет ОМ бета-ритма при выполнении заданий, требующих вовлечения когнитивных функций. В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования явилось выявление и анализ ОМ бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ в состоянии устойчивого зрительного внимания (УЗВ) у детей 4–15 лет.

В настоящем исследовании дети должны были наблюдать за движениями компьютерной мыши и воспроизводить их. При этом в определенные моменты предъявлялось изображение неподвижной компьютерной мыши, что сопровождалось просьбой смотреть на экран компьютера, в связи с чем активировалось как

произвольное, так и непроизвольное внимание испытуемых. Использование ситуации УЗВ позволяет анализировать природу различий в паттерне ЭЭГ детей разного возраста, учитывая данные о нейрофизиологических механизмах внимания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 159 детей (82 девочки и 77 мальчиков) в возрасте от 4 до 15 лет с нормальным уровнем физического и умственного развития. Выборка была разделена на 4 возрастные группы: 4–6 лет (43 человека), 7–9 лет (51 человек), 10–12 лет (33 человека) и 13–15 лет (32 человека).

Регистрацию ЭЭГ осуществляли с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр – 3», данные обрабатывали с использованием компьютерной программы «WinEEG». Для коррекции артефактов применяли метод независимых компонент. ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно в 19 отведениях по системе 10–20. Областью интересов в данном исследовании являлись переднелобные, лобные, височные, центральные, теменные и затылочные регионы неокортекса (локусы Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, C3, C4, P3, P4, O1, O2). Референтным электродом служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли, соответственно, 1,5 и 35 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 250 Гц.

Запись ЭЭГ производилась в ситуации УЗВ в течение 30 секунд. Отрезки ЭЭГ подвергались быстрому преобразованию Фурье с эпохой анализа 4 с и взаимным перекрытием эпох 50 %.

Определяли значения мощности ЭЭГ в следующих частотных диапазонах: тета- (4–7 Гц), альфа- (8–13 Гц), бета1- (14–20 Гц) и бета2- (14–20 Гц) ритмы. Для дальнейшего анализа рассчитывались показатели ОМ бета1- и бета2-ритмов. ОМ для данных ритмов ЭЭГ рассчитывалась как отношение мощности отдельного ритма к сумме мощностей всех исследованных ритмов в каждом отведении.

Статистический анализ данных проводился с использованием пакета STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc., США). Различия в ОМ бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ у детей четырех возрастных групп оценивались с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями (repeated measures ANOVA). Оценивали влияние факторов «Возраст» (дети в возрасте 4–6, 7–9, 10–12 и 13–15 лет) и «Локус» (16 отведений ЭЭГ). Далее, для расчета статистической значимости различий в ОМ бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ у детей в привязке отдельно к каждому из шестнадцати отведений ЭЭГ, в рамках каждой возрастной группы использовался метод априорных контрастов (оценка F-распределения). Для описания данных использовали среднее и стандартную ошибку среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты дисперсионного анализа различий в ОМ бета1-ритма в УЗВ у детей 4–6, 7–9, 10–12 и 13–15 лет представлены в таблице 1.

Обнаружено значимое влияние факторов ГРУППА и ЛОКУС, а также их взаимодействия. Для оценки значимости различий в ОМ бета1-ритма в каждом из 16 локусов ЭЭГ рассчитывались априорные контрасты на основе F-статистики.

Гистограммы величин ОМ бета1-ритма в сравнении между различными возрастными группами представлены на рис. 1.

Таблица 1
Результаты дисперсионного анализа различий в относительной мощности бета 1- и бета 2-ритмов ЭЭГ при открытых глазах (в ситуации зрительного внимания) у детей разных возрастных групп (фактор ГРУППА)

Ритм ЭЭГ	ГРУППА	ЛОКУС	ЛОКУС×ГРУППА
	$F_{3, 155};$ p	$F_{15, 2325};$ p	$F_{45, 2325};$ p
Бета 1	17,08; < 0,001	69,73; < 0,001	1,40 0,04
Бета 2	1,53; 0,20	78,6 < 0,001	1,61 0,006

Примечание: ЛОКУС – 16 отведений

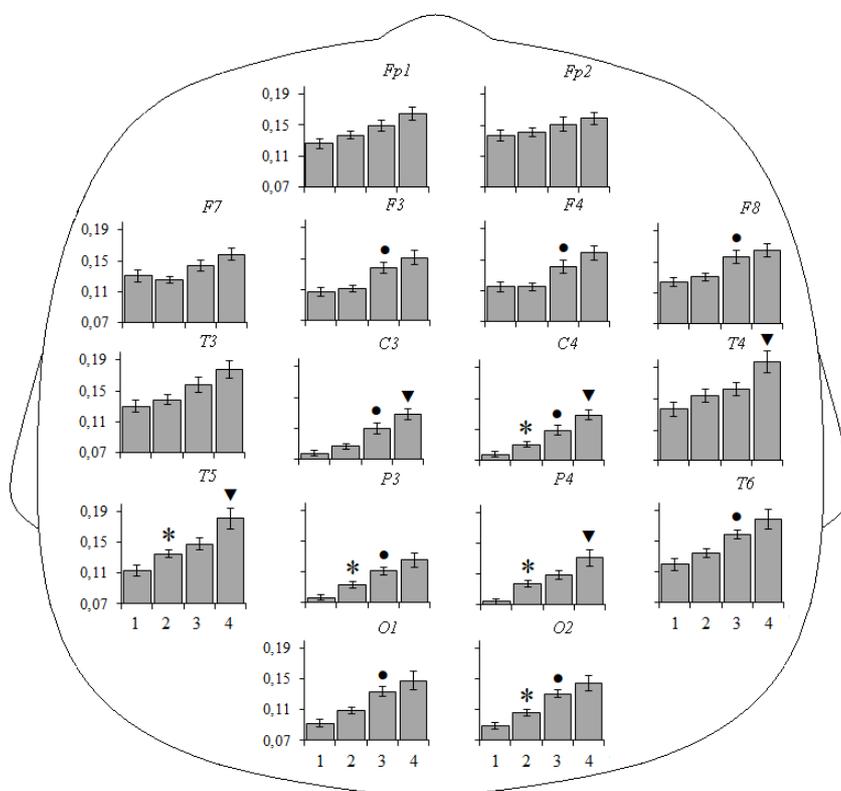


Рис. 1. Относительная мощность бета1-ритма ЭЭГ у детей в возрасте 4–6 (1), 7–9 (2), 10–12 (3) и 13–15 (4) лет. Случаи достоверных различий (при $p < 0,05$), выявленные методом априорных контрастов: * – между группами детей 1 и 2, • – между группами детей 2 и 3, ▼ – между группами детей 3 и 4.

В группе детей 7–9 лет по сравнению с детьми 4–6 лет были выявлены значимо более высокие показатели ОМ бета1-ритма ЭЭГ, зарегистрированной в ситуации УЗВ, в центральном локусе правого полушария (С4: $p = 0,04$), задневисочном отведении левого полушария (Т5: $p = 0,04$), теменных локусах (Р3: $p = 0,02$; Р4: $p = 0,002$) и затылочном отведении правого полушария (О2: $p = 0,03$). У детей 10–12 лет, в сравнении с детьми 7–9 лет, величина ОМ бета1-ритма была значимо выше в лобных областях (F3: $p = 0,002$; F4: $p = 0,005$), заднем ниже-лобном локусе правого полушария (F8: $p = 0,005$), центральных отведениях (С3: $p = 0,002$; С4: $p = 0,007$) и задневисочном локусе правого полушария (Т6: $p = 0,04$), а также в теменном локусе левого полушария (Р3: $p = 0,02$) и затылочных областях (О1: $p = 0,01$; О2: $p = 0,003$). В группе детей 13–15 лет, в сравнении с группой 10–12 лет, значимо более высокие показатели ОМ бета1-ритма ЭЭГ были зарегистрированы в центральных областях (С3: $p = 0,02$; С4: $p = 0,01$), средне-височном локусе правого полушария (Т4: $p = 0,02$), задневисочном отведении левого полушария (Т5: $p = 0,009$) и теменном локусе правого полушария (Р4: $p = 0,01$).

Таким образом, обнаружено увеличение представленности бета1-ритма у детей 4–15 лет по мере взросления, а наиболее критичным в этом отношении является период 7–12 лет.

Дисперсионный анализ различий в ОМ бета2-ритма в ситуации УЗВ у детей четырех возрастных групп продемонстрировал значимое влияние фактора ЛОКУС и взаимодействия факторов ГРУППА×ЛОКУС (табл. 1). Гистограммы величин ОМ бета2-ритма в сравнении между различными возрастными группами представлены на рис. 2.

Значимо более низкие показатели ОМ бета2-ритма ЭЭГ, зарегистрированной в ситуации УЗВ, были выявлены в группе детей 7–9 лет относительно детей 4–6 лет во фронтальном локусе правого полушария (F4: $p = 0,02$). Значимых различий в ОМ бета2-ритма ЭЭГ у детей 7–9 и 10–12 обнаружено не было. В группе подростков 13–15 лет, в сравнении с детьми 10–12 лет, зарегистрированы значимо более высокие показатели ОМ бета2-ритма ЭЭГ в средне-височном (Т3: $p = 0,04$) и задневисочном отведениях левого полушария (Т5: $p = 0,04$) и теменном локусе левого полушария (Р3: $p = 0,03$).

Таким образом, значимое нарастание представленности бета2-ритма выявлено в период 10–15 лет.

Обнаруженное возрастание ОМ бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ согласуется с результатами других исследований. Так, известно, что по мере взросления наблюдается уменьшение доли медленных волн в диапазоне дельта- и тета-ритмов и увеличение более быстрой альфа- и бета-активности, а также увеличение доминирующей частоты ритмов [2]. Принято считать, что данные изменения начинаются в затылочных областях мозга, затем следуют изменения в центральных и фронтальных областях [3].

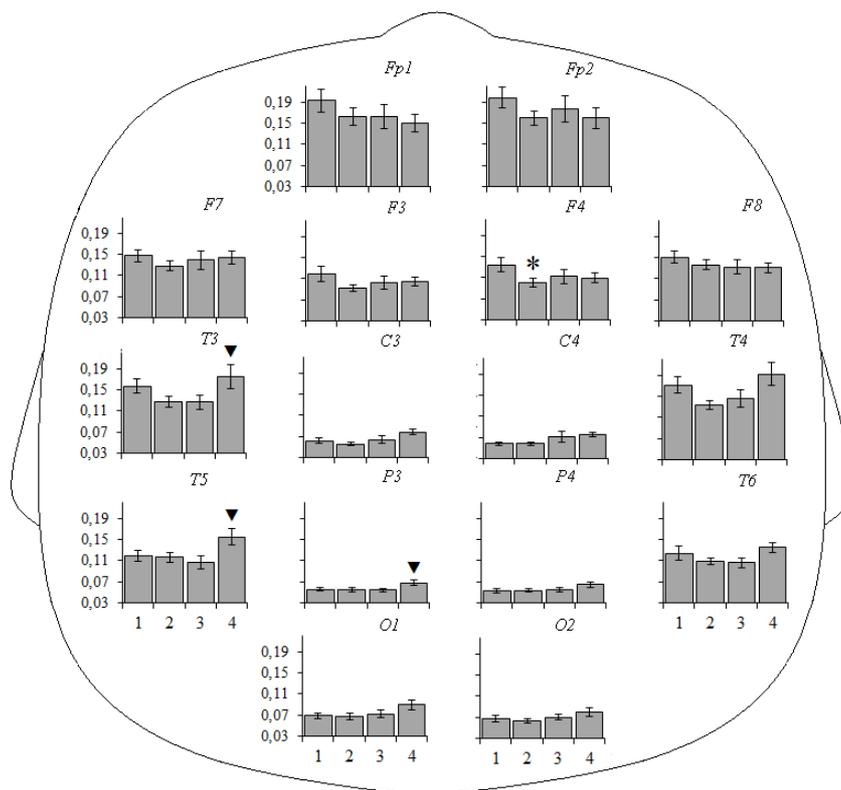


Рис. 2. Относительная мощность бета2-ритма ЭЭГ у детей в возрасте 4–6 (1), 7–9 (2), 10–12 (3) и 13–15 (4) лет. Случаи достоверных различий, выявленные методом априорных контрастов, при $p < 0,05$: * – между группами детей 1 и 2, ▼ – между группами детей 3 и 4.

Как уже отмечалось, бета-ритм отражает активность сети ГАМК-эргических тормозящих нейронов неокортекса. В недавнем исследовании, в котором участвовали взрослые молодые люди (больные эпилепсией с субдуральными электродами) [14], изучали процесс принятия решения о получении небольшого вознаграждения немедленно или крупного вознаграждения в будущем. Испытуемые, выбиравшие немедленное вознаграждение (импульсивный выбор) отличались меньшей мощностью бета- и большей тета-ритмов ЭЭГ. Участники, выбиравшие крупное вознаграждение с некоторой задержкой (взвешенный, обдуманный выбор) демонстрировали хорошо выраженный бета-ритм ЭЭГ. Очевидно, их система тормозящих нейронов работала более эффективно. Меньшая ОМ бета-ритма у младших детей, выявленная в нашем исследовании, свидетельствует о невысокой эффективности процессов ГАМК-эргического торможения в их коре мозга. Их тормозящие нейроны и рецепторы ГАМК являются недостаточно зрелыми [13]. Очевидно, данный фактор является одной из причин несдержанного, импульсивного поведения дошкольников и младших школьников. В

то же время меньшая выраженность процессов торможения благоприятствует пластичности поведения у детей данного возраста, что необходимо, в частности, для освоения широкого круга социальных навыков. Увеличение ОМ бета-ритма у старших детей свидетельствует о созревании процессов коркового торможения и становлении нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе произвольного внимания, принятия обоснованных решений, большей поведенческой сдержанности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные значения показателей ОМ бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в состоянии УЗВ у детей разного возраста, могут быть использованы как референтные данные в соответствующих областях исследований. Предлагается использовать показатели возрастной динамика ОМ бета-ритма в качестве индикатора созревания процессов коркового торможения, лежащих в основе становления произвольных когнитивных функций и осознанного целенаправленного поведения. Выявленные особенности становления бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ у детей разных возрастных групп могут быть важны при разработке эффективных протоколов коррекции когнитивных функций и психоэмоционального состояния с применением биологической обратной связи по ЭЭГ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым в рамках научного проекта № 20-413-910001 p_a.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Rodríguez-Martínez E. I. Co-maturation of theta and low-beta rhythms during child development / E. I. Rodríguez-Martínez, C. I. Barriga-Paulino, M. A. Rojas-Benjumea [et al.] // Brain Topogr. – 2015. – Vol. 28. – P. 250–260.
2. Clarke A. R. Age and sex effects in the EEG: development of the normal child / A. R. Clarke, R. J. Barry, R. McCarthy [et al.] // Clinical Neurophysiology. – 2001. – Vol. 112. – P. 806–814.
3. Cragg L. Maturation of EEG power spectra in early adolescence: a longitudinal study / L. Cragg, N. Kovacevic, A. R. McIntosh [et al.] // Dev Sci. – 2011. – Vol. 14, No 5. – P. 935–943.
4. Whitford T. J. Brain maturation in adolescence: concurrent changes in neuroanatomy and neurophysiology / T. J. Whitford, C. J. Rennie, S. M. Grieve [et al.] // Human Brain Mapping. – 2007. – Vol. 28, No 3. – P. 228–237.
5. Segalowitz S. J. Electrophysiological changes during adolescence: a review / S. J. Segalowitz, D. L. Santesso, M. K. Jetha // Brain and Cognition. – 2010. – Vol. 72, No 1. – P. 86–100.
6. Barry R. J. Resting-state EEG gamma activity in children with attention-deficit/hyperactivity disorder / R. J. Barry, A. R. Clarke, M. Hajos [et al.] // Clin Neurophysiol. – 2010. – Vol. 121, No 11. – P. 1871–1877.
7. Clarke A. R. Quantitative EEG in low-IQ children with attention-deficit/hyperactivity disorder / A. R. Clarke, R. J. Barry, R. McCarthy [et al.] // Clin Neurophysiol. – 2006. – Vol. 117, No 8. – P. 1708–1714.
8. Shi T. EEG characteristics and visual cognitive function of children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) / T. Shi, X. Li, J. Song [et al.] // Brain Dev. – 2012. – Vol. 34. – P. 806–811.

9. Markovska-Simoska S. Quantitative EEG in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder: comparison of absolute and relative power spectra and theta/beta ratio / S. Markovska-Simoska, N. Pop-Jordanova // *Clin EEG Neurosci.* – 2017. – Vol. 48, No 1. – P. 20–32.
10. Deiber M. P. Linking alpha oscillations, attention and inhibitory control in adult ADHD with EEG neurofeedback / M. P. Deiber, R. Hasler, J. Colin [et al.] // *Neuroimage Clin.* – 2020. – Vol. 25. – P. 102145.
11. Fonseca L. C. Quantitative EEG in children with learning disabilities: analysis of band power / L. C. Fonseca, G. M. A. S. Tedrus, M. G. Chiodi [et al.] // *Arq Neuropsiquiatr.* – 2006. – Vol. 64. – P. 376–381.
12. Jensen O. On the human sensorimotor-cortex beta rhythm: sources and modeling / O. Jensen, P. Goel, N. Kopell [et al.] // *Neuroimage.* – 2005. – Vol. 26, No 2. – P. 347–355.
13. Walther M. Maturation of inhibitory and excitatory motor cortex pathways in children / M. Walther, S. Berweck, J. Schessl [et al.] // *Brain and Development.* – 2009. – Vol. 31, No 7. – P. 562–567.
14. Gui D. Y. Dissociable functional activities of cortical theta and beta oscillations in the lateral prefrontal cortex during intertemporal choice / D. Y. Gui, T. Yu, Z. Hu [et al.] // *Sci. Rep.* – 2019. – Vol. 9. – P. 1–8.

AGE FEATURES OF BETA RHYTHMS EEG IN CHILDREN AGED 4-15 IN A STATE OF STABLE VISUAL ATTENTION

Mikhailova A. A., Kaida A. I., Eismont E. V., Pavlenko V. B.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: anna.kulenkova@gmail.com*

One of the reliable parameters for assessing the bioelectrical activity of the brain in children is the relative power (RP) of the EEG. Previous results have shown that EEG RP systematically changes not only depending on age, but also with various developmental disorders. The beta rhythm RP is of particular interest when performing tasks requiring the involvement of cognitive functions. In connection with the above, the purpose of the present study was to identify and analyze the RP of beta1 and beta2 EEG rhythms in a state of stable visual attention (SVA) in children 4–15 years old. The study involved 159 children (82 girls and 77 boys) aged 4–15 years with a normal level of physical and mental development. In the present study, children were required to observe and reproduce the movements of a computer mouse. At the same time, at certain moments, an image of a stationary computer mouse was presented, which was accompanied by a request to look at the computer screen, in connection with which both voluntary and involuntary attention of the subjects was activated. The use of the SVA situation makes it possible to analyze the nature of differences in the EEG pattern of children, taking into account the data on the neurophysiological mechanisms of attention. The greatest increase in the RP of the EEG beta1 rhythm found in the age range of 7–12. For the beta2 rhythm, the greatest increase discovered in the period of 10–15 years. The obtained values of the RP of the beta1 and beta2 rhythms of the EEG, recorded in the state of stable visual attention, in children of different ages can be used as reference data in the relevant research areas, as well as in the development of correction protocols for the cognitive functions and psychoemotional state using EEG biofeedback. The age-related dynamics of

the beta rhythm RP can serve as an indicator of the maturation of cortical inhibition processes in children, which underlie the formation of voluntary cognitive functions and conscious purposeful behavior.

Keywords: electroencephalogram, relative power, beta rhythm, children, adolescents.

References

1. Rodríguez-Martínez E. I., Barriga-Paulino C. I., Rojas-Benjumea M. A. and Gomez C. M., Co-maturation of theta and low-beta rhythms during child development, *Brain Topogr.*, **28**, 250 (2015).
2. Clarke A. R., Barry R. J., McCarthy R. and Selikowitz M., Age and sex effects in the EEG: development of the normal child, *Clinical Neurophysiology*, **112**, 806 (2001).
3. Cragg L., Kovacevic N., McIntosh A. R., Poulsen C., Martinu K., Leonard G. and Paus T., Maturation of EEG power spectra in early adolescence: a longitudinal study, *Dev Sci.*, **14**(5), 935 (2011).
4. Whitford T. J., Rennie C. J., Grieve S. M., Clark C. R., Gordon E. and Williams L. M., Brain maturation in adolescence: concurrent changes in neuroanatomy and neurophysiology, *Human Brain Mapping*, **28**(3), 228 (2007).
5. Segalowitz S. J., Santesso D. L. and Jetha M. K., Electrophysiological changes during adolescence: a review, *Brain and Cognition*, **72**(1), 86 (2010).
6. Barry R. J., Clarke A. R., Hajos M., McCarthy R., Selikowitz M. and Dupuy F. E., Resting-state EEG gamma activity in children with attention-deficit/hyperactivity disorder, *Clin Neurophysiol.*, **121**(11), 1871 (2010).
7. Clarke A. R., Barry R. J., McCarthy R., Selikowitz M., Magee C. A., Johnstone S. J. and Croft R. J., Quantitative EEG in low-IQ children with attention-deficit/hyperactivity disorder, *Clin Neurophysiol.*, **117**(8), 1708 (2006).
8. Shi T., Li X., Song J., Zhao N., Sun C., Xia W., Wu L. and Tomoda A., EEG characteristics and visual cognitive function of children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD), *Brain Dev.*, **34**(10), 806 (2012).
9. Markovska-Simoska S. and Pop-Jordanova N., Quantitative EEG in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder: comparison of absolute and relative power spectra and theta/beta ratio, *Clin EEG Neurosci.*, **48**(1), 20 (2017).
10. Deiber M. P., Hasler R., Colin J., Dayer A., Aubry J. M., Baggio S., Perroud N. and Ros T., Linking alpha oscillations, attention and inhibitory control in adult ADHD with EEG neurofeedback, *Neuroimage Clin.*, **25**, 102145 (2020).
11. Fonseca L. C., Tedrus G. M. A. S., Chiodi M. G., Cerqueira J. N and Tonelotto J. M. F., Quantitative EEG in children with learning disabilities: analysis of band power, *Arq Neuropsiquiatr.*, **64**(2B), 376 (2006).
12. Jensen O., Goel P., Kopell N., Pohja M., Hari R. and Ermentrout B., On the human sensorimotor-cortex beta rhythm: sources and modeling, *Neuroimage.*, **26**(2), 347 (2005).
13. Walther M., Berweck S., Schessl J., Linder-Lucht M., Fietzek U.M., Glocker F.X., Heinen F. and Mall V., Maturation of inhibitory and excitatory motor cortex pathways in children, *Brain and Development*, **31**(7), 562 (2009).
14. Gui D. Y., Yu T., Hu Z. Yan J. and Li X., Dissociable functional activities of cortical theta and beta oscillations in the lateral prefrontal cortex during intertemporal choice, *Sci. Rep.*, **9**, 1 (2019).

УДК 572.524.12: 616.72

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-2-104-116

ДЕРМАТОГЛИФЫ ПАЦИЕНТОВ, СТРАДАЮЩИХ РЕВМАТИЧЕСКИМИ БОЛЕЗНЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ

*Нечаева М. С.¹, Калаев В. Н.², Гостица Е. В.¹, Калаева Е. А.², Сотников А. А.¹,
Елфимова Ю. А.¹*

¹*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет
им. Н.Н. Бурденко» Минздрава РФ, Воронеж, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия
E-mail: m.s.nechayeva@vrngmu.ru*

Целью данной работы явилось выявление особенностей дерматоглифических рисунков пациентов, больных ревматоидным артритом и болезнью Бехтерева. У испытуемых, страдающих болезнью Бехтерева, найдено больше отличий пальцевых узоров от контрольной группы, чем у больных ревматоидным артритом. Так, тотальный гребневой счет и индекс интенсивности узоров на левой руке больных болезнью Бехтерева были ниже, чем в контрольной группе. У лиц с болезнью Бехтерева выявлено больше предикторов патологии, чем у больных ревматоидным артритом. Можно предположить, что наследственная составляющая вносит более весомый вклад в развитие болезни Бехтерева, а формирование ревматоидного артрита в большей степени обусловлено средовыми факторами. Результаты исследования указывают на необходимость учета дерматоглифов как дополнительного генетического маркера при формировании групп риска по заболеваниям.

Ключевые слова: болезнь Бехтерева (анкилозирующий спондилит), ревматоидный артрит, дерматоглифика, генетический маркер, предикторы.

ВВЕДЕНИЕ

Дерматоглифика – это раздел науки о взаимосвязи кожных узоров, расположенных на ладонях, подошвах и сгибательных поверхностях пальцев, с врожденными физиолого-биохимическими особенностями индивида. Показана связь дерматоглифических узоров с антропометрическими характеристиками тела человека, такими как размеры головы, лица, грудной клетки, живота, верхней и нижней конечности [1]. Выявлены коэффициенты канонической корреляции как между соматическими и дерматоглифическими признаками ($R=0,3$), так и между психологическими признаками и дерматоглифическими показателями ($R=0,3$) [2, 3].

Мутации и наследственные заболевания, обусловленные нарушениями генома, зачастую проявляются на уровне фенотипа и в особенностях дерматоглифов, что позволяет использовать дерматоглифические рисунки в качестве маркеров тех или иных заболеваний с наследственной составляющей [4]. Тем самым дерматоглифика зачастую является необходимым компонентом клинического осмотра в генетической клинике. Это достаточно информативный, простой, неинвазивный экспресс-метод. Изучение дерматоглифов у людей, страдающих заболеваниями

различной этиологии, позволяет выявлять генетическую компоненту в возникновении данных заболеваний [5].

Выявлены особенности пальцевой дерматоглифики у ангионеврологических больных (преобладание бездельтового узора на дистальных фалангах пальцев обеих рук), которые могут указывать на предрасположенности к сосудистым заболеваниям головного мозга [6]. Показаны корреляции дерматоглифических рисунков на ладонях с врожденными пороками развития сердечно-сосудистой системы [7]. Сроки эмбрионального развития неба, губ совпадают со временем формирования дерматоглифических узоров, что может объяснять связь дерматоглифических особенностей с аномалиями прикуса и формой дуги у пациентов без зубов. Дерматоглифика позволяет прогнозировать также развитие кариеса у детей [8]. Дерматоглифические узоры рассматривают в качестве маркера предрасположенности к глаукоме [9]. У больных бронхиальной астмой выявлены особенности узоров на пальцах рук и пальмарных поверхностях [4]. Найдены дерматоглифические маркеры псориаза, псориатического полиартрита, ревматического артрита, витилиго, алопеции, острой лимфобластной лейкемии [7]. Показаны ассоциации дерматоглифических показателей с невынашиванием беременности у женщин [10] и бесплодием у мужчин [11]. Рогачева Е. А. предложила относить пациентов в группу риска заболеваемости сахарным диабетом 1 типа, если при исследовании дерматоглифа индекс интенсивности исчерченности ладони составляет более 8–10, частота встречаемости продольных, поперечных или косых разрывов папиллярных гребней – более 11–13, в сочетании с увеличением встречаемости числа дуг и уменьшением количества петель. Таким пациентам необходимо настоятельно рекомендовать проверить состояние углеводного обмена [12].

Ревматические болезни – группа заболеваний, характеризующаяся системным поражением соединительной ткани, связанным главным образом с патологией иммунной системы. Морфологической основой всей группы ревматических заболеваний является системная прогрессирующая дезорганизация соединительной ткани [13].

В настоящее время особую роль в формировании данных заболеваний отводят генетической составляющей. В связи с чем целью нашего исследования явилось выявление особенностей дерматоглифических рисунков пациентов, больных ревматоидным артритом и болезнью Бехтерева.

Оба заболевания являются мультифакторными и трудно диагностируются на ранних стадиях, что указывает на необходимость выявления маркеров, позволяющих выявлять эти заболевания как можно раньше. Исследования последних лет показали, что доли генетической детерминации в развитии данных заболеваний несколько отличаются.

Болезнь Бехтерева (анкилозирующий спондилит) – хроническое воспалительное заболевание из группы спондилоартритов, характеризующееся поражением крестцово-подвздошных суставов и позвоночника с частым вовлечением в патологический процесс энтезисов и периферических суставов. Прогрессирование связано с пролиферацией костной ткани, что проявляется ростом синдесмофитов (и/или энтезофитов) и анкилозированием суставов позвоночника [14].

Болезнь Бехтерева является мультифакторным заболеванием, в котором 20 % отводится роли генетических факторов, а 80 % составляет вклад факторов внешней среды [13]. У родственников первой степени родства риск заболеть повышается в 10 раз [15]. Основным геном предрасположенности к развитию болезни Бехтерева, по мнению ученых, является ген HLA-B27 (антиген гистосовместимости HLA-B27), который локализуется на хромосоме 6p21.3 [16]. Частота выявления HLA-B27 составляет 90 % у страдающих болезнью Бехтерева, и 6–10 % – в общей популяции. Также отмечается вклад генов, ответственных за активацию патологической цитокиновой оси интерлейкинов (ИЛ) – ИЛ23 - ИЛ17, включая ИЛ23R, ИЛ12B, CARD9 и PTGER4, ген фактора некроза опухоли α – ФНО α [17].

Ревматоидный артрит – это системное заболевание соединительной ткани с преимущественным поражением мелких суставов по типу эрозивно-деструктивного полиартрита неясной этиологии со сложным аутоиммунным патогенезом [18].

Ревматоидный артрит является мультифакторным заболеванием, вклад генетических факторов составляет 40 %, факторов внешней среды – 60 %. По данным генеалогических исследований, среди родственников первой степени родства больных ревматоидным артритом распространенность тяжелых форм заболевания примерно в четыре раза выше, чем среди населения в целом [19]. Основным прогностическим маркером ревматоидного артрита является ген HLA-DRB1, картированный на коротком плече хромосомы 6 (6q21.3) [20]. Носительство мутации гена HLA-DR4 выявляется у 70 % больных ревматоидным артритом и лишь у 28 % здоровых лиц. Также отмечается вклад генов провоспалительных цитокинов – ИЛ-1 и фактора некроза опухоли α (ФНО α) [19].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе БУЗ ВО "Воронежская городская клиническая больница № 20" и Воронежского государственного медицинского университета им. Н. Н. Бурденко. Испытуемые были разбиты на 3 группы: 1) больные ревматоидным артритом, 2) страдающие болезнью Бехтерева, 3) выборка из общей популяции здоровых испытуемых (контроль). Для изучения дерматоглифических характеристик сбор отпечатков пальцев осуществлялся по методике Т. Д. Гладковой [21] с использованием специальной дактилоскопической краски. Всего было установлено и проанализировано 43 дерматоглифических показателя, включая количество различных пальцевых узоров, индекс интенсивности и гребневой счет. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета статистических программ «Stadia». Дерматоглифические показатели сравнивали с использованием непараметрического критерия Ван-дер-Вардена. Для обнаружения среди дерматоглифических показателей предикторов ревматоидного артрита и болезни Бехтерева использовали ROC-анализ (Receiver Operator Characteristic) по методу DeLong et al. [22]. Для получения численного значения клинической значимости теста использовали показатель AUC (Area Under Curve – площадь под кривой). Судить о качестве теста можно по экспертной шкале для значений AUC.: 0,9–1,0 – отлично; 0,8–0,9 – очень хорошо; 0,7–0,8 – хорошо, 0,6–0,7 – средне, 0,6 и меньше – неудовлетворительно.

Нулевую гипотезу при применении всех методов статистической обработки отвергали при $P < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнении дерматоглифических узоров на руках контрольной группы и больных ревматоидным артритом были выявлены различия в гребневом счете на втором пальце правой руки (контроль – $12,1 \pm 1,04$, ревматоидный артрит – $16,3 \pm 1,68$ ($P < 0,01$)) и на третьем пальце правой руки (контроль – $12,9 \pm 0,83$, ревматоидный артрит – $11,0 \pm 0,99$ ($P < 0,05$)) (рис. 1). Остальные дерматоглифические маркеры у представителей контрольной и опытной групп не различались.

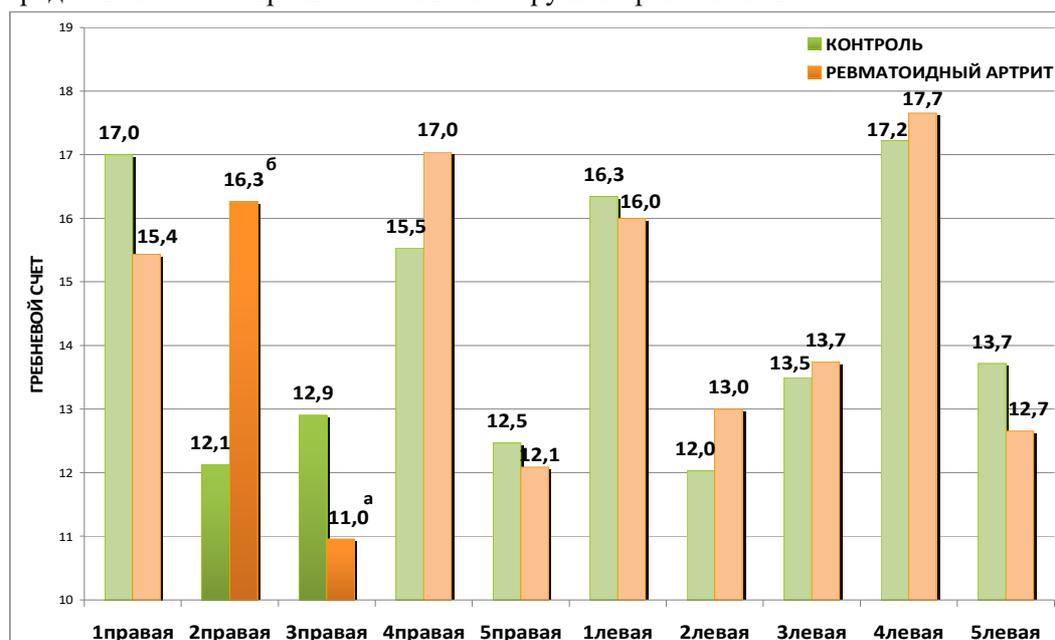


Рис. 1. Гребневой счет на правой и левой руках испытуемых, страдающих ревматоидным артритом, и контрольной группы. Обозначения: а – различия с контрольной группой достоверны ($P < 0,05$); б – различия с контрольной группой достоверны ($P < 0,01$).

Дерматоглифические показатели больных болезнью Бехтерева имели больше различий с контрольной группой. Так, на пятом пальце правой руки имелись различия в гребневом счете (контроль – $12,5 \pm 0,80$, болезнь Бехтерева – $16,0 \pm 1,8$ ($P < 0,05$)). На левой руке у лиц, страдающих болезнью Бехтерева, отмечался меньший гребневой счет, чем у контрольной группы (1 палец: контроль – $16,3 \pm 0,90$, болезнь Бехтерева – $10,2 \pm 2,96$ ($P < 0,05$); 2 палец: контроль – $12,0 \pm 0,96$, болезнь Бехтерева – $8,0 \pm 4,57$ ($P < 0,05$), 3 палец: контроль – $13,5 \pm 0,95$, болезнь Бехтерева – $10,2 \pm 4,08$ ($P < 0,05$), 5 палец: контроль – $13,7 \pm 0,70$, болезнь Бехтерева – $12,8 \pm 2,08$ ($P < 0,05$)). Тотальный гребневой счет на левой руке у страдающих болезнью

Бехтерева также был ниже ($55,2 \pm 15,08$), чем у контрольной группы ($72,6 \pm 3,53$) ($P < 0,05$). Индекс интенсивности узоров на левой руке больных болезнью Бехтерева ($5,2 \pm 1,32$) был ниже, чем в контрольной группе ($5,97 \pm 0,25$) ($P < 0,05$) (рис. 2).

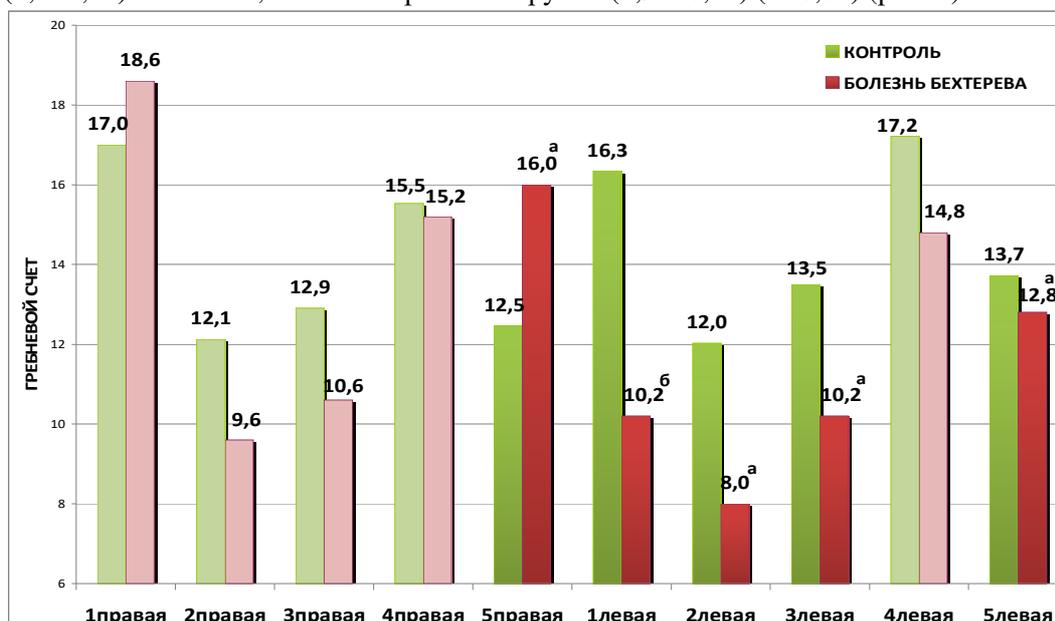


Рис. 2. Гребневой счет на правой и левой руках испытуемых, страдающих болезнью Бехтерева, и контрольной группы. Обозначения: а – различия с контрольной группой достоверны ($P < 0,05$); б – различия с контрольной группой достоверны ($P < 0,01$).

По результатам ROC-анализа среди дерматоглифических характеристик было выделено 3 предиктора ревматоидного артрита: количество двойных петель на правой руке, на левой руке и на обеих руках. Характеристики предикторов представлены в табл. 1 и на рис. 3–5. Все предикторы характеризуются средним уровнем качества, высокой чувствительностью и низкой специфичностью, что делает их удобными идентификаторами ревматоидного артрита и позволяет использовать как диагностический маркер при формировании групп риска по данному заболеванию.

Таблица 1
Дерматоглифические показатели – предикторы ревматоидного артрита

Показатель	Чувствительность предиктора, %	Специфичность предиктора, %	AUC	Критическое значение	P
Двойные петли на правой руке	100,00	28,12	0,641	≤ 0	0,0005
Двойные петли на левой руке	95,65	25,00	0,605	≤ 0	0,018
Двойные петли на обеих руках	95,65	37,50	0,670	≤ 0	0,0004

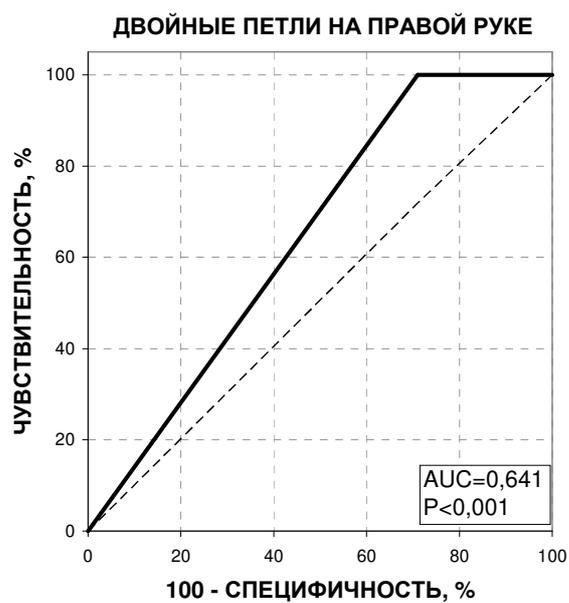


Рис. 3. ROC-кривая количества двойных петель на правой руке у больных ревматоидным артритом.

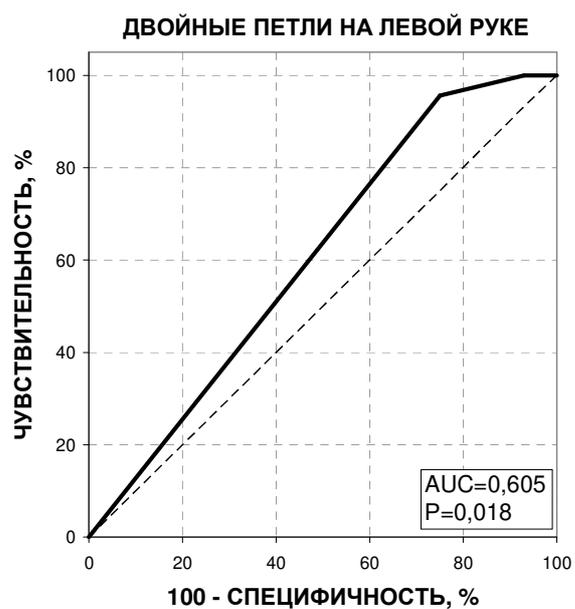


Рис. 4. ROC-кривая количества двойных петель на левой руке у больных ревматоидным артритом.

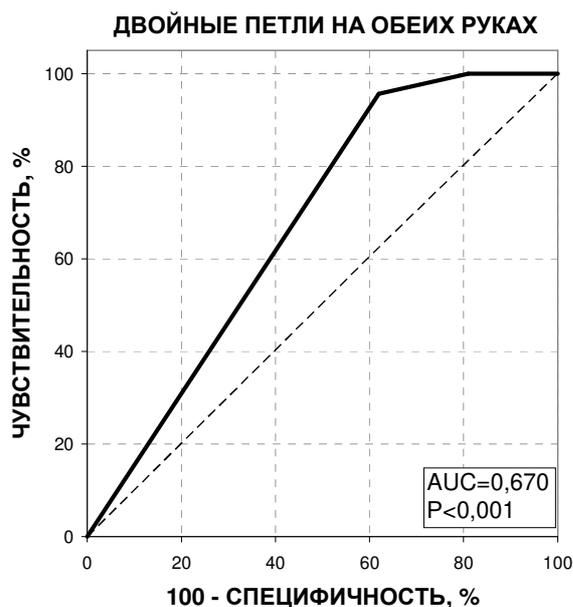


Рис. 5. ROC-кривая количества двойных петель на обеих руках у больных ревматоидным артритом.

Для болезни Бехтерева среди дерматоглифических характеристик было выявлено 4 предиктора: количество двойных петель на правой, левой и обеих руках и число радиальных петель на правой руке. Характеристики предикторов представлены в табл. 2 и на рис. 6–9. Так же, как и в случае с предикторами ревматоидного артрита, все показатели характеризуются средним качеством, высокой чувствительностью и низкой специфичностью. Отсутствие перечисленных выше пальцевых узоров дает основание отнести обследуемых к группе риска по ревматическим заболеваниям.

Таблица 2
Дерматоглифические показатели – предикторы болезни Бехтерева

Показатель	Чувствительность предиктора, %	Специфичность предиктора, %	AUC	Критическое значение	P
Двойные петли на правой руке	100,00	28,12	0,641	≤0	0,0005
Двойные петли на левой руке	100,00	25,00	0,625	≤0	0,013
Двойные петли на обеих руках	100,00	37,50	0,688	≤0	<0,0001
Радиальные петли на правой руке	100,00	15,63	0,578	≤0	0,018

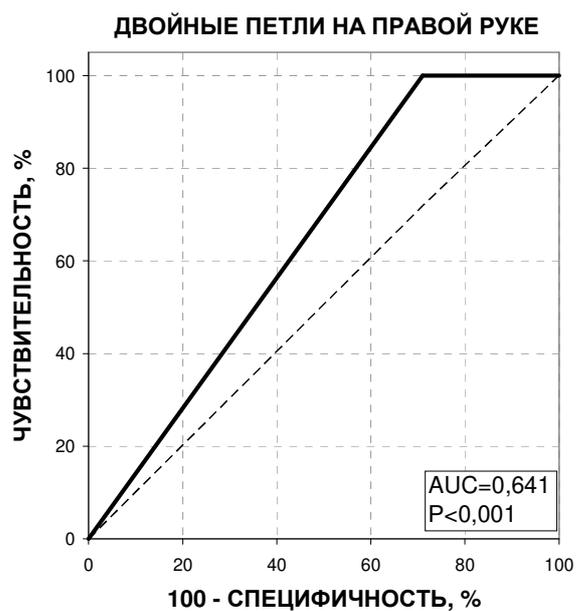


Рис. 6. ROC-кривая количества двойных петель на правой руке у лиц, страдающих болезнью Бехтерева.

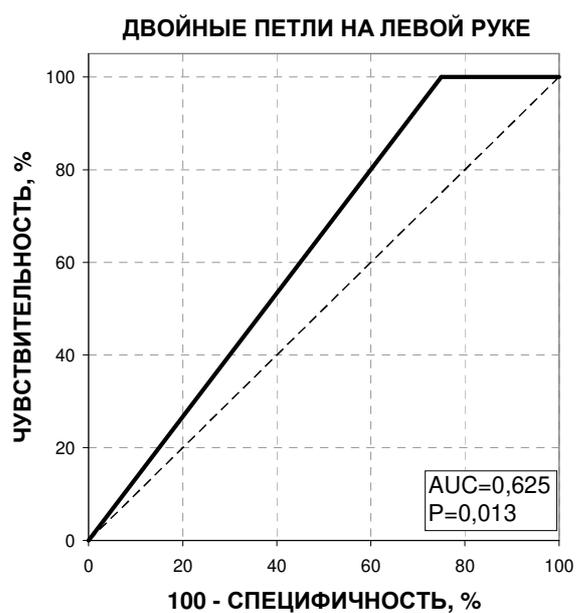


Рис. 7. ROC-кривая количества двойных петель на левой руке у лиц, страдающих болезнью Бехтерева.

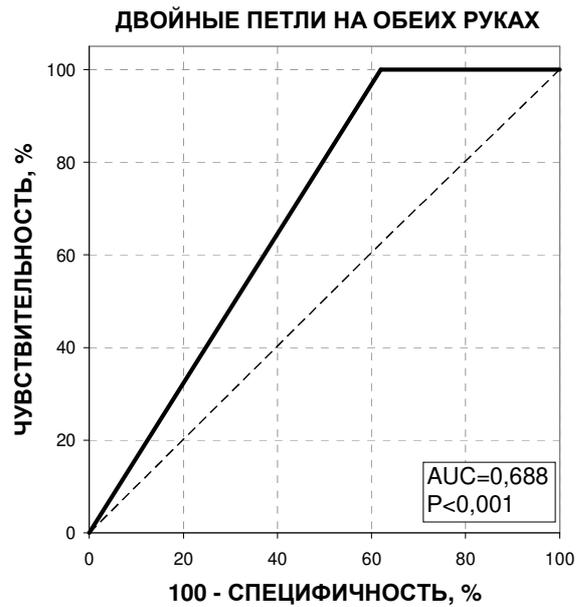


Рис. 8. ROC-кривая количества двойных петель на обеих руках у лиц, страдающих болезнью Бехтерева.

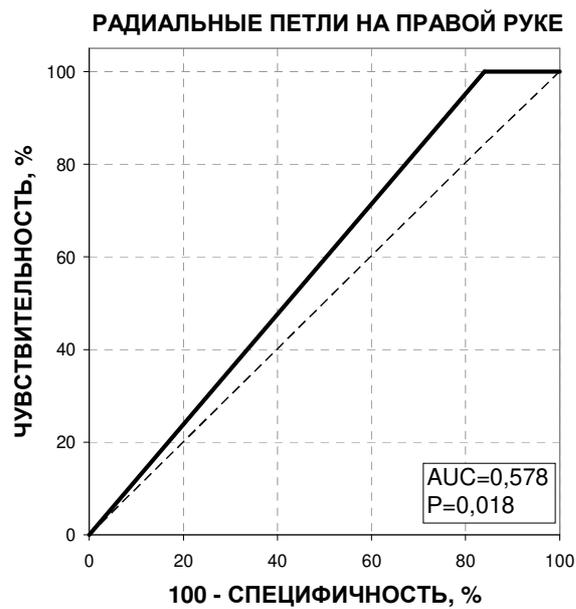


Рис. 9. ROC-кривая количества радиальных петель на правой руке у лиц, страдающих болезнью Бехтерева.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов показывает, что отсутствие радиальных петель на правой руке и двойных петель у обследуемых лиц может свидетельствовать о вероятности развития данных заболеваний.

Все предикторы ревматоидного артрита и болезни Бехтерева характеризовались высокой чувствительностью и низкой специфичностью, что делает их удобными маркерами для предварительных скрининговых исследований и формирования групп риска по развитию данных патологий. Однако для постановки окончательного диагноза указанные предикторы использовать не рекомендуется, так как их низкая специфичность приведет к появлению большого количества ложноположительных результатов среди обследуемых.

У лиц, страдающих болезнью Бехтерева, выявлено больше отличий пальцевых узоров от контрольной группы и больше предикторов патологии, чем у больных ревматоидным артритом. Можно предположить, что наследственная составляющая вносит более весомый вклад в развитие болезни Бехтерева, а формирование ревматоидного артрита в большей степени обусловлено средовыми факторами.

Наше исследование подтверждает целесообразность учета дерматоглифов как дополнительного генетического маркера в клинической медицине. Дерматоглифические показатели могут быть использованы при формировании групп риска воспалительных заболеваний суставов в целях первичной профилактики, для решения ряда вопросов медико-генетического консультирования, что указывает на перспективность данного направления исследований.

Список литературы

1. Горбунов Н. С. Прогностические возможности дерматоглифических признаков человека / Н. С. Горбунов, Н. Н. Клак, Ю. А. Шеховцова // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2012. – № 1. – С. 49.
2. Негашева М. А. Взаимосвязи соматических, дерматоглифических и психологических признаков в структуре общей конституции человека с позиций системного подхода / М. А. Негашева // Морфология. – 2008. – Т. 133, № 1. – С. 73–77.
3. Нечаева М. С. Особенности пальцевой дерматоглифики как предиктор уровня агрессивности / М. С. Нечаева, В. Н. Калаев, Е. А. Калаева [и др.] // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. – 2020. – № 80. – С. 49–55.
4. Романенко А. А. Современные представления об использовании дерматоглифики в медицине / А. А. Романенко, С. Н. Деревцова, Н. Н. Медведева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1077.
5. Калаев В. Н. Практикум по генетике человека / В. Н. Калаев и др. – под общ. ред. В.Н. Калаева; Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. – 206 с.
6. Околокулак Е. С. Проявление анатомической конституции в норме и при заболеваниях. / Е. С. Околокулак, К. М. Ковалевич, Ю. М. Киселевский [и др.] // Журнал Гродненского государственного медицинского университета: ежеквартальный научно-практический журнал – 2008. – № 4. – С. 15–19.
7. Клак Н. Н. Перспективы применения дерматоглифики в медицине / Н. Н. Клак, Н. С. Горбунов, В. И. Чикун // Сибирское медицинское обозрение. – 2012. – № 3 (75). – С. 10–14.
8. Hongfang M. Dermatoglyphic features in nonsyndromic cleft lip and/or palate patients and their parents in China / M. Hongfang, Q. Ye, Z. Wenchao [et al.] // Cleft Palate Craniofac. J. – 2014. – Vol. 51, №1. – P. 76–82.

9. Попова О. Е. Проблемы скрининга глаукомы: поиск маркёров индивидуальной предрасположенности / О. Е. Попова, Л. Я. Яблонская, В. С. Казанцев // Глаукома. – 2013. – № 3, ч. 2. – С. 140–148.
10. Qazi W. N. Dermatoglyphics as a genetic tool and bio – indicator to detect high risk factor in recurrent pregnancy loss / W. N. Qazi, G. Viswanathan // American International Journal of Research in Formal. – 2014. – Vol. 14, № 214. – P. 27–31.
11. Sontakke B. R. Dermatoglyphic pattern in male infertility / B. R. Sontakke, S. Talhar, I. V. Ingole [et al.] // Nepal Med. Coll. J. – 2013. – Vol. 15, №2. – P. 106–109.
12. Рогачева Е. А. Особенности дерматоглифики у больных сахарным диабетом 1 типа / Е. А. Рогачева // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 6. – С. 98.
13. Логвиненко С. И. Генная инженерия в лечении анкилозирующего спондилита (болезни Бехтерева) / С. И. Логвиненко, Э. А. Щербань, Л. С. Придачина [и др.] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. – 2016. – № 19 (240), Вып. 35.– С. 179–182.
14. Эрдес Ш. Ф. Развитие концепции спондилоартритов / Ш. Ф. Эрдес // Научно-практическая ревматология. – 2014. – Т.52, №5. – С. 474–476.
15. Цурко В. В. Клиническое наблюдение пациента с анкилозирующим спондилоартритом (болезнь Бехтерева) / В. В. Цурко, И. В. Егоров, Н. В. Малышева // Медицинский совет. – 2019. – № 9. – С. 103–108.
16. Никулина С. Ю. Генетические предикторы анкилозирующего спондилита / С. Ю. Никулина, А. А. Чернова, Е. В. Капустина [и др.] // Врач. – 2016. – №4. – С. 13–16.
17. Александрова Е. Н. Лабораторные биомаркеры анкилозирующего спондилита / Е. Н. Александрова, А. А. Новиков // Научно-практическая ревматология. – 2017. – Т. 55, №1. – С. 96–103.
18. Шыныкулова Ж. А. Ревматоидный артрит / Ж. А. Шыныкулова // Вестник КазНМУ. – 2013. – №3. – С. 62–64.
19. Никулина С. Ю. Гены предрасположенности к ревматоидному артриту / С. Ю. Никулина, А. А. Чернова, Т. Ю. Большакова [и др.] // Сибирское медицинское обозрение. – 2014. – №3 (87). – С. 11–18.
20. Гусева И. А. Иммуногенетические аспекты раннего ревматоидного артрита / И. А. Гусева, Н. В. Демидова, Н. Е. Сорока [и др.] // Вестник РАМН. – 2013. – № 4. – С. 36–43.
21. Гладкова Т. Д. Кожные узоры кисти и стопы обезьян и человека / Т. Д. Гладкова. – М. : Наука, 1966. – 152 с.
22. DeLong E. R. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach / E. R. DeLong, D. M. DeLong, D. L. Clarke-Pearson // Biometrics. – 1988. – № 44. – P. 837–845.

DERMATOGLYPHS OF PATIENTS SUFFERING FROM RHEUMATIC DISEASES OF VARIOUS ETIOLOGIES

Nechaeva M. S.¹, Kalaev V. N.², Gosteva E. V.¹, Kalaeva E. A.², Sotnikov A. A.¹, Elfimova Yu. A.¹

¹*Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko, Voronezh, Russia*

²*Voronezh State University, Voronezh, Russia*

E-mail: m.s.nechayeva@vrngmu.ru

Mutations and genetic diseases, caused by genome disorders, frequently manifest at the phenotypic level and, especially, at the dermatoglyphic level, that makes it possible to use dermatoglyphs as markers of any genetic diseases.

Rheumatic diseases is a group of disorders, characterized by systemic conjunctive tissue damage, essentially, connected with immune system pathology. Systemic progressive disorganization of conjunctive tissue is morphological base for the whole group of rheumatic diseases. Rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis are multifactorial and difficult-to-diagnose in the early stages diseases, that indicates the need to identify markers, that allows to detect these diseases as early as possible. A special role in the pathogenesis of these diseases is assigned to the genetic component, while recent studies have highlighted the shares of genetic determination in the disease's advance are somewhat differ.

The goal of this research was to identify the features of dermatoglyphic patterns of patients with rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis. Finger dermatoglyphic drawings of patients suffering from ankylosing spondylitis, rheumatoid arthritis, and representatives of the general population sample were studied. Statistical data processing was performed using non-parametric Van der Waerden test. To establish predictors of these diseases, ROC analysis was used.

In persons suffering from ankylosing spondylitis there were found more differences in finger patterns from the control group, than in patients with rheumatoid arthritis. So, the total ridge count and the intensity index of the patterns on the left arm of patients with ankylosing spondylitis were lower than in the control group. Peoples with ankylosing spondylitis had more predictors of pathology than patients with rheumatoid arthritis. The analysis of the results shows that the absence of radial loops on the right arm and double loops in the examined persons may indicate the probability of developing these diseases.

All predictors of rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis were characterized by high sensitivity and low specificity, which makes them convenient markers for preliminary screening studies and the formation of risk groups for the development of these pathologies. However, it is not recommended to use these predictors for establishing a final diagnosis, since their low specificity will cause to a large number of false-positive results among the examined persons.

Individuals with ankylosing spondylitis have more differences in fingerprints from the control group and more predictors of pathology than patients with rheumatoid arthritis. It can be assumed that the genetic component plays a more significant role in the pathogenesis of ankylosing spondylitis, and the formation of rheumatoid arthritis is more caused by environmental factors.

Our study confirms the feasibility of considering dermatoglyphs as an additional genetic marker in clinical medicine. Dermatoglyphic indicators can be used in the formation of risk groups for inflammatory joint diseases for primary prevention, for solving a number of issues of medical and genetic consulting, which indicates the prospects of this research area.

Keywords: Ankylosing spondylitis, rheumatoid arthritis, dermatoglyphics, genetic marker, predictors.

References

1. Gorbunov N. S. Klak N. N., Shehovcova Ju. A., Russkih A. N., Zalevskij A. A., Koh I. A. and Arhipkin S. V. Prognostic value of dermatoglyphic sign in a man, *Vestnik novyh medicinskih tehnologij. Jelektronnoe izdanie*, **1**, 49 (2012).
2. Negasheva M. A. The correlations of somatic, dermatoglyphic and psychological characteristics in the structure of general human constitution from the standpoint of a systemic approach, *Morfologija*, **133(1)**, 73 (2008).
3. Nechaeva M. S., Kalaev V. N., Kalaeva E. A., Mikhailenko M. E. and Moklyakova K. A. Features of finger dermatoglyphics of test subjects with different levels of aggressiveness, *Nauchno-meditsinskiy vestnik Tsentral'noy Chernozem'ya*, **80**, 49 (2020).
4. Romanenko A. A., Derevcova S. N., Medvedeva N. N. and Nikolaev V. G. Modern concepts of use in medicine dermatoglyphics, *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, **6**, 1077 (2014).
5. *Practicum on human genetics*, Ed. V. N. Kalaeva 206 p. (Izdatel'skij dom VGU, 2019).
6. Okolokulak E. S., Kovalevich K. M., Kiselevskij Ju. M., Volchkevich D. A., Goncharova T. P., Sidorovich S. A., Shavel' Zh. A., Vil'chinskaja L. P., Smolko Ja. E., Shherbakova M. N. and Bobrik A. V. Manifestations of anatomic constitution in norm and in diseases, *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta: ezhekvartal'nyj nauchno-prakticheskij zhurnal*, **4**, 15 (2008).
7. Klak N. N., Gorbunov N. S. and Chikun V. I. Dermatoglyphic status of men at the first period of mature age, *Sibirskoe medicinskoe obozrenie*, **3(75)**, 10 (2012).
8. Hongfang Ma, Ye Qiu, Wenchao Zhu, Haotian Chao and Bing Shi Dermatoglyphic features in nonsyndromic cleft lip and/or palate patients and their parents in China, *Cleft Palate Craniofac. J.*, **51(1)**, 76 (2014).
9. Popova O. E., Jablonskaja L. Ja., Kazancev V. S. Problems of glaucoma screening: the search for markers of individual predisposition, *Glaukoma*, **3(2)**, 140 (2013).
10. Qazi W. N. and Viswanathan G. Dermatoglyphics as a genetic tool and bio – indicator to detect high risk factor in recurrent pregnancy loss, *American International Journal of Research in Formal*, **14(214)**, 27 (2014).
11. Sontakke B. R. Talhar S., Ingole I. V., Shende M. R., Pal A. K. and Bhattacharaya T. Dermatoglyphic pattern in male infertility, *Nepal Med. Coll. J.*, **15(2)**, 106 (2013).
12. Rogacheva E. A. Features of dermatoglyphics in patients with type 1 diabetes, *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*, **6**, 98 (2009).
13. Logvinenko S. I. Shherban' Je. A., Pridachina L. S., Pridachina A. N., Maslova Ju. Ju. and Kashichkina A. A. Genetic engineering in the treatment of ankylosing spondylitis (Bekhterev's disease), *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Medicina. Farmacija*, **19(240)**, 179 (2016).
14. Jerdes Sh. F. Spondyloarthritis: Evolution of a concept, *Nauchno-prakticheskaja revmatologija*, **52(5)**, 474 (2014).
15. Curko V. V., Egorov I. V. and Malysheva N. V. Clinical observation of a patient with ankylosing spondylarthritis (Bechterew's disease), *Medicinskij sovet*, **9**, 103 (2019).
16. Nikulina S., Chernova A., Kapustina E., Matveeva I., Potupchik T., Mordovskij V. and Kenc A. Genetic predictors for ankylosing spondylitis, *Vrach*, **4**, 13 (2016).
17. Aleksandrova E. N. and Novikov A. A. Laboratory biomarkers for ankylosing spondylitis, *Nauchno-prakticheskaja revmatologija*, **55(1)**, 96 (2017).
18. Shynykulova Zh. A. Rheumatoid arthritis, *Vestnik KazNMU*, **3(2)**, 62 (2013).
19. Nikulina S. Ju., Chernova A. A., Bol'shakova T. Ju., Fok Ju. V., Orlova N. M. Genes of predisposition to rheumatoid arthritis, *Sibirskoe medicinskoe obozrenie*, **3(87)**, 11 (2014).
20. Guseva I. A., Demidova N. V., Soroka N. E., Novikov A. A., Luchihina E. L., Aleksandrova E. N., Lukina G. V., Fedorenko E. V., Aronova E. S., Samarkina E. Ju., Boldyreva M. N., Trofimov D. Ju., Karateev D. E. and Nasonov E. L. Immunogenetic Aspects of Early Rheumatoid Arthritis, *Vestnik RAMN*, **4**, 36 (2013).
21. Gladkova T. D. *Patterns on the skin of the hands and feet of monkeys and humans*, 152 p. (Nauka, 1966).
22. DeLong E. R., DeLong D. M. and Clarke-Pearson D. L. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach, *Biometrics*, **44**, 837 (1988).

УДК 556.551 (470.55)

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-2-117-133

СТРУКТУРА ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ ОЗЕРНОГО ТИПА

Нохрин Д. Ю.¹, Дерхо М. А.², Мухамедьярова Л. Г.², Живетина А. В.²

¹ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск, Россия

²ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Троицк, Россия

E-mail: derkho2010@yandex.ru

Гидрохимический состав воды в водохранилище озерного типа зависит от года исследований, сезона года и створа. В паводковый и ливневый период большая часть компонентов воды изменяется, не превышая нормативов для вод рыбохозяйственного назначения, за исключением железа (в 2,0–7,3 раза), меди (в 14,0–45,0 раз), марганца (в 2,0–4,0 раза), цинка (в 2,0–5,0 раз), никеля (в 1,1–2,0 раза) и свинца (в 1,2–1,7 раза). Полная изменчивость гидрохимического состава воды, оцениваемая методом неограниченной техники анализа главных компонент (РСА), на 71,4 % зависит от сезона года. При использовании метода ограниченной техники анализа избыточности (RDA) в модели с одним регрессором статистически значимой является модель «Сезон». В модели с учётом года исследований, сезона и створа сезон года на 74,3 % объясняет вариабельность признаков, год исследований – на 11,1 % и расположение створа – на 1,9 %. Ранжирование показателей воды по доле необъяснённой изменчивости их концентраций при помощи методов в качестве приоритетных параметров выделить марганец, гидрокарбонаты, свинец и алюминий и рН, уровень которых не зависит от учитываемых признаков.

Ключевые слова: водохранилище озерного типа, вода, гидрохимические показатели, структура изменчивости.

ВВЕДЕНИЕ

Качество и экологическая безопасность воды является одним из важнейших факторов, определяющих состояние окружающей среды, её пригодность для использования в промышленности, сельском хозяйстве, бытовых и рекреационных целях, а также влияющих на здоровье человека [1, 2]. Конечно, Россия богата водными ресурсами. Однако в условиях их активного использования в различных отраслях промышленности экологическое состояние, особенно, поверхностных источников пресной воды, чаще всего, не удовлетворительное. Поэтому сохранение и поддержание качества водных ресурсов является не только одной из важных, но и сложных экологических проблем, так как в последние годы наблюдается планомерный рост антропогенной нагрузки на объекты окружающей среды. Так, основными загрязнителями пресных водоемов являются промышленные и бытовые сточные воды, ливневые и паводковые стоки с сельскохозяйственных угодий и т.д. При этом качество воды существенно зависит от количества и вида сбрасываемых загрязнителей, способности воды самоочищаться и деградировать [3].

Исходя из того, что водные ресурсы расположены на территории России несбалансировано, было создано большое количество искусственных водоемов (водохранилищ), расположенных по руслу, в основном, малых и средних рек. В них сосредоточен существенный запас пресной воды, позволяющий обеспечивать технологические процессы различных промышленных предприятий, в том числе гидроэнергетики и рыбохозяйств, питьевые нужды городов и городских поселений, полив сельскохозяйственных угодий, проведение противопаводковых мероприятий и т.д. Водохранилища испытывают, как и другие водные источники, природные и антропогенные воздействия, что определяет временные и пространственные изменения показателей качества воды, а также их комбинации [4, 2]. К природным факторам относят геологическую структуру земной коры, сезонные различия в объеме притока и стока, климатические особенности, осадки, цикл роста биоты и т.д. [5]. Среди антропогенных источников важную роль играют промышленные предприятия, специфика которых определяет состав, вид и количество загрязнителей, расположение источников загрязнения, а также сточные воды муниципальных очистных сооружений. Оценка комплекса вышеперечисленных факторов и явлений, понимание их приоритетности в формировании качества воды важно не только для понимания процессов, происходящих в водной экосистеме, но и разработке мероприятий по улучшению её экологического состояния, проведения мониторинговых исследований.

Для оценки экологического состояния поверхностных вод используют методы качественного и количественного анализа, предусматривающие выявление источников загрязнения путем нахождения взаимосвязей в мониторинговых данных статистическими методами или путем анализа физико-химических характеристик проб воды [5, 6]. Так, важную роль при оценке качества воды играют гидрохимические показатели, позволяющие составить представление о точечных и неточечных источниках загрязнения водоема, отслеживать изменения в загрязнении воды, определить факторы, наиболее значимо влияющие на пространственно-временные изменения ряда показателей качества воды, оценить градиент загрязнения по акватории водоема, определить совокупный эффект загрязнения.

В данном исследовании представлены результаты качественного и количественного анализа гидрохимических данных с целью выявления факторов, определяющих пространственные и временные изменения физико-химических параметров воды на примере водохранилища озерного типа – Южноуральского водохранилища Челябинской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Южноуральское водохранилище является резервуаром озерного типа, расположенного в лесостепной зоне Челябинской области, имеет площадь зеркала 18,2 км², среднюю и максимальную глубину воды 3,9 и 12,2 м соответственно. Полезный объем резервуара – 61,7 млн. м³. Водохранилище является важным источником воды для системы оборотного водоснабжения Южноуральской ГРЭС и хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения близ лежащих территорий с 1952 года. Кроме этого водохранилище используется для

рыбохозяйственных и рекреационных целей. Водосбор водохранилища достигает площади 4750 км² с двумя основными притоками: р. Увелька и р. Кабанка. Водораздел водохранилища имеет умеренно континентальный климат со средним количеством осадков 350–450 мм в год, из которых 75–78 % приходится на период с мая по октябрь [7].

Для оценки качества воды в водохранилище брали её пробы со среднего уровня весной (апрель), летом (июль) и осенью (сентябрь) в 2019 и 2020 годах в первую неделю месяца в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592-2000 [8]. Весенние пробы воды имели код В, летние – Л и осенние – О. Для их отбора было выбрано три створа. Первый створ (1) – мелководное верховье (глубина от 2 до 4 м; второй створ (2) – центральная часть (глубина от 5 до 7 м) и третий створ (3) – приплотинная часть (глубина до 12,2 м).

Показатели качества воды определены в ООО «Троицкий водоканал водоснабжение» (г. Троицк, Челябинская область) с использованием стандартных аналитических методов (ГОСТ, ПНД Ф). Анализ проб воды предусматривал определение следующих параметров: рН (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121–97), гидрокарбонаты (ГОСТ 31957 – 2012), хлориды (ПНД Ф 14.1:2:3.96–97), сульфаты (ПНД Ф 14.1:2.159–2000), калий, натрий, кальций, магний (ГОСТ 31869–2012); алюминий (ГОСТ 18165–2014); железо, хром (VI), марганец, никель, медь, цинк, кадмий, свинец (ПНД Ф 14.1:2:4.139–98), фторидов (ПНД Ф 14.1:2:3:4.179–2002) [9–16].

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием двух многомерных методов: неограниченной техники анализа главных компонент (Principal component analysis – PCA) и ограниченной техники анализа избыточности (Redundancy analysis – RDA). В PCA определение числа необходимых и достаточных факторов проводили с использованием критериев Кэттелла и «сломанной трости» [17]. Статистическую значимость главных компонент (ГК) оценивали рандомизационной процедурой Монте-Карло ($n=999$), а значимость вклада показателей в ГК – по корреляции Пирсона между показателем и его нагрузкой на ГК. В RDA в качестве предикторов задавались последовательно годы (2019, 2020), сезоны (весна, лето, осень) и створ водоёма (1 – верховье, 2 – центральная часть, 3 – приплотинная часть), а также все эти факторы одновременно. Из них формировали матрицу фиктивных переменных (контрастов), указывающих на наличие (1) или отсутствие (0) данного номинального предиктора в строке. Статистическую значимость всей многомерной регрессии и отдельных осей оценивали в рандомизационном варианте дисперсионного анализа ($n=999$), а значимость вклада показателей в ось – по корреляции Пирсона между показателями и столбцами v -матрицы промежуточных результатов RDA. Расчёты выполнены в пакете *vegan* (version 2.5-7 [18]) для программно-статистической среды R (version 4.0.3 [19]), а графические построения – в пакетах *PAST* (version 4.05 [20]) и *TrX* (version 1.5 [21]). Статистически значимыми считали эффекты при $P \leq 0,05$, полезными для обсуждения – при $P \leq 0,10$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку вода из Южноуральского водохранилища используется для рыбохозяйственных целей, то она должна соответствовать требованиям по качеству воды для водных объектов рыбохозяйственного значения [22]. Они из всех нормативных документов для воды в России являются одними из самых «жестких». Данные по химическому составу воды в Южноуральского водохранилище приведены в таблице 1. Их анализ показывает, что такие показатели, как значение рН, гидрокарбонаты, хлориды, сульфаты, калий, натрий, кальций, магний, фториды, алюминий, хром VI и кадмий во всех исследованных пробах воды в 2019 и 2020 гг. соответствуют требованиям [22], хотя и резко изменялись в период весеннего половодья. Однако концентрация железа и меди, не зависимо от года исследований, сезона года и створа, всегда превышала ПДК_{вр} в 2,0–7,3 и 14,0–45,0 раз соответственно, что свидетельствует о наличии постоянных источников загрязнения воды данными металлами. Уровень марганца и цинка был избыточен в пробах воды, по сравнению с ПДК_{вр} [22] в весенне-летний период, а никеля и свинца в весенний, что сопряжено с их попаданием в резервуар в составе паводковых и ливневых стоков.

Паводковый прирост уровня химических компонентов в воде специфичен для всех поверхностных водных источников [5].

Однако на качество воды в водохранилище даже во время паводков влияет множество факторов [5]. Поэтому для выявления закономерностей варьирования гидрохимических показателей использовали две многомерные техники. РСА – наиболее популярная ординационная (проекционная) техника, призванная объяснить дисперсию набора наблюдаемых переменных с помощью небольшого числа их линейных комбинаций – главных компонент [23]. При этом анализируется одна матрица ковариаций или корреляций, в которой все показатели рассматриваются равноценными и на их совместное варьирование не накладывается никаких ограничений. Поэтому РСА называют неограниченной (unconstrained) техникой, а поскольку обнаруженные ГК часто используются экологами для обнаружения градиентов средовых показателей, данную технику относят также к методам непрямого градиентного анализа [23]. Нами техника РСА использовалась для анализа структуры полной изменчивости показателей. RDA – менее известная техника, которая объединяет идеи РСА и регрессионного анализа. В ней рассматриваются две неравноценные матрицы данных: матрица независимых показателей – регрессоров и матрица зависимых от них показателей – откликов. В ходе анализа объясняется не вся присущая интересующему набору показателей изменчивость, а только её часть, ограниченная набором регрессоров. Поэтому RDA называют ограниченной (constrained) техникой, а поскольку градиенты средовых показателей можно задавать в виде регрессоров напрямую, экологи относят данную технику к методам прямого градиентного анализа [24]. Нами техника RDA использовалась для вычленения изменчивости гидрохимических показателей, определяемой годом, сезоном и положением створа в водохранилище.

СТРУКТУРА ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ...

Таблица 1

Ионный и элементный состав воды (мг/дм³) водохранилища в 2019-2020 гг.

Показатели	Сезон								
	Весна			Лето			Осень		
Створ	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Код	В1	В2	В3	Л1	Л2	Л3	О1	О2	О3
2019 г.									
<i>pH</i>	7,14	7,45	7,49	8,00	8,20	8,50	8,97	8,72	8,57
гидрокарбонаты	145,60	148,60	170,80	274,60	258,70	255,10	234,00	240,10	250,00
хлориды	86,50	76,30	74,50	20,60	32,60	34,00	27,90	34,30	35,80
<i>сульфаты</i>	81,70	76,30	72,10	48,30	42,10	42,00	56,70	50,30	49,70
калий	5,20	6,30	6,70	16,30	17,20	18,90	8,10	8,90	9,20
<i>натрий</i>	29,60	30,10	33,00	69,40	75,20	80,30	39,80	42,30	44,20
кальций	36,90	39,80	40,70	69,00	88,00	90,00	51,90	46,30	56,00
магний	18,30	19,20	21,40	27,20	27,70	31,50	22,50	24,60	27,10
фториды	0,66	0,57	0,54	0,49	0,46	0,42	0,34	0,30	0,30
алюминий	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-
хром VI	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	-	-	-
марганец	0,10	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
железо	0,54	0,54	0,47	0,30	0,27	0,23	0,24	0,20	0,20
никель	0,01	0,01	0,02	0,006	0,006	0,01	-	-	-
медь	0,032	0,038	0,045	0,017	0,02	0,027	0,015	0,017	0,02
цинк	0,04	0,04	0,05	0,02	0,02	0,03	0,004	0,004	0,01
кадмий	0,004	0,004	0,005	0,001	0,001	0,001	-	0,001	0,001
свинец	0,009	0,008	0,008	0,005	0,005	0,006	0,006	0,004	0,004
2020 г.									
<i>pH</i>	7,17	7,93	7,96	8,09	8,20	8,30	8,88	8,70	8,45
гидрокарбонаты	210,30	240,10	243,90	278,20	264,80	261,20	252,30	264,00	270,00
хлориды	64,50	50,30	49,80	27,80	23,20	15,60	32,40	30,20	26,40
<i>сульфаты</i>	82,80	80,00	80,00	44,60	42,30	40,60	61,20	60,00	58,00
калий	4,20	6,60	7,90	18,60	18,90	20,30	11,90	12,30	13,40
<i>натрий</i>	34,90	39,80	40,20	76,90	80,00	88,10	47,00	52,30	53,00
кальций	35,90	36,10	37,90	72,30	84,00	97,60	46,30	54,20	61,00
магний	15,80	17,60	20,80	30,00	32,10	34,30	22,00	22,20	24,8
фториды	0,69	0,56	0,54	0,49	0,45	0,45	0,39	0,38	0,37
алюминий	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-
хром VI	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,005	0,004	0,003
марганец	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,023	0,01	0,01	0,01
железо	0,73	0,62	0,60	0,38	0,32	0,28	0,23	0,21	0,20
никель	0,011	0,011	0,013	0,005	0,007	0,008	-	-	-
медь	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,014	0,014	0,02
цинк	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,004	0,006	0,007
кадмий	0,004	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
свинец	0,01	0,007	0,008	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007	0,005

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК_{вр} [22]

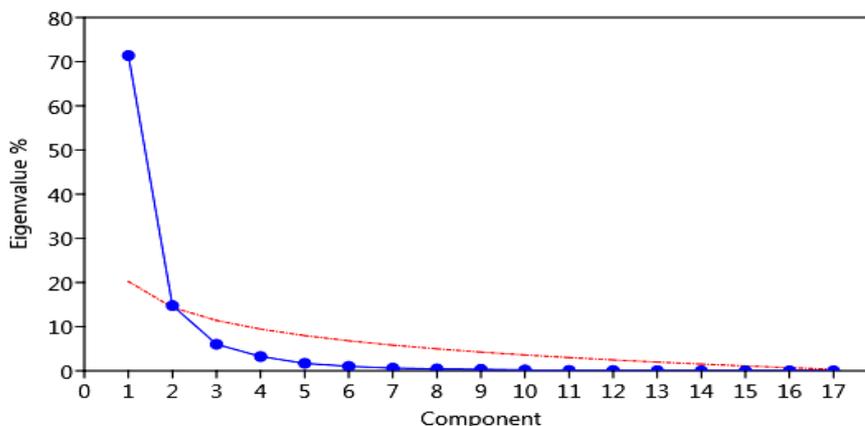


Рис. 1. Выделение наиболее информативных компонент по критериям «каменистой осыпи» Кэттелла (сплошная линия) и «сломанной трости» (пунктирная линия).

Полная изменчивость гидрохимического состава воды в водохранилище.

Согласно графическому критерию «каменистой осыпи» Кэттелла «на горе» находились только 2 ГК, тогда как остальные попали в «осыпь» остаточной изменчивости (рис. 1).

Критерий «сломанной трости» на случайное разбиение, также отсёк в качестве нетривиальной изменчивости 2 первые ГК. Таким образом, необходимым и достаточным было выделение двух первых главных компонент, объясняющих в сумме 86,2 % общей дисперсии показателей. Информация по этим ГК представлена на рис. 2 и в табл. 1.

Из них видно, что статистически значимой была только первая ГК, которая объясняла 71,4 % общей изменчивости химического состава. Сильные и высоко статистически значимые нагрузки на неё дали все без исключения показатели. Как видно из биплота рис. 2, по данной компоненте разделялись весенние пробы (справа) от летних и осенних (слева). В направлении весенних проб вытянуты векторы показателей, концентрации которых в этот сезон были выше, это: хлориды, сульфаты, а также все микроэлементы. Для весенних и летних проб, напротив, более велики концентрации гидрокарбонат-ионов и катионов калия, натрия, магния, кальция, а также величина водородного показателя.

Вдоль ГК проявились небольшие различия между летними и осенними пробами, но в нашем наборе данных они не были статистически значимыми ($P=0,626$).

Таким образом, из полной изменчивости химического состава воды водохранилища РСА позволил надёжно выделить лишь фактор сезонной специфики. Поэтому для оценки влияния года и расположения створа, а также для

уточнения оценки вклада сезона, данные были проанализированы техникой анализа избыточности.

Таблица 2

**Результаты анализа главных компонент химического состава воды
Южноуральского водохранилища**

Параметры воды	Главный компонент 1 (ГК 1 – сезон года)		Главный компонент 2 (ГК 2 – год исследований)		Кумулятивная доля объяснённой дисперсии
	Нагрузка	<i>P</i>	Нагрузка	<i>P</i>	
рН	-0,863	<0,001	-0,390	0,109	0,898
гидрокарбонаты	-0,827	<0,001	0,122	0,629	0,699
хлориды	0,936	<0,001	-0,097	0,701	0,885
сульфаты	0,909	<0,001	-0,336	0,173	0,939
фториды	0,855	<0,001	0,408	0,092	0,897
кальций	-0,715	0,001	0,665	0,003	0,953
магний	-0,776	<0,001	0,568	0,014	0,925
натрий	-0,701	0,001	0,699	0,001	0,980
калий	-0,757	<0,001	0,628	0,005	0,967
алюминий	0,838	<0,001	0,151	0,549	0,725
железо	0,909	<0,001	0,169	0,501	0,854
хром VI	0,889	<0,001	0,213	0,396	0,835
цинк	0,878	<0,001	0,237	0,343	0,827
кадмий	0,970	<0,001	0,116	0,646	0,954
свинец	0,849	<0,001	0,074	0,772	0,727
медь	0,878	<0,001	0,206	0,411	0,813
марганец	0,774	<0,001	0,347	0,158	0,719
никель	0,833	<0,001	0,467	0,051	0,912
Объясняемая дисперсия, %	71,4		14,8		–
<i>P</i>	<0,001		0,626		–

Примечание: здесь и далее жирным шрифтом выделены статистически значимые и близкие к ним эффекты ($P \leq 0,10$).

Год. Поскольку в анализе были данные только по двум годам, в ходе RDA была выделена только одна разделяющая их ось, которая объясняла 11,1 % общей дисперсии показателей ионного и микроэлементного состава. Она не была статистически значимой: $F_{(1/16)}=2,01$; $P=0,154$. Далее будет показано, что различия по годам всё-таки имеются, однако лишь во взаимодействии с сезонным фактором. Возможно, на более длительных временных отрезках годовая специфика проявляется ярче, однако в нашем случае её вклад оказался низким.

Сезон. Модель с включением в качестве регрессоров сезонов оказалась высоко статистически значимой ($F_{(2/15)}=21,73$; $P<0,001$) и объясняла 74,3 % дисперсии. При этом первая ось, разделяющая преимущественно весенние пробы от летних была высоко статистически значимой ($F_{(1/15)}=40,47$; $P<0,001$), а вторая, разделяющая

летние пробы от весенних, может интерпретироваться как тенденция ($F_{(1/15)}=2,99$; $P=0,059$). Сезонные особенности будут рассмотрены ниже, поскольку выделенные здесь оси были идентичны осям, полученным в полном варианте RDA с учётом всех трёх факторов.

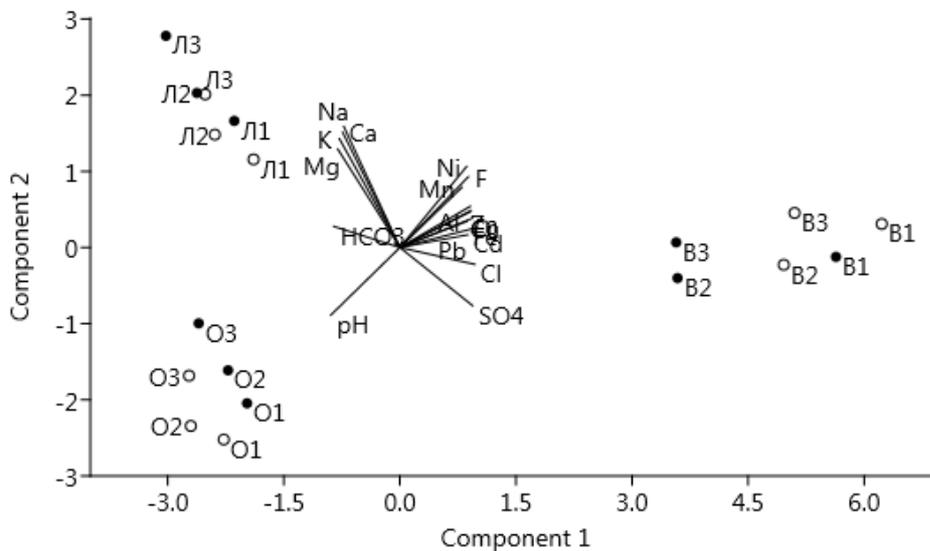


Рис. 2. Показатели химического состава воды водохранилища и коды проб в пространстве двух первых компонент: component 1 – сезон года, component 2 – год следований

Створ. Модель с включением в качестве регрессоров 3-х створов была статистически незначимой ($F_{(2/15)}=0,14$; $P=0,947$) и объясняла лишь 1,9 % общей дисперсии. Таким образом, на фоне годовых и особенно сезонных изменений, различия между химическим составом проб верховья, центральной и приплотинной частей водохранилища оказались крайне низки.

Год, Сезон, Створ. Поскольку между факторами возможны взаимодействия, для более точной оценки их вклада необходим их совместный анализ. Результаты такого RDA представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Модель с учётом всех трёх факторов была высоко статистически значимой: $F_{(5/12)}=16,57$; $P<0,001$. Она показала, что эти факторы определяют в сумме 87,3 % изменчивости химического состава воды водохранилища. В рамках этой модели значимыми оказались и вклад регрессора «Год» ($F_{(1/12)}=10,57$; $P=0,006$), и вклад сезонных регрессоров ($F_{(1/12)}=57,89$; $P<0,001$ и $F_{(1/12)}=12,62$; $P=0,007$), но не регрессоров створа ($F_{(1/12)}=1,30$; $P=0,255$ и $F_{(1/12)}=0,46$; $P=0,602$).

Таблица 3
 Результаты анализа избыточности химического состава воды водохранилища

Показатель	Ось 1		Ось 2		Кумулятивная доля объяснённой дисперсии		
	Наг-рузка	<i>P</i>	Наг-рузка	<i>P</i>	Ось 1	Ось 1-2	Ось 1-7
Регрессоры							
Год	0,315	0,203	-0,581	0,011	–	–	–
Сезон							
- весна	-0,881	<0,001	0,110	0,663	–	–	–
- лето	0,722	<0,001	0,627	0,005	–	–	–
- осень	0,159	0,529	-0,737	<0,001	–	–	–
Створ							
- 1	-0,120	0,635	-0,164	0,516	–	–	–
- 2	-0,003	0,991	0,031	0,904	–	–	–
- 3	0,123	0,626	0,133	0,598	–	–	–
Отклики							
pH	0,639	0,004	-0,402	0,098	0,408	0,569	0,841
HCO ₃ ⁻	0,871	<0,001	-0,207	0,411	0,759	0,802	0,804
Cl ⁻	-0,921	<0,001	0,160	0,527	0,848	0,874	0,893
SO ₄ ²⁻	-0,897	<0,001	-0,260	0,297	0,805	0,872	0,979
F ⁻	-0,583	0,011	0,303	0,221	0,340	0,432	0,946
Ca ²⁺	0,866	<0,001	0,446	0,064	0,750	0,949	0,951
Mg ²⁺	0,878	<0,001	0,377	0,123	0,771	0,913	0,942
Na ⁺	0,907	<0,001	0,371	0,130	0,823	0,961	0,993
K ⁺	0,932	<0,001	0,310	0,210	0,868	0,964	0,974
Al	-0,626	0,005	0,017	0,948	0,391	0,392	0,878
Fe	-0,711	<0,001	0,119	0,638	0,506	0,520	0,962
Cr	-0,746	<0,001	0,348	0,157	0,557	0,678	0,910
Zn	-0,764	<0,001	0,438	0,069	0,583	0,775	0,917
Cd	-0,833	<0,001	0,207	0,409	0,694	0,737	0,927
Pb	-0,656	0,003	-0,066	0,794	0,430	0,434	0,797
Cu	-0,752	<0,001	0,361	0,142	0,566	0,696	0,973
Mn	-0,582	0,011	0,329	0,183	0,339	0,447	0,743
Ni	-0,605	0,008	0,507	0,032	0,366	0,623	0,969
Объясняемая дисперсия, %	79,1%		7,4%		–	–	–
<i>P</i>	<0,001		0,089		–	–	–

Вдоль первой оси проявились сезонные различия между весенними и летними пробами ($F_{(1/12)}=74,17$; $P<0,001$). Как видно из рис. 3, для весенних проб были характерны более высокие концентрации хлоридов и сульфатов, тогда как для летних – гидрокарбонатов, кальция и натрия. Несмотря на статистически значимую корреляцию с первой осью всех без исключения показателей (первый столбец табл. 3), вклад микроэлементов в общую изменчивость был крайне мал, тогда как

определяющими структуру гидрохимической изменчивости являлись главные ионы и особенно анионы. Это видно по расположению анионов по краям ординационной диаграммы рис. 3, а микроэлементов – в центральной части, близкой к точке начала координат (0, 0).

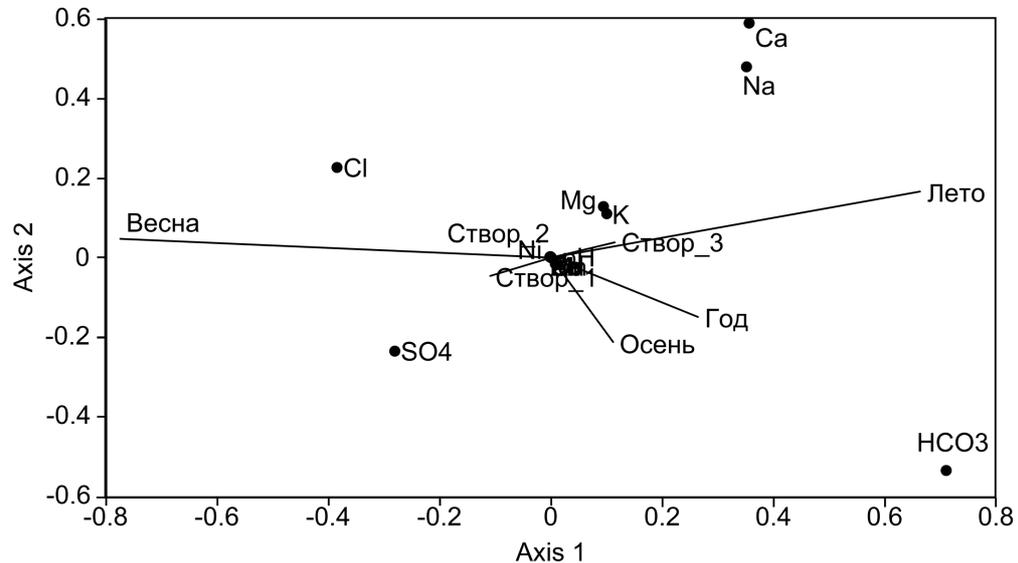


Рис. 3. Показатели химического состава воды водохранилища в пространстве двух первых осей анализа избыточности: Axis 1 – ось 1 (весна – лето); Axis 2 – ось 2 (лето – осень).

Вдоль второй оси наблюдалась тенденция к различиям между летними и осенними пробами с учётом годовой специфики ($F_{(1/12)}=7,16; P=0,089$). Её обеспечил небольшой набор показателей, преимущественно: pH, Ca^{2+} , Zn, Ni.

В целом анализ избыточности подтвердил результаты анализа главных компонент о ведущей роли сезонного фактора в структуре изменчивости ионного и микроэлементного состава воды водохранилища. Однако также он позволил оценить и вклад в эту изменчивости других рассмотренных факторов. Полученные результаты позволяют выстроить следующую иерархию факторов, определяющих состав воды: 1) Сезон (особенно различия между весенними и летними пробами) – около $\frac{3}{4}$ изменчивости (74,3 %), 2) Год – около 1/10 изменчивости (11,1 %), 3) внутриводоёмная изменчивость между створами – около 1/50 (1,9 %). Поскольку в дизайне исследования отсутствовал зимний сезон, а также весьма существенный внутриводоёмный фактор «Глубина» полученные оценки являются приблизительными. Тем не менее соотношение рассмотренных факторов в структуре гидрохимической изменчивости должно остаться близким и при более полных исследованиях.

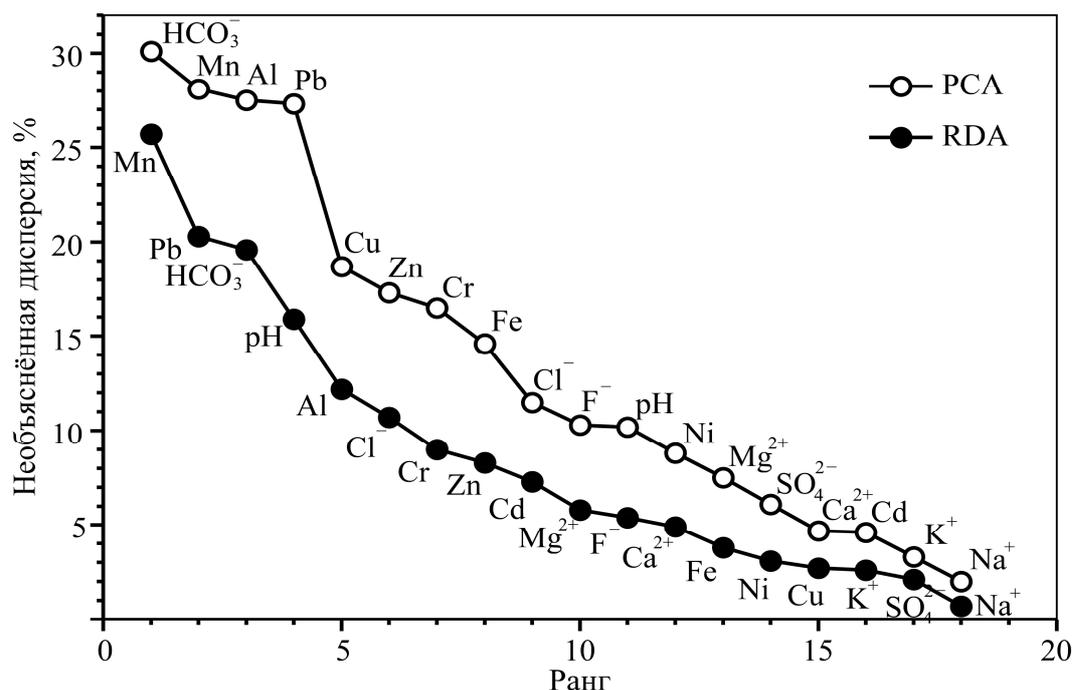


Рис. 4. Ранжирование химических показателей по доле необъяснённой изменчивости варьирования концентраций в водохранилище по результатам анализа главных компонент (PCA) и анализа избыточности (RDA).

Необъяснённая изменчивость гидрохимических показателей. Ранее нами было показано, что важным источником информации экологического содержания может быть не только объясняемая какими-либо факторами изменчивость показателей, но и, напротив, – необъяснённая изменчивость [25, 26]. Обычно при изучении многокомпонентных систем исследователи стараются контролировать наиболее важные и/или интересующие факторы для их характеристики по всему комплексу показателей. Со статистической точки зрения такие факторы выступают или непосредственно в роли изучаемых регрессоров, объясняющих поведение показателей, или в роли ковариат, нивелирующих искажения, привносимые сильными, но не представляющих специального интереса признаками. В результате в ходе анализа значительная часть изменчивости показателей оказывается выраженной и объяснённой. При этом остаточная необъяснённая изменчивость обычно не рассматривается, хотя такой «многомерный шум» не обязательно является случайным: его источником могут служить какие-либо неучтённые факторы, которые также можно пытаться интерпретировать [27]. Именно к такому случаю относятся рассматриваемые данные. Дизайн исследования подразумевал объяснение наиболее важных факторов: годовой, сезонной и внутриводоёмной изменчивости гидрохимических показателей; и выше все они получили количественную оценку. Рассмотрим теперь ту часть изменчивости (дисперсии)

химического состава воды водохранилища, которая осталась несвязанной с действием этих факторов.

Для получения оценок необъяснённой дисперсии (в %) нужно из 1 вычесть накопленную (кумулятивную) долю вклада всех объяснённых компонент или осей (последняя колонка таблиц 2 и 3) и умножить на 100 %. Полученные так значения представлены на рис. 4, где они расположены в порядке убывания. Следует отметить, что по результатам обеих техник выделились практически одни и те же показатели, поведение которых в водоёме не подчинялось рассмотренным выше закономерностям, это – марганец, гидрокарбонаты, свинец и алюминий, а также рН.

Принимая во внимание характеристики водосбора, можно понять, что концентрация марганца и алюминия в пробах воды водохранилища имеют, как природное, так и антропогенное происхождение, что обусловлено их высоким содержанием в земной коре и наличием конкретных источников загрязнения. При этом концентрация элементов в паводковых, ливневых и промышленных стоках сопряжена с сезоном года, определяющим, как цикличность сброса воды из резервуаров сточных вод, так и процессы эрозии и выноса металлов из поверхностного слоя почв, в том числе и сельскохозяйственного назначения [28].

Свинец, определяемый в пробах воды, однозначно имеет антропогенное происхождение. Его внутриводоемная изменчивость, с одной стороны, сопряжена с деятельностью гидроэлектростанции, использующей для производства энергии высокозольные угли [29]. С другой стороны – сбросом промышленных сточных вод в питающие водохранилища реки и смывом свинец-содержащих соединений в паводковый период.

Уровень гидрокарбонатов и значение рН воды взаимосвязаны с эффективностью работы карбонатной буферной системы в водохранилище. В условиях постоянного сброса теплой воды с гидроэлектростанции повышается степень диссоциации её компонентов, сдвигая равновесие в сторону преимущественного образования гидрокарбонатов, что и определяет слабощелочную реакцию воды [30]. Логично предположить, что данный фактор не зависит от года, сезона и створа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ пространственных и временных изменений физико-химических параметров воды в водохранилища озерного типа позволил констатировать следующее.

1. Химический состав воды в водохранилище варьирует в зависимости от года исследований, сезона и створа. Несмотря на паводковый прирост уровня химических компонентов в воде, большая их часть не превосходит значения нормативов для вод рыбохозяйственного назначения, за исключением: а) железа и меди, превышающих ПДК_{вр} весной, летом и осенью в 2,0–7,3 и 14,0–45,0 раз; б) марганца и цинка, возрастающих в пробах воды весной и летом в 2,0–4,0 и 2,0–5,0 раз, никеля и свинца – весной в 1,1–2,0 и 1,2–1,7 раз.
2. Полная изменчивость гидрохимического состава воды в водохранилище, оцениваемая методом неограниченной техники анализа главных компонент

- (Principal component analysis – PCA), зависит от двух факторов (главных компонент), объясняющих в сумме 86,2 % общей дисперсии показателей. Статистически значимым является только один фактор (первая главная компонента – сезон года), определяющий 71,4 % общей изменчивости химического состава воды.
3. Оценка влияния года исследований, сезона года и расположения створа на изменчивость гидрохимического состава воды методом ограниченной техники анализа избыточности (Redundancy analysis – RDA) показывает, что в моделях, учитывающих влияние только одного регрессора, статистически значимой является модель «Сезон», в которой регрессор объясняет 74,3 % изменчивости параметров воды при смене сезона года. В модели с учётом всех трёх факторов (год, сезон, створ) их совокупное воздействие определяют 87,3 % изменчивости химического состава воды водохранилища, из которых 74,3 % приходится на сезон года, 11,1 % на год исследований и 1,9 % на расположение створа.
 4. Ранжирование химических показателей воды по доле необъяснённой изменчивости варьирования концентраций в водохранилище по результатам анализа главных компонент (PCA) и анализа избыточности (RDA) позволяет выделить следующие параметры: марганец, гидрокарбонаты, свинец и алюминий и pH. Варьирование их уровня не зависит от года исследований, сезона года и створа, что позволяет предположить о влиянии на их уровень в воде конкретных природно-антропогенных источников.

Список литературы

1. Lenart-Boroń A. The effect of anthropogenic pressure shown by microbiological and chemical water quality indicators on the main rivers of Podhale, southern Poland / A. Lenart-Boroń, A. Wolanin, E. Jelonekiewicz, M. Żelazny // *Environ Sci Pollut Res Int.* – 2017. – Vol. 24(14). – P. 12938 (doi: 10.1007/s11356-017-8826-7).
2. Xiao L. Spatiotemporal Patterns in River Water Quality and Pollution Source Apportionment in the Arid Beichuan River Basin of Northwestern China Using Positive Matrix Factorization Receptor Modeling Techniques / L. Xiao, Q. Zhang, Ch. Niu, H. Wang // *J Environ Res Public Health.* – 2020. – Vol. 17(14). – P. 5015 (doi: 10.3390/ijerph17145015).
3. Остроумов С. А. О некоторых вопросах поддержания качества воды и её самоочищения / С. А. Остроумов // *Водные ресурсы.* – 2005. – Т. 32, № 3. – С. 337–346.
4. Bojarczuk A. The effect of anthropogenic and natural factors on the prevalence of physicochemical parameters of water and bacterial water quality indicators along the river Białka, southern Poland / A. Bojarczuk, Ł. Jelonekiewicz, A. Lenart-Boroń // *Environ Sci Pollut Res Int.* – 2018. – Vol. 25(10). – P. 10102 (doi: 10.1007/s11356-018-1212-2).
5. Qin G. Pollution Source Apportionment and Water Quality Risk Evaluation of a Drinking Water Reservoir during Flood Seasons / G. Qin, J. Liu, Sh. Xu, Y. Sun // *J Environ Res Public Health.* – 2021. – Vol. – 18(4). – P. 1873 (doi: 10.3390/ijerph18041873).
6. Qin G. Water quality assessment and pollution source apportionment in a highly regulated river of Northeast China / G. Qin, J. Liu, S. Xu, T. Wang // *Environ. Monit. Assess.* – 2020. – Vol. 192. – P. 446 (doi: 10.1007/s10661-020-08404-0).
7. Экологическое и ветеринарно-санитарное состояние водохранилищ Челябинской области: монография / Под ред. Д. Ю. Нохрин. – Барнаул, 2020. – 226 с.
8. ГОСТ 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 45 с.
9. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121–97 Количественный химический анализ вод. Методика измерений pH проб вод потенциометрическим методом. – Москва, 2018. – 13 с.

10. ГОСТ 31957 – 2012 Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 25 с.
11. ПНД Ф 14.1:2:3.96–97. Количественный химический анализ вод. Методика измерения массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом. – Москва, 2016. – 20 с.
12. ПНД Ф 14.1:2.159–2000. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат – ионов в пробах природных и сточных вод турбидиметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200075508> (дата обращения: 15.04.2021).
13. ГОСТ 31869–2012. Вода. Методы определения содержания катионов (аммония, бария, калия, кальция, лития, магния, натрия, стронция) с использованием капиллярного электрофореза. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 23 с.
14. ГОСТ 18165–2014 Вода. Методы определения содержания алюминия (Переиздание с поправкой). – Москва: Стандартинформ, 2019. – 25 с.
15. ПНД Ф 14.1:2:4.139–98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, поверхностных и сточных вод методом Атомно–абсорбционной спектроскопии [Электронный ресурс]. URL: files.stroyint.ru/Index2/1/493832/429832535/htm (дата обращения: 15.04.2021)
16. ПНД Ф 14.1:2:3:4.179–2002. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации фторид–ионов в питьевых, поверхностных, подземных пресных и сточных водах фотометрическим методом с лантан (церий) ализаринкомплексом. Москва, 2012. – 23 с.
17. Jackson D. A. Stopping rules in principal component analysis: a comparison of heuristic and statistical approaches / D. A. Jackson // *Ecology*. – 1993. – Vol. 74. – № 8. – P. 2204
18. Oksanen J. Package ‘vegan’. Community Ecology Package Version 2.5-7. 2020 / J. Oksanen, F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/vegandevs/vegan> (дата обращения: 10.03.2021)
19. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Austria, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.R-project.org> (дата обращения: 08.03.2021)
20. Hammer Ø. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis / Ø. Hammer, D.A.T. Harper, P. D. Ryan // *Palaeontologia Electronica*. – 2001. – № 1. – P. 1.
21. TрX – A drawing tool for Windows. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ctan.org/pkg/tpx> (дата обращения: 30.12.2020).
22. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 15.04.2021).
23. Jolliffe I. T. Principal component analysis / I. T. Jolliffe. – N.Y.: Springer-Verlag, 2002. – 488 p. doi:10.1007/b98835
24. Jongman R. H. G. Data analysis in community and landscape ecology / R. H. G. Jongman, C. J. F ter Braak, O. F. R. van Tongeren. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen, 1987. – 304 p.
25. Нохрин Д. Ю. Использование необъясненной изменчивости химического состава организмов для идентификации ксенобиотиков в экологических исследованиях / Д. Ю. Нохрин, Ю. Г. Грибовский, Н. А. Давыдова // *Экология*. – 2011. – № 4. – С. 369–375.
26. Nokhrin D. Yu. Using unexplained variation in the chemical composition of organisms for identification of xenobiotics in ecological studies / D. Yu. Nokhrin, Yu. G. Gribovskii, N. A. Davydova // *Russian Journal of Ecology*. – 2011. – Vol. 42. – № 5. – P.407 (doi: 10.1134/S1067413611040138).
27. Нохрин Д. Ю. Нестандартное использование многопеременных статистических техник в экологических исследованиях / Д. Ю. Нохрин // *Экология и эволюция: новые горизонты: материалы Международного симпозиума, посвященного 100-летию академика С. С. Шварца (1–5 апреля, 2019, г. Екатеринбург)*. Екатеринбург: Гуманитарный университет, 2019. – С. 77–80.

28. Крылов Д. А. Негативное влияние элементов-примесей от угольных ТЭС на окружающую среду и здоровье людей / Д. А. Крылов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 12. – С. 77–87.
29. Дударева И. А. Марганец в воде и донных отложениях нижнего течения реки Иртыш / И. А. Дударева, Г. С. Алимова, А. Ю. Токарева // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 8. – С. 70–74.
30. Liu J. Distribution, Sources and Water Quality Evaluation of the Riverine Solutes: A Case Study in the Lancangjiang River Basin, Tibetan Plateau / J. Liu, G. Han, M. Liu, J. Zeng, B. Liang, R. Qu // J Environ Res Public Health. – 2019. – Vol. 16(23). – P. 4670 (doi: 10.3390/ijerph16234670).

THE STRUCTURE OF THE VARIABILITY OF THE HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF WATER IN LAKE-TYPE RESERVOIR

Nokhrin D. Y.¹, Derkho M. A.², Mukhamedyarova L. G.², Zhivetina A. V.²

¹*Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

²*South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia*

E-mail: derkho2010@yandex.ru

A qualitative and quantitative analysis of hydrochemical parameters of water is given in order to identify the factors that determine their spatial and temporal changes in a lake-type reservoir. Water samples were taken in 2019 and 2020 from the average level in spring (April), summer (July) and autumn (September) in the first week of the month in accordance with the requirements of GOST R 51592-2000 in three sections. The first target (1) is the shallow upper part (depth from 2 to 4 m); the second target (2) is the central part (depth from 5 to 7 m) and the third target (3) is the near – dam part (depth up to 12.2 m). Statistical analysis of the obtained data was performed using the unlimited Principal component analysis (PCA) technique and the limited redundancy analysis (RDA) technique. The effects were considered statistically significant at $P < 0.05$, and useful for discussion-at $P < 0.10$. It was found that, despite the flood increase in the level of chemical components in the water of the reservoir, most of them meet the requirements for fishing waters, with the exception of iron, copper, manganese, zinc, nickel and lead, which exceed the MPCVR from 1.1 to 45.0 times. The total variability of the hydrochemical composition of water in the reservoir, estimated by the PCA method, depends on the season of the year by 71.4 %. A similar result was obtained by the RDA method in a model with a single regressor. When all factors are taken into account in the RDA model, the variability of the water chemical composition is affected by the season of the year by 74.3 %, the year of research by 11.1 %, and the location of the target by 1.9 %. The primary indicators of water for the proportion of unexplained variability in both the PCA and RDA methods are manganese, bicarbonates, lead and aluminum, and pH.

Keywords: lake-type reservoir, water, hydrochemical parameters, structure of variability

References

1. Lenart-Boroń A., Wolanin A., Jelonkiewicz, E., Żelazny M. The effect of anthropogenic pressure shown by microbiological and chemical water quality indicators on the main rivers of Podhale, southern Poland, *Environ Sci Pollut Res Int*, **24**(14), 12938 (2017).doi: 10.1007/s11356-017-8826-7.
2. Xiao L., Zhang Q., Niu Ch., Wang H. Spatiotemporal Patterns in River Water Quality and Pollution Source Apportionment in the Arid Beichuan River Basin of Northwestern China Using Positive Matrix Factorization Receptor Modeling Techniques, *J Environ Res Public Health*, **17**(14), 5015 (2020). doi: 10.3390/ijerph17145015.
3. Ostroumov S. A. On some issues of maintaining the quality of water and its self-purification, *Water resources*, **32**(3), 337(2005). (in Russ.).
4. Bojarczuk A., Jelonkiewicz L., Lenart-Boroń A. The effect of anthropogenic and natural factors on the prevalence of physicochemical parameters of water and bacterial water quality indicators along the river Białka, southern Poland, *Environ Sci Pollut Res Int*, **25**(10), 10102 (2018). doi: 10.1007/s11356-018-1212-2.
5. Qin G., Liu J., Xu Sh., Sun Y. Pollution Source Apportionment and Water Quality Risk Evaluation of a Drinking Water Reservoir during Flood Seasons, *J Environ Res Public Health*, **18**(4), 1873 (2021).doi: 10.3390/ijerph18041873
6. Qin G., Liu J., Xu S., Wang T. Water quality assessment and pollution source apportionment in a highly regulated river of Northeast China, *Environ. Monit. Assess*, **192**, 446 (2020). doi: 10.1007/s10661-020-08404-0.
7. Ecological and veterinary-sanitary state of reservoirs of the Chelyabinsk region: *monograph*, ed. D. Yu. Nokhrin, Barnaul, 226 (2020). (in Russ.).
8. GOST 51592-2000 Water. General requirements for sampling, *Standartinform*, 45 (2008). (in Russ.).
9. PND F 14.1:2:3:4.121-97 Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the pH of water samples by the potentiometric method, *Moscow*, 13 (2018). (in Russ.).
10. GOST 31957-2012 Methods for determining the alkalinity and mass concentration of carbonates and hydrocarbonates, *Standartinform*, 25 (2013). (in Russ.).
11. PND F 14.1:2: 3.96-97. Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of chlorides in samples of natural and treated wastewater by an argentometric method, *Moscow*, 20 (2016). (in Russ.).
12. PND F 14.1:2.159-2000. *Quantitative chemical analysis of water. Method of performing measurements of the mass concentration of sulfate ions in samples of natural and waste water by the turbidimetric method*, <http://docs.cntd.ru/document/1200075508> (Accessed April 10, 2021). (in Russ.).
13. GOST 31869–2012. Water. Methods for determining the content of cations (ammonium, barium, potassium, calcium, lithium, magnesium, sodium, strontium) using capillary electrophoresis, *Moscow: Standartinform*, 23 (2019). (in Russ.).
14. GOST 18165-2014 Water. Methods for determining the aluminum content (Revised edition), *Standartinform*, 25 (2019). (in Russ.).
15. PND F 14.1:2:4.139-98. *Quantitative chemical analysis of water. Methods for measuring the mass concentrations of iron, cobalt, manganese, copper, nickel, silver, chromium and zinc in samples of drinking, surface and waste water by Atomic absorption spectrometry*, files.stroyint.ru/Index2/1/493832/429832535/htm (Accessed April 10, 2021). (in Russ.).
16. PND F 14.1:2:3:4.179–2002. Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of fluoride ions in drinking, surface, underground fresh and wastewater by photometric method with lanthanum (cerium) alizarin complex, *Moscow*, 23 (2012). (in Russ.).
17. Jackson D. A. Stopping rules in principal component analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches, *Ecology*, **74**(8), 2204 (1993).
18. Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P. et al. Package ‘vegan’, *Community Ecology Package*, 2.5-7 (2020). URL: <https://github.com/vegandevs/vegan> (Accessed Mart 10, 2021).
19. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Austria, Vienna: *R Foundation for Statistical Computing* (2016). URL: <https://www.R-project.org> (Accessed Mart 08, 2021)
20. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Palaeontologia Electronica*, **1**, 1 (2001).

21. *TpX – A drawing tool for Windows*. 2008, <https://ctan.org/tex-archive/graphics/tpx>. URL: (Accessed Mart 10, 2021)
22. *Order of the Federal Agency for Fisheries No. 20 of 18.01.2010 " On Approval of Water Quality Standards for Water Bodies of Fisheries Significance, including Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of Water Bodies of Fisheries Significance*, <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (Accessed Mart 25, 2021). (in Russ.).
23. Jolliffe I. T. Principal component analysis. N.Y, *Springer-Verlag*, 488 (2002). doi:10.1007/b98835.
24. Jongman R. H. G., ter Braak C. J. F. and Tongeren O. F. R. van. Data analysis in community and landscape ecology. *Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc)*, Wageningen, 304 (1987).
25. Nokhrin D. Yu., Gribovskiy Yu. G., Davydova N. A. Use of unexplained variability of the chemical composition of organisms for the identification of xenobiotics in ecological studies, *Ecology*, 4, 369 (2011). (in Russ).
26. Nokhrin D. Yu., Gribovskii Yu. G., and Davydova N. A. Using unexplained variation in the chemical composition of organisms for identification of xenobiotics in ecological studies, *Russian Journal of Ecology*, **42**(5), 407 (2011). doi: 10.1134/S1067413611040138 (in Russ).
27. Nokhrin D. Yu. Non-standard use of multivariable statistical techniques in environmental research, *Ecology and evolution: new horizons: materials of the International symposium dedicated to the 100th anniversary of academician S. S. Schwartz* (April 1–5, 2019, Yekaterinburg), Yekaterinburg: Humanitarian University, 77 (2019). ISBN 978-5-7741-0358-4 (in Russ).
28. Krylov D. A. Negative Impact of Impurity Elements from Coal TPPs on the Environment and Human Health, *Gorny Information and Analytical Bulletin*, 12, 77 (2017).(in Russ).
29. Dudareva I. A., Alimova G. S., Tokareva A. Yu. Manganese in water and bottom sediments of the lower reaches of the Irtysh River, *Success of modern natural science*, 8, 70 (2017). (in Russ).
30. Liu J., Han G., Liu M., Zeng J., Liang B., Qu R. Distribution, Sources and Water Quality Evaluation of the Riverine Solutes: A Case Study in the Lancangjiang River Basin, Tibetan Plateau, *J Environ Res Public Health*, **16**(23), 4670 (2019).doi: 10.3390/ijerph16234670.

УДК 612.159:615.3

ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛАТОВ Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Li^+ И Mg^{2+} НА БОЛЕВУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ САМЦОВ КРЫС

***Раваева М. Ю., Черетаев И. В., Чуян Е. Н., Шехмамбетов Н. Р., Стягина Д. В.,
Грузинов Е. Н., Кузнецова А. А., Каширина А. В.***

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: Shexmambetov@mail.ru*

В статье представлены результаты оценки влияния салицилатов Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Li^+ и Mg^{2+} в дозах 5, 10 и 20 мг/кг на болевую чувствительность самцов крыс. Эксперименты проведены на 119 лабораторных крысах-самцах линии Вистар в тест-моделях острой термической боли («tail-flick» и «hot plate»). Показано, мирчто ацетилсалициловая кислота (АСК) снижает болевую чувствительность крыс на спинальном и супраспинальном уровне. Введение металлов-комплексообразователей (Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Li^+ и Mg^{2+}) в основном приводит к снижению анальгетического действия АСК.

Ключевые слова: ацетилсалициловая кислота (АСК), болевая чувствительность, анальгетический эффект, перцептуальный компонент боли, спинальный и супраспинальный механизмы регуляции боли.

ВВЕДЕНИЕ

Ацетилсалициловая кислота (АСК) уже много лет используется как не только как универсальное анальгезирующее, жаропонижающее и противовоспалительное средство [1, 2], но и как уникальный источник для получения самых различных координационных соединений, позволяющий синтезировать новые производные с металлами-комплексообразователями и различными биологически активными молекулами и лигандами [3]. Получаемые таким образом новые соединения на основе АСК лишены её отрицательных побочных эффектов и с успехом используются в качестве противоопухолевых, противовоспалительных и противомикробных веществ [4, 5].

Положительные результаты исследований биологической эффективности производных АСК позволяют считать перспективным комплексобразование на основе двухвалентных металлов и салицилатов [5], поскольку такие производные с биметаллами (Fe, Zn, Co, Cu и др.) имеют меньше побочных воздействий и большее выраженные эффекты, чем обычный аспирин.

В связи с этим целью настоящего исследования явилось выявление анальгетических эффектов салицилатов (АС) Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Li^+ и Mg^{2+} на пороги болевой чувствительности крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть работы выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврической академии (структурное подразделение ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»). Животных, участвующих в эксперименте, содержали в стандартных условиях вивария при температуре 18–22 °С на подстилке «Рехофикс МК 2000» (на основе початков кукурузы) с естественным 12-часовым свето-темновым циклом, свободным доступом к воде (ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур») и полноценному гранулированному корму ГОСТ Р-50258-92. Исследование проведено в соответствии с ГОСТ Р-53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики» и правилами Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей.

В эксперименте использовались лабораторные крысы-самцы линии Вистар массой 200–250 г., которые были разделены на 22 группы по 7 крыс в каждой (табл. 1).

Исследуемые вещества были синтезированы на кафедре общей и неорганической химии факультета биологии и химии Таврической академии ФГАОУ «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (химическая чистота составляла не менее 98,0 %) под руководством проф. А. Н. Гусева.

Тестирование порогов болевой чувствительности крыс проводили через 20 мин после инъекций в моделях острого болевого стресса «tail-flick» и «hot plate». Перед проведением теста «tail-flick» после инъекций животных помещали в специальные фиксаторы для крыс (AE1001-R0, НПК «Открытая Наука», Россия).

В тесте «tail-flick» оценивали перцептуальный компонент боли, основным показателем данного теста служил латентный период реакции отведения хвоста (ЛПРОХ) в ответ на свето-термальное раздражение, который определяли по значению времени (с) проявления реакции отдергивания хвоста. Измерения проводили на приборе LE7106 Tail-flick Meter (Pan Lab Panlab Harvard Apparatus, Испания). На хвост каждой крысы, сидящей в фиксаторе, осуществляли 3 предъявления свето-термального раздражителя с последующим расчетом среднего значения ЛПРОХ в секундах у каждого животного. Данный тест основан на спинальном флексорном рефлексе, возникающем в ответ на локальное воздействие на хвост высокой температуры, и позволяет судить о болевой чувствительности животных преимущественно на спинальном уровне [6–9].

В тесте «hot plate» (экспериментальная установка Cold and hot plate СНР, Bioseb, Франция) регистрировали латентный период болевой реакции (ЛПБР) животного, который определяли по значению времени (с) проявления реакции отдергивания и лизания конечностей и (или) вокализации. Тест позволяет судить о болевой чувствительности животных на супраспинальном уровне [9–12].

Расчеты, статистическая обработка и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel и программного пакета Graph Pad Prism 7.0. Достоверность статистических различий

между контрольной и экспериментальными группами с различными дозами введения АСК и салицилатов металлов определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с апостериорным тестом Тьюки.

Таблица 1
Организация экспериментальных исследований влияния салицилатов на болевую чувствительность крыс

Группа	Номер группы	Доза соединения	Объем	Кол-во особей (n)
Контроль (физраствор)	1.	0,9 % NaCl	0,2 мл	n=7
АСК	2.	5 мг/кг	0,2 мл	n=7
	3.	10 мг/кг	0,2 мл	n=7
	4.	20 мг/кг	0,2 мл	n=7
АСCo ²⁺	5.	5 мг/кг	0,2 мл	n=7
	6.	10 мг/кг	0,2 мл	n=7
	7.	20 мг/кг	0,2 мл	n=7
АСNi ²⁺	8.	5 мг/кг	0,2 мл	n=7
	9.	10 мг/кг	0,2 мл	n=7
	10.	20 мг/кг	0,2 мл	n=7
АСZn ²⁺	11.	5 мг/кг	0,2 мл	n=7
	12.	10 мг/кг	0,2 мл	n=7
	13.	20 мг/кг	0,2 мл	n=7
АСMn ²⁺	14.	5 мг/кг	0,2 мл	n=7
	15.	10 мг/кг	0,2 мл	n=7
	16.	20 мг/кг	0,2 мл	n=7
АСMg ²⁺	17.	5 мг/кг	0,2 мл	n=7
	18.	10 мг/кг	0,2 мл	n=7
	19.	20 мг/кг	0,2 мл	n=7
АСLi ⁺	20.	5 мг/кг	0,2 мл	n=7
	21.	10 мг/кг	0,2 мл	n=7
	22.	20 мг/кг	0,2 мл	n=7

Для анализа эффективности биологического действия АС с металлами по сравнению с молекулой предшественницей (АСК) проводился расчет коэффициента эффективности (КЭ) по формуле:

$$КЭ = (АС_{мет.} - АСК) / АСК, \quad (1)$$

где АС_{мет.} – показатели кардиореспираторной системы, зарегистрированные у животных при введении АС металлов Co²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, Li⁺ и Mg²⁺;

АСК – показатели кардиореспираторной системы, зарегистрированные у животных при введении АСК.

КЭ приближается к нулю, если эффективность изучаемого соединения (АСмет.) в отношении изучаемого показателя соответствует таковой для АСК.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследования, введение АСК в дозах 5, 10 и 20 мг/кг существенно уменьшает болевую чувствительность у крыс (рис. 1). Об этом свидетельствует достоверное увеличение (ЛПРОХ) в тесте «tail-flick» на 58,7 ($p \leq 0,05$), 80,4 ($p \leq 0,001$) и 114,4 % ($p \leq 0,001$) и ЛПБР в тесте «hot plate» на 61,1 % ($p \leq 0,01$) в дозе 10 мг/кг и 78,8 % ($p \leq 0,001$) в дозе 20 мг/кг относительно данных показателей в контрольной группе крыс.

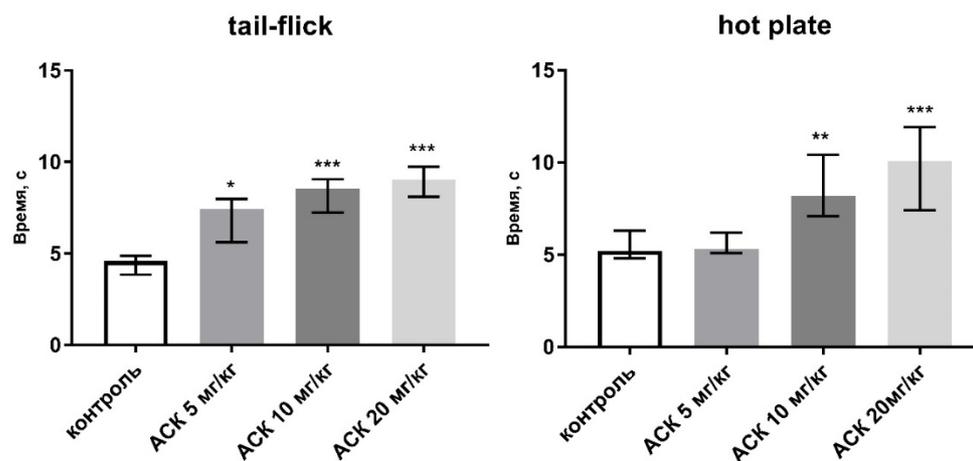


Рис. 1. Влияние ацетилсалициловой кислоты в дозах 5, 10 и 20 мг/кг на показатели болевой чувствительности крыс в тестах «tail-flick» и «hot plate». *Примечание:* * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$ – достоверность отличий показателя по сравнению с контролем.

АСCo^{2+} в дозе 20 мг/кг увеличивал ЛПРОХ на 107 % ($p \leq 0,001$) и ЛПБР на 81,7 % ($p \leq 0,001$) по отношению данным параметрам у контрольной группы животных (рис. 2). В остальных дозах АСCo^{2+} достоверно не изменял значения этих показателей.

В тесте «tail-flick» АСNi^{2+} увеличивал ЛПРОХ в дозе 5 мг/кг на 35,19 % ($p \leq 0,05$), а в дозе 20 мг/кг – на 35,00 % ($p \leq 0,05$) относительно контроля (рис. 3). В тесте «hot plate» наблюдалось достоверное повышение ЛПБР при введении АСNi^{2+} в дозе 10 мг/кг – на 62,14 % ($p \leq 0,001$), а в дозе 20 мг/кг – на 66,17 % ($p \leq 0,001$) относительно значений в контрольной группе (табл. 2, рис. 3).

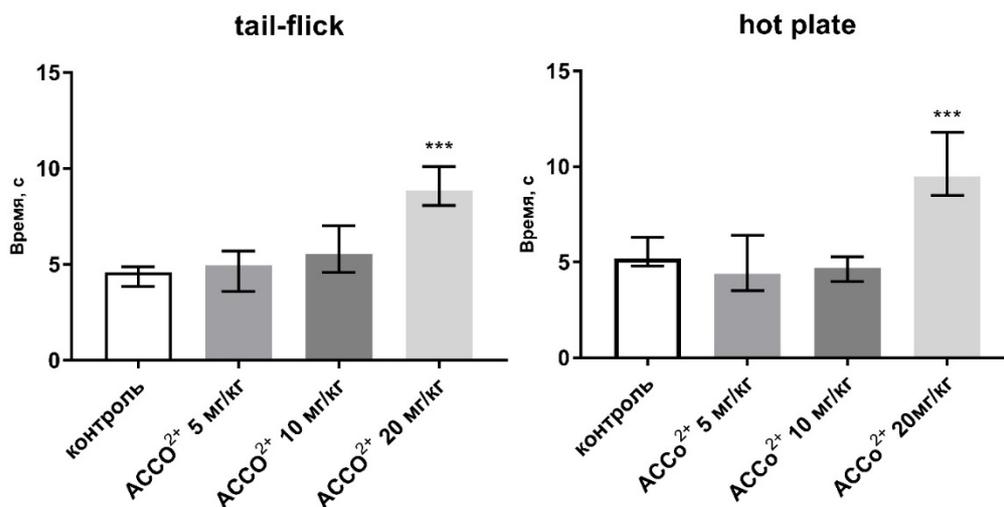


Рис. 2. Влияние салицилата Co^{2+} на показатели болевой чувствительности крыс в тестах «tail-flick» и «hot plate».
Примечание: как на рис. 1.

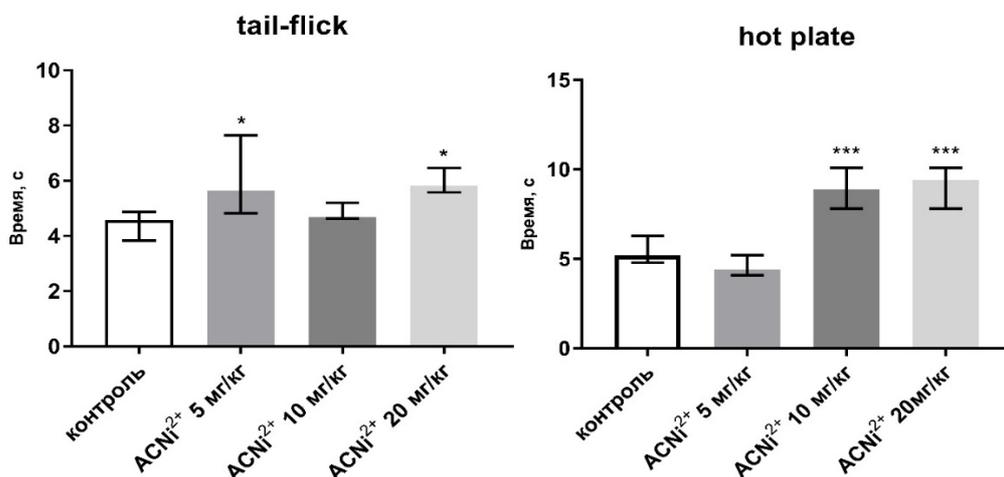


Рис. 3. Влияние салицилата Ni^{2+} на показатели болевой чувствительности крыс в тестах «tail-flick» и «hot plate».
Примечание: как на рис. 1.

В тесте «tail-flick» ACZn^{2+} только в дозе 10 мг/кг достоверно увеличивал ЛПРОХ на 45,6 % ($p \leq 0,05$) относительно значений контроля (рис. 4). В тесте «hot plate» во всех дозах, а также в тесте «tail-flick» в дозах 5 и 20 мг/кг под влиянием ACZn^{2+} пороги болевой чувствительности достоверно не изменялись.

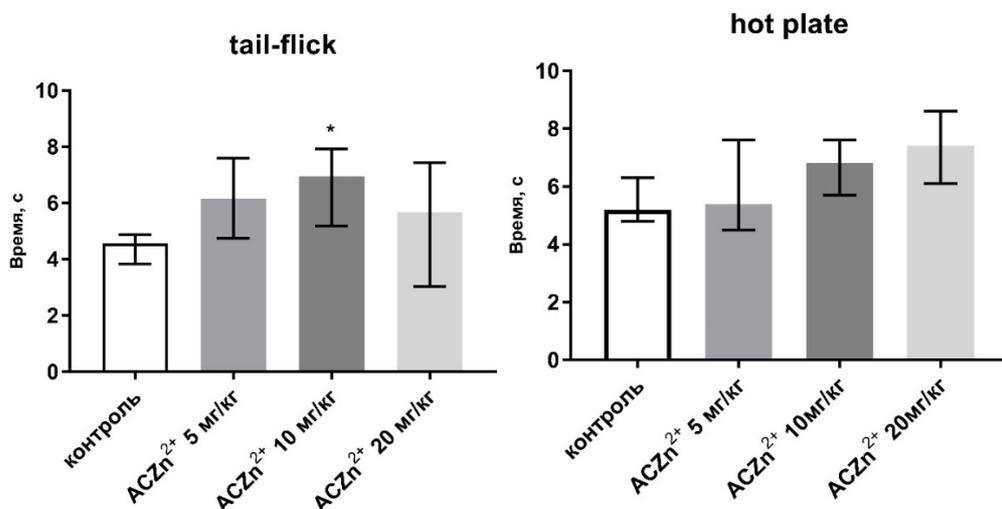


Рис. 4. Влияние салицилата Zn^{2+} на показатели болевой чувствительности крыс в тестах «tail-flick» и «hot plate».

Примечание: как на рис. 1.

В тесте «tail-flick» АСMn²⁺ в дозах 5, 10 и 20 мг/кг у крыс достоверно увеличивал ЛПРОХ на 45,6 ($p \leq 0,05$), 122,3 ($p \leq 0,001$) и на 77,5 % ($p \leq 0,001$) соответственно относительно контроля. В тесте «hot plate» выявлен значительный анальгетический эффект АСMn²⁺ только в дозе 20 мг/кг, выражавшийся в достоверном увеличении ЛПБР на 47,6 % ($p \leq 0,01$) относительно контроля.

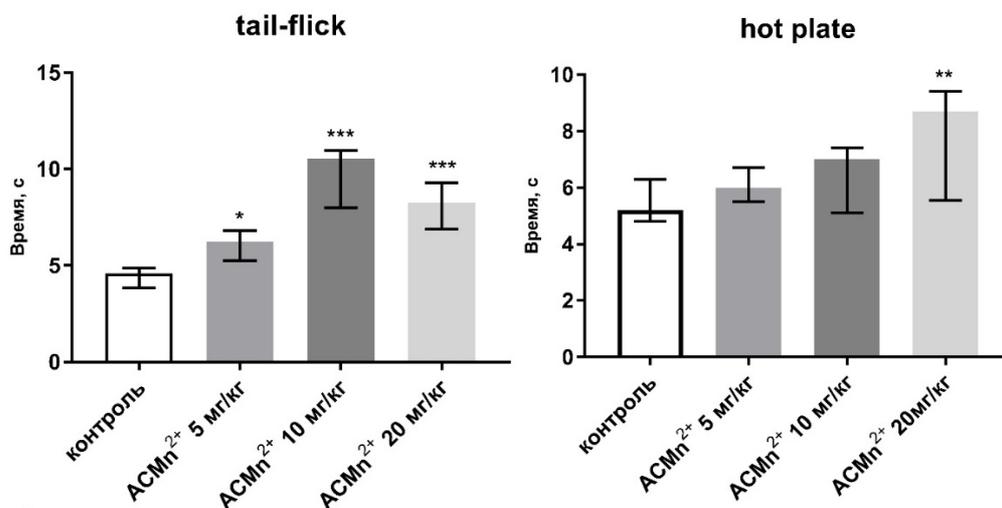


Рис. 5. Влияние ацетилсалицилата Mn^{2+} на пороги болевой чувствительности крыс-самцов в тестах «tail-flick» и «hot plate».

Примечание: как на рис. 1.

В тесте «tail-flick» $АСMg^{2+}$ (рис. 6) достоверно увеличивал ЛПРОХ на 39,2 ($p \leq 0,05$) и на 89,3 % ($p \leq 0,001$) в дозах 10 и 20 мг/кг соответственно относительно контроля. ЛПБР в тесте «hot plate» под влиянием $АСMg^{2+}$ во всех дозах достоверно не изменялся.

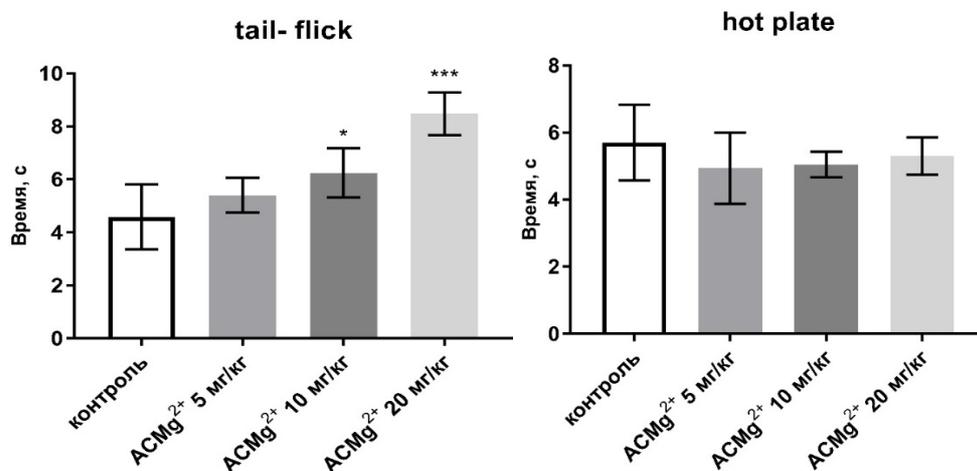


Рис. 6. Влияние салицилата Mg^{2+} на показатели болевой чувствительности крыс в тестах «tail-flick» и «hot plate».
Примечание: как на рис. 1.

В тесте «tail-flick» $ACLi^{+}$ достоверно увеличивал ЛПРОХ на 70,5 ($p \leq 0,001$) и 64,5 % ($p \leq 0,01$) в дозах 5 и 10 мг/кг соответственно относительно таковых у контрольной группы. В тесте «hot plate» ЛПБР под влиянием всех исследуемых доз $ACLi^{+}$ достоверно не изменялся.

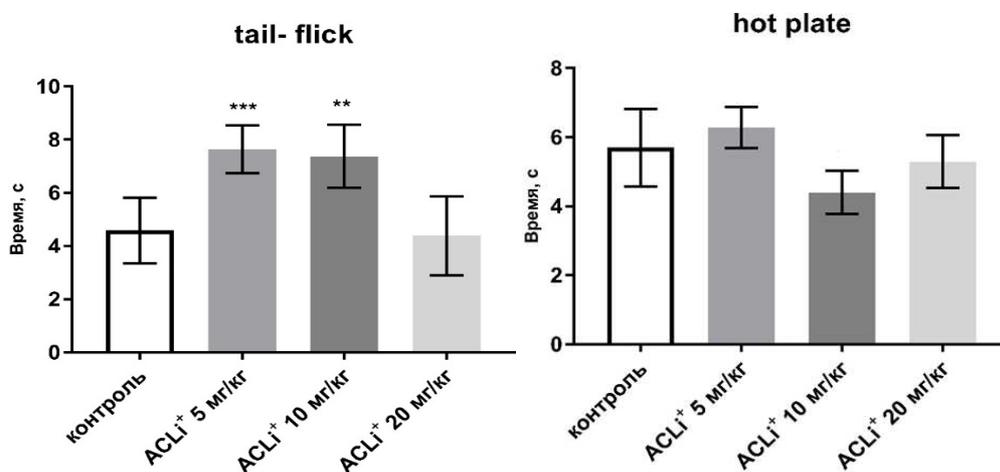


Рис. 7. Влияние салицилата Li^{+} на показатели болевой чувствительности крыс в тестах «tail-flick» и «hot plate».
Примечание: как на рис. 1.

Таким образом, АСК и салицилаты металлов увеличивают пороги болевой чувствительности, что демонстрирует наличие у данных соединений анальгетических свойств в зависимости от дозы соединений и применяемого болевого раздражителя.

Известно [9, 10–12], что увеличение ЛПРОХ свидетельствует об участии перцептуального компонента и спинального механизма регуляции болевой чувствительности, а увеличение ЛПБР – о влиянии на супраспинальные механизмы болевой чувствительности. Исходя из этого, можно заключить, что АСК и ASCo^{2+} , ACNi^{2+} , ACZn^{2+} , ACMn^{2+} , ACMg^{2+} и ACLi^+ в различных дозах оказывают анальгетический эффект с участием различных механизмов регуляции боли.

Анализ зависимости «химическая структура-свойства», которая в данном случае является отражением эффективности биологического действия соединений АС с металлами по сравнению с молекулой предшественницей (АСК) показал, что введение металлов в структуру АСК снижает анальгетический эффект новосинтезированных салицилатов по сравнению с АСК, о чем свидетельствуют достоверно низкие показатели порогов болевой чувствительности, представленные в табл. 2. и Кэ (рис. 8, 9), рассчитанный как отношение эффекта соответствующего АС с металлом к эффекту АСК. Как видно из рис. 8, 9 практически все показатели эффективности тестируемых АС металлов находятся в отрицательной области гистограммы, что свидетельствует о меньшем анальгетическом эффекте соединений по сравнению с АСК. Исключением является ACMn^{2+} , анальгетический эффект которого в дозе 10 мг/кг превосходит таковой у АСК, однако, значимость данного эффекта не достоверна. Вероятно, что наличие анальгетических свойств у ASCo^{2+} , ACNi^{2+} , ACZn^{2+} , ACMn^{2+} , ACMg^{2+} и ACLi^+ обусловлено присутствием салициловой кислоты в тестируемых соединениях.

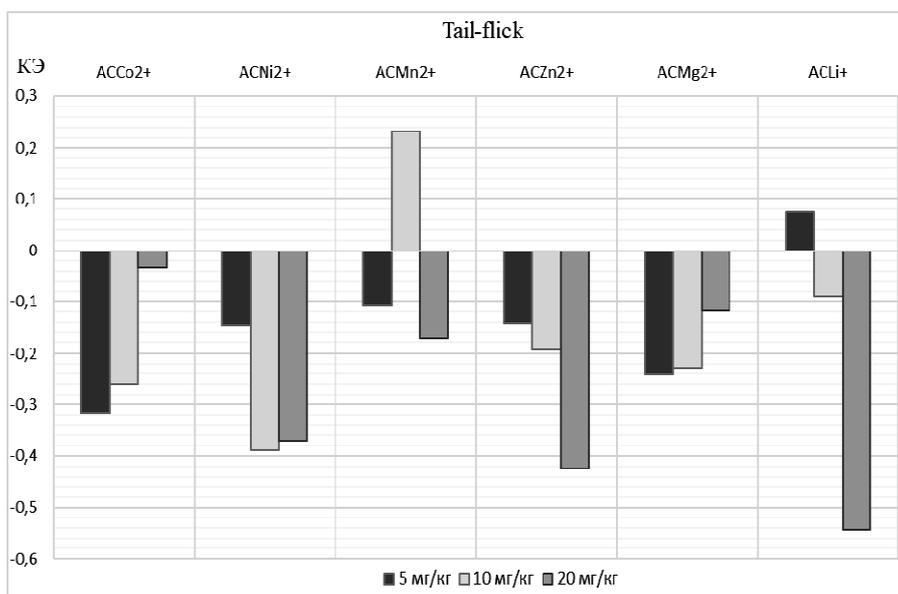


Рис. 8. Коэффициент эффективности (КЭ) анальгетического действия салицилатов Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} и Li^+ в тесте «tail-flick» в дозах 5, 10 и 20 мг/кг.

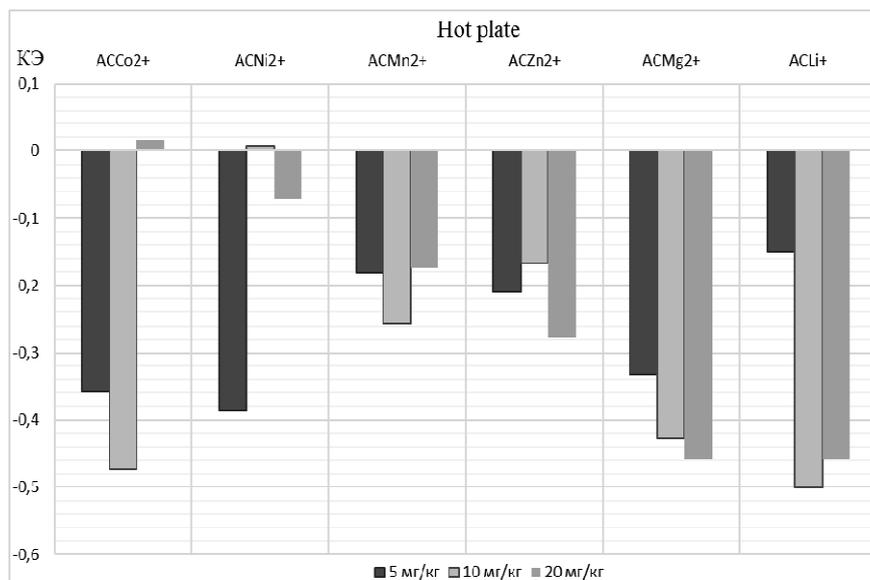


Рис. 9. Коэффициент эффективности (КЭ) аналгетического действия салицилатов Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} и Li^{+} в тесте «hot plate» в дозах 5, 10 и 20 мг/кг.

Можно заключить, что введение металлов-комплексобразователей снижает аналгетические свойства АС металлов, а подобный дизайн соединений не целесообразен при создании высокоактивных аналгетиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. АСК во всех дозах оказывает выраженное аналгетическое действие с участием спинального и супраспинального механизмов регуляции болевой чувствительности. Об этом свидетельствует достоверное увеличение порогов болевой чувствительности в тестах термической острой боли «tail-flick» и «hot plate».
2. Аналгетические эффекты АСNi^{2+} , АСMn^{2+} и АСLi^{+} развивались при их введении во всех дозах, АСMg^{2+} – в дозах 10 и 20 мг/кг, АСZn^{2+} – только в дозе 10 мг/кг, АСCo^{2+} – только в дозе 20 мг/кг.
3. Введение металлов-комплексобразователей снижает аналгетические свойства АС металлов, а подобный дизайн соединений не целесообразен при создании высокоактивных аналгетиков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-70142 на экспериментальном оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврической академии (структурное подразделение) ФГАОУВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Левых А. Э. Ацетилсалициловая кислота как эффективная и безопасная основа антиагрегантной терапии / А. Э. Левых, В. И. Мамчур // Артериальная гипертензия. – 2015. – №6 (44). – С. 57–63.
2. Венгеровский А. И. Лекции по фармакологии / Венгеровский А. И. – Томск: СибГМУ, 2007. – 390 с.
3. Ignatyev I. Synthesis and characterization of cobalt (II) complexes with triethanolamine and succinate and/or nitrate anions / Ignatyev I. [et. al.] // J. Transition Metal Chemistry. – 2018. – 43 (2). – P. 127–136.
4. Alfonso L. F. Aspirin inhibits camptothecin-induced p21CIP1 levels and potentiates apoptosis in human breast cancer cells / L. F. Alfonso, K. S. Srivenugopal, T. V. Arumugam [et al.]. // Int. J. Oncol. – 2009. – Vol. 34, No 3. – P. 597–608. doi: 10.3892/ijo_00000185 PMID: 19212664
5. Bica K. In search of pure liquid salt forms of aspirin: ionic liquid approaches with acetylsalicylic acid and salicylic acid / K. Bica, C. Rijksen, M. Nieuwenhuyzena [et al.]. // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2010. – Vol. 12. – P. 2011–2017.
6. Determination of Adrenergic and Imidazoline Receptor Involvement in Augmentation of Morphine and Oxycodone Analgesia by Clonidine and BMS182874 / Gulati A., Bhalla S., Matwshyn G. [et al.]. // Pharmacology. – 2011. – Vol. 83. – P. 45–58.
7. Smith E. S. Nociceptors: a phylogenetic view / E. S. Smith, G. R. Lewin // J. Comp. Physiol. A. Neuroethol. Sens. Neural. Behav. Physiol. – 2009. – Vol. 195 (12). – P. 1089–1106.
8. Xu F. The neurotoxicity of intrathecal lidocaine is enhanced in postpartum compared to virgin rats / F. Xu, B. Zhang, T. Li // Fundam Clin Pharmacol. – 2013. – Vol. 27, № 4. – P. 427–433
9. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / А. Н. Миронов, Н. Д. Бунатян, А. Н. Васильев [и др.]. – Ч. 1. М.: Гриф и К, 2012. – 944 с.
10. Woolfe G. The evaluation of the analgesic action of pethidine hydrochloride (Demerol) / G. Woolfe, A. D. Macdonald // J. Pharmacol. Exp. Ther. – 1944. – Vol. 80, № 3. – P. 300–307.
11. Влияние L-аргинина на электрокожную и температурную болевую чувствительность у крыс / Л. А. Северьянова, И. И. Бобынцева, Н. А. Кирьянова [и др.]. // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». – 2005. – № 2. – С. 44–49.
12. Василенко А. М. Корреляции болевой чувствительности и гуморального иммунного ответа у мышей при термораздвождении / А. М. Василенко, О. Г. Яновский, О. В. Коптелов // Бюлл. экспер.-мед. – 1995. – №4. – С. 405–408.

EFFECT OF SALICYLATES CO^{2+} , NI^{2+} , ZN^{2+} , MN^{2+} , LI^+ AND MG^{2+} ON THE PAIN SENSITIVITY OF MALE RATS

Ravaeva M. Yu., Cheretaev I. V., Chuyan E. N., Shekhmambetov N. R., Styagina D. V., Gruzinov E. N., Kuznetsova A. A., Kashirina A. V.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: Shexmambetov@mail.ru*

The article presents the results of evaluating the effect of salicylates Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Li^+ and Mg^{2+} at doses of 5, 10, and 20 mg/kg on the pain sensitivity of male rats. Experiments were carried out on 119 male Wistar laboratory rats in test models of acute thermal pain ("tail-flick" and "hot plate"). It has been shown that acetylsalicylic acid (ASA) reduces the pain sensitivity of rats at the spinal and supraspinal levels. The introduction of complexing metals (Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Li^+ and Mg^{2+}) mainly leads to a decrease in the analgesic effect of ASA.

ASA in all doses has a pronounced analgesic effect with the participation of spinal and supraspinal mechanisms of regulating pain sensitivity. This is evidenced by a significant increase in the thresholds of pain sensitivity in the tests of thermal acute pain «tail-flick» and «hot plate».

Analgesic effects of $ACNi^{2+}$, $ACMn^{2+}$ and $ACLi^{+}$ developed when they were administered at all doses, $ACMg^{2+}$ – at doses of 10 and 20 mg / kg, $ACZn^{2+}$ – only at a dose of 10 mg/kg, $ACCo^{2+}$ – only at a dose of 20 mg / kg.

The introduction of complexing metals reduces the analgesic properties of AC metals, and such a design of compounds is not advisable when creating highly active analgesics.

Keywords: acetylsalicylic acid(ASA), pain sensitivity, analgesic effect, perceptual component of pain, spinal and supraspinal mechanisms of pain regulation.

References

1. Levyh A. Je., Mamchur V. I. Acetilsalicilovaja kislota kak jeffektivnaja i bezopasnaja osnova antiagregantnoj terapii, Arterial'naja gipertenzija, **6 (44)**, 57 (2015).
2. Vengerovskij A. I., *Lectures on Pharmacology*, 390 p. (Tomsk, SibGMU, 2007).
3. Ignatyev I. Synthesis and characterization of cobalt (II) complexes with triethanolamine and succinate and/or nitrate anions, J. Transition Metal Chemistry, **43 (2)**, 127 (2018).
4. Alfonso L. F., Srivenugopal K. S., Arumugam T. V., Abbruscato T. J., Weidanz J. A., Bhat G. J., Aspirin inhibits camptothecin-induced p21CIP1 levels and potentiates apoptosis in human breast cancer cells, *Int. J. Oncol.*, **34, 3**, 597 (2009).
5. Bica K., In search of pure liquid salt forms of aspirin: ionic liquid approaches with acetylsalicylic acid and salicylic acid, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **12**, 2011 (2010).
6. Gulati A., Bhalla S., Matwyshyn G., Zhang Z., Andurkar S. V., Determination of Adrenergic and Imidazoline Receptor Involvement in Augmentation of Morphine and Oxycodone Analgesia by Clonidine and BMS182874, *Pharmacology*, **83**, 45 (2011).
7. Smith E. S., Lewin G. R., Nociceptors: a phylogenetic view, *J. Comp. Physiol. A. Neuroethol. Sens. Neural. Behav. Physiol.*, **195 (12)**, 1089 (2009).
8. Xu F., Zhang B., Li T., The neurotoxicity of intrathecal lidocaine is enhanced in postpartum compared to virgin rats, *Pharmacology*, **27, 4**, 427 (2013).
9. Mironov A. N., Bunatjan N. D., Vasil'ev A. N. i dr., *Rukovodstvo po provedeniju doklinicheskikh issledovanij lekarstvennyh sredstv*. Ch. 1. 944 s. (Moskva: Grif i K, 2012).
10. Woolfe G., Macdonald A. D., The evaluation of the analgesic action of pethidine hydrochloride (Demerol), *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, **80, 3**, 300 (1944).
11. Sever'yanova L. A., Bobyncey I. I., Kir'yanova N. A., Dolgincev M. E., Vliyanie L-arginina na elektrokozhnyuyu i temperaturnyuyu bolevuyu chuvstvitel'nost' u krys, *Kurskij nauchno-prakticheskij vestnik «Chelovek i ego zdorov'e»*, **2, 44**, 2005.
12. Vasilenko A. M., Yanovskij O. G., Koptelev O. V., Korrelyacii bolevoy chuvstvitel'nosti i gumoral'nogo immunnogo otveta u myshej pri termorazdrozhenii, *Byull. eksper.-med.*, **4**, 405 (1995).

УДК 595.78+574.3+632

**СООБЩЕНИЕ О НАХОДКЕ *GARELLA MUSCULANA* (ERSCHOV, 1874)
(LEPIDOPTERA: NOLIDAE) – НОВОГО ДЛЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ВИДА ФИТОФАГА-ВРЕДИТЕЛЯ ИЗ ООПТ «ЧУЛЕКСКАЯ БАЛКА»**

Романчук Р. В.^{1,2,3}, Колесников С. И.¹

¹*Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

²*Испытательная лаборатория Ростовского филиала ФГБУ «ВНИИКР», Ростов-на-Дону, Россия*

³*Ростовское отделение Русского энтомологического общества, Ростов-на-Дону, Россия*
E-mail: roma.romanchuk.95@bk.ru

В статье представлены сведения об обнаружении на территории охраняемого ландшафта «Чулекская балка» Мясниковского района Ростовской области нового для региона вида совкообразных чешуекрылых – челночницы ореховой (*Garella musculana* Erschov, 1874). Вид считается одним из наиболее серьезных вредителей плодов и молодых побегов грецкого ореха (*Juglans regia* L.) в странах распространения, включен в перечень А2 Европейско-средиземноморской организации по защите растений (ЕОКЗР, ЕРРО) и рекомендуется к регулированию в качестве карантинного вредного организма. Целью работы является указание и описание новой находки вида в европейской части России. В задачи вошли анализ вредоносности, путей распространения и хозяйственного значения вредителя для территории Ростовской области. В качестве гипотезы рассмотрена вероятность присутствия в регионе одной или нескольких локальных популяций *G. musculana*, при этом не исключается единичный занос особей с саженцами ореха или в результате расселительной миграции из ближайших частей ареала (Республика Крым). Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод о несущественном хозяйственном значении вида для локальных посадок грецкого ореха и для лесного хозяйства Ростовской области. С целью установления действительного состояния популяции в регионе, необходимы дальнейшие мониторинговые исследования.

Ключевые слова: *Garella musculana*, челночница ореховая, чешуекрылые-вредители, особо охраняемые природные территории, охраняемый ландшафт, энтомологические рефугиумы, Ростовская область, юг России.

ВВЕДЕНИЕ

Фауна чешуекрылых юга России и, в частности, Ростовской области (РО) находится в постоянной динамике, и за последние несколько десятков лет претерпела определенные изменения [1–4]. Планомерное изучение региональной лепидоптерофауны осуществляется с 70-х гг. прошлого века и практически ежегодно, в результате стационарных и маршрутных сборов, обнаруживаются новые для региона виды бабочек [3–5].

На фоне относительно плавной динамики фауны Lepidoptera, мы наблюдаем инвазии одних видов и флуктуации численности других [6]. Одни виды-вселенцы образуют малочисленные локальные популяции на отдельных территориях, не имея

при этом ощутимого хозяйственного значения или вовсе не нанося вред. В таких случаях колебания численности существенно затрудняют выявление этих видов, особенно в периоды депрессий [6]. Другие, напротив, увеличивая свою численность способны нанести серьезный ущерб народному хозяйству [6, 7].

В современном мире биологические инвазии и расселительные миграции опасных фитофагов-вредителей представляют серьезную экологическую и экономическую проблему, поэтому важными и необходимыми инструментами энтомофаунистических исследований являются мониторинг и установления путей их распространения [7, 8]. Проникновение чужеродных биологических видов в экосистемы, находящиеся за пределами их естественных областей распространения, рассматриваются как часть глобальных изменений биосферы, ведущая не только к снижению биологического разнообразия и к дестабилизации природных сообществ, но и к значительным экономическим потерям [9–11]. Ситуацию может осложнить несвоевременное выявление и слабый контроль численности вредоносных объектов на начальных этапах заселения [8].

Для территории РО известны несколько видов чешуекрылых-вселенцев, имеющих большое хозяйственное значение не только на региональном уровне, но и в масштабах юга России и европейской части страны [7]. Некоторые из них являются ограниченно распространенными на территории России карантинными объектами, представляющими серьезный фитосанитарный риск [7, 12–15].

Челночница ореховая (*Garella musculana* Erschov, 1874), обнаруженная на особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Чулеская балка» Мясниковского района Ростовской области, включена в перечень А2 Европейско-средиземноморской организации по защите растений (ЕОКЗР, EPPO) и рекомендуется к регулированию в качестве карантинного вредного организма (КВО) [16].

Целью работы мы рассматриваем указание и описание новой находки *G. musculana* в европейской части России. В задачи вошли анализ вредоносности, путей распространения и хозяйственного значения вида для территории Ростовской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор и учет разноусых чешуекрылых на территории ООПТ и ее окрестностей проводился в весенние месяцы. В качестве ловчего приспособления применялась автоматическая светоловушка (light-trap), собранная по схеме А. Н. Полтавского [1] и оснащенная ртутно-вольфрамовой лампой ДРВ 250 Вт HWL E40 «Osram». Для повышения эффективности учета, конструкция совмещалась с белым светоотражающим экраном, сбор с которого осуществлялся ручным способом в специализированные морилки. При замаривании бабочек применялся этилацетат. Источником электроэнергии в разных случаях служили стационарная сеть (территория учебно-опытного хозяйства ЮФУ «Недвиговка») на 220 вольт и переносной бензиновый электрогенератор «SRGE 650» (0.65 кВт) (непосредственно территория ООПТ).

Основная часть собранного материала хранится на ватных матрасиках. Препаровка отдельных экземпляров из массовых сборов проводилась по общепринятой методике с использованием стандартного инструментария [17–19]. Расправленные и снабженные соответствующими этикетками экземпляры хранятся в частной коллекции Романчука Р. В. (г. Ростов-на-Дону).

Результаты камеральной обработки энтомологического материала вносились в формируемую базу данных на основе стандартной программы Excel из пакета Microsoft Office по схеме: № вида в базе; семейство; подсемейство; триба; латинское название вида; дата сбора; место сбора; количество особей; обилие в РО; «вид-маркер»; Красная книга РО; Красная книга Российской Федерации; Красный список Международного союза охраны природы (МСОП); экологическая группа; биотопическая приуроченность; трофическая приуроченность; широта трофической связи; хозяйственное значение; зоогеографическая область распространения; инициалы сборщика и/или учетчика; инициалы специалиста, установившего таксономическую принадлежность.

В качестве справочной литературы использовались монография «Совкообразные чешуекрылые (Lepidoptera: Noctuoidea) Ростовской области» [20] и новейший «Каталог чешуекрылых России» [21]. Вид был определен на основании внешнего строения и специфичных паттернов на передних крыльях собранного экземпляра.

Препарат гениталий изготовлен стандартным методом мацерации фрагмента брюшка в насыщенном растворе щелочи (KOH). Выделенный орган помещен в микропробирку с глицерином и хранится в коллекции вместе с экземпляром взрослого насекомого. Фотосъемка имаго выполнена с использованием камеры Canon EOS 800D, препарата гениталий – системы микрофотодокументации на базе камеры Canon EOS 6D Mark II, совмещенной с медицинским микроскопом OLYMPUS BX43F.

Экземпляр челночницы ореховой был собран в пределах охраняемого ландшафта (ОЛ) «Чулеская балка», представляющего собой комплексную региональную ООПТ общей площадью 190,0 га [22]. ОЛ расположен в Мясниковском районе Ростовской области севернее х. Недвиговка и северо-восточнее с. Синявское и автодороги Ростов-на-Дону-Таганрог (Рис. 1а, b).

«Чулеская балка» находится в охранной зоне археологического музея-заповедника «Танаис», что обуславливает значимость ОЛ как природно-исторического объекта [22]. Отличается высоким уровнем биоразнообразия и эндемизма, сохраняя на своей территории уникальные местообитания, природные комплексы и ресурсы живой природы Приазовья (Рис. 1с, d). Имеет природоохранное, научное, рекреационное и эстетическое значение. Охраняемый ландшафт территориально совпадает с одним из кластеров «Недвиговского энтомологического рефугиума» (энтомологический рефугиум – ЭР) [1], являясь при этом его эталонным участком [22].

Территория ООПТ определяется как характерный ландшафт рассеченного протяженными субширотными балками и малыми реками водораздела р. Тузлова и р. Дона на Северо-Приазовской равнине с выходами известняков-ракушечников на

склонах [22, 24]. Почвы представлены черноземами неполноразвитыми среднещепенчатыми глинистыми по правому склону балки и черноземами обыкновенными мало- и среднемощными глинистыми по левому склону, прибалочные склоны правого борта заняты среднемощными разновидностями обыкновенных черноземов [22]. По дну балки протекает р. Чулек, имеются небольшие заболоченные участки и крупный пруд.



Рис. 1. ОЛ «Чулекская балка»: а – карта-схема с указанием границ ООПТ [22]; б – спутниковый снимок Чулекской балки и прилегающих территорий [23] (с дополнениями авторов): 1 – хутор Веселый, 2 – поселок Щедрый, 3 – село Синявское, 4 – хутор Недвиговка, белая звездочка – точка сбора в пределах учебно-опытного хозяйства ЮФУ, красная звездочка – точка сбора на территории ООПТ (место сбора *G. musculana*); в, г – ландшафтно-биотопические комплексы Чулекской балки в точке сбора челночницы ореховой (фото Романчука Р. В.).

ОЛ является типичным участком зональных и кальцепетрофитных каменистых приазовских разнотравно-дерновиннозлаковых степей с тимьянниками на выходах известняка [22] и присутствием искусственной древесно-кустарниковой растительности (преимущественно в средней части скатов балки) [24] (Рис. 1с, д). По берегам пруда и р. Чулек фрагментарно представлена гигрофитная растительность, образованная сообществами с преобладанием тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

Параметры, примененные при оценке репрезентативности ОЛ «Чулекская балка» (как части региональной системы ООПТ) в аспекте сохранения разнообразия

чешуекрылых, проведенной по двум крупным и хорошо изученным таксономическим группам Papilionoidea и Noctuoidea, принимают следующие значения: индекс редких видов (ИРВ) – 27; уровень созологической значимости (УСЗ) – очень высокий; тип резервируемых сообществ чешуекрылых (ТСЧ) – уникальные [25]. Основные созологические функции ООПТ: рекреационная, ресурсоохранная, средообразующая, эталонная, рефугиум энтомологический, резерват биогеографический [25].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате сборов чешуекрылых, проводимых в 2015–2020 гг. на территории региональных особо охраняемых природных территорий, в ОЛ «Чулукская балка» была собрана новая для фауны Ростовской области бабочка из семейства карликовые шелкопряды (Nolidae).

Систематическое положение: Noctuoidea, Nolidae, Chloephorinae, Sarrothripini, *Garella musculana* (Erschov, 1874) (Рис. 2а).

Материал: Россия, Ростовская обл., Мясниковский р-н, окр. х. Недвиговка и с. Синявское, ООПТ ОЛ «Чулукская балка», 47°17'41.1"N 39°20'03.6"E, разнотравная поляна на склоне холма вдоль древесно-кустарникового массива, 05.V.2018, Романчук Р.В. – 1 ♀.

Выделенный и зафиксированный препарат гениталий самки (Рис. 2б) хранится в коллекции Романчука Р.В. вместе с расправленным и этикетированным экземпляром имаго.

Распространение: Индия, Казахстан, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан, Болгария, Турция [26] (Рис. 2с), Россия (Республика Крым) [21, 27, 28], Китай (не подтверждено), Афганистан (не подтверждено), Иран (не подтверждено), Пакистан [29], Украина (Запорожская область [30], Одесская область [31]).

Биология, экология и хозяйственное значение: *G. musculana* считается одним из наиболее серьезных вредителей плодов и молодых побегов грецкого ореха (*Juglans regia* L.) в странах распространения [32]. В Турции, например, наблюдаются вспышки численности вида в долинах, лесах и садах на высоте примерно 1900–2100 м н.у.м., приводящие к повреждению диких и культурных сортов *J. regia* [32, 33].

Вредит на стадии личинки. Гусеницы выгрызают околоплодник, в результате чего происходит деформация плода и нарушение его нормального развития. Вследствие этого, урожайность грецких орехов может упасть на 70–80 % [33]. Помимо нанесения вреда, напрямую приводящего к потере урожая, челночница способна вызвать стресс у семян, использующихся в качестве посевного материала при восстановлении древесных массивов *J. regia* [33]. В годы низкого плодоношения питание гусениц вызывает увядание побегов, что обычно представляет более серьезную опасность для молодых деревьев [33].

В Ростовской области грецкий орех выращивался в лесных хозяйствах и питомниках. Большое содействие в его распространении по региону оказал Ботанический сад Ростовского университета [34]. В 50-е годы прошлого века были

созданы лесные культуры *J. regia* на площади 1938 га, организованы крупные ореховые сады в колхозах и совхозах на площади до 2 тыс. га [34].

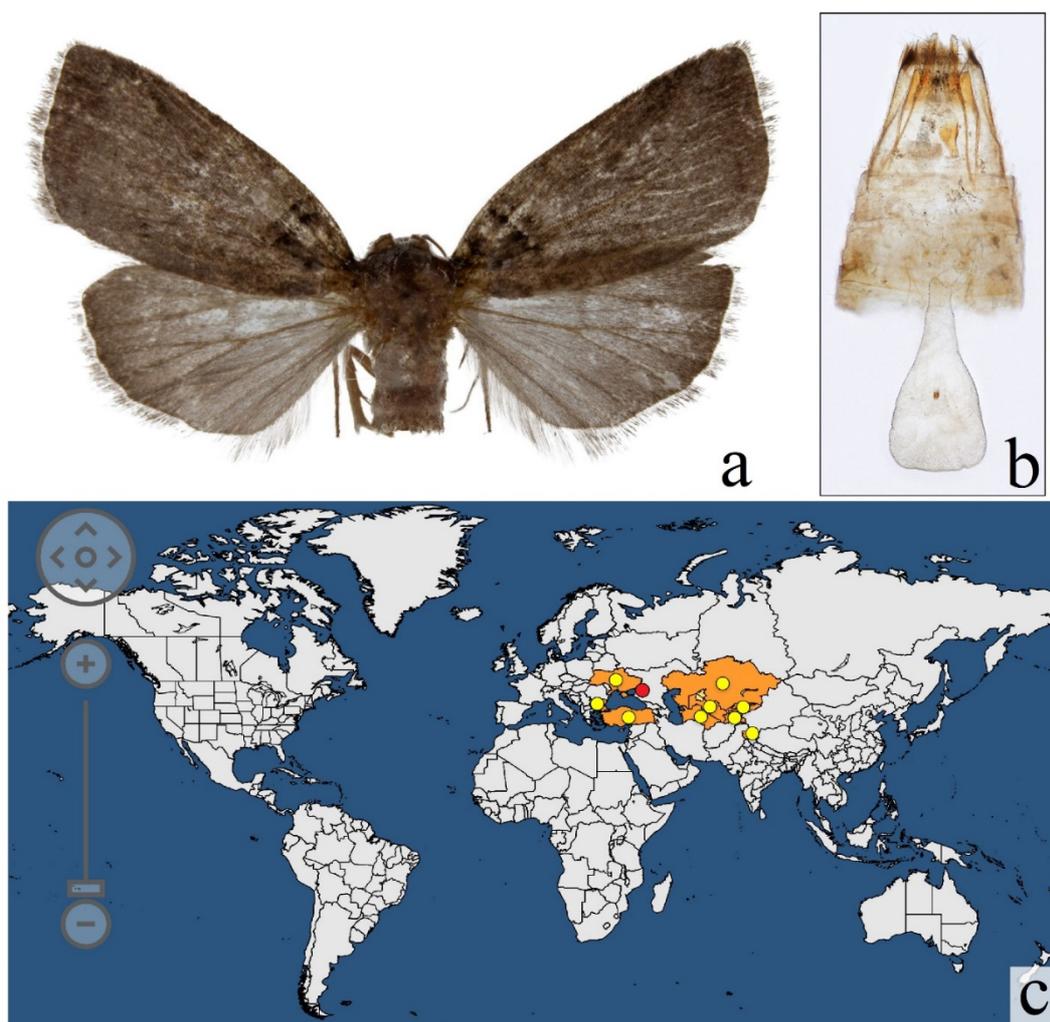


Рис. 2. Общий вид челночницы ореховой (*Garella musculana*) и ее приблизительный ареал: а – габитус имаго (фото Елфимовой Н.С.); б – гениталии ♀ (фото Романчука Р.В.); в – регион распространения (согласно глобальной базе данных ЕОКЗР, с дополнениями авторов) [15, 26], красный кружок – обнаружение вида в Ростовской области.

Точка сбора вредителя в РО расположена в окружении нескольких населенных пунктов (Рис. 1б). Возможно, именно в них представлены кормовые растения гусениц, поскольку грецкий орех до сих пор часто высаживается на частных

подворьях и в садах. Последующие эпизодичные учеты чешуекрылых в окрестных угодьях не привели к повторному обнаружению *G. musculana* [35, 36].

Вероятно, ореховая челночница существует в регионе в виде одной или нескольких локальных популяций, достоверные данные по которым, в настоящий момент, затруднительно получить применяемыми методами сборов. Не исключается единичный занос вредителя с саженцами ореха или в результате расселительной миграции из частей ареала, расположенных южнее и/или юго-восточнее Ростовской области. Ближайшая точка сбора *G. musculana* на юге страны – Крымский полуостров [21, 27, 28], куда вид, возможно, попал из Украины [30, 31]. Территории Краснодарского края и Республики Адыгея также могут являться частью ареала челночницы, что обусловлено наличием широкой кормовой базы. В Адыгее грецкий орех культивировался в течение многих столетий и сегодня сохраняется на месте старинных поселений и успешно растет в лесах [34]. В Краснодарском крае интенсивно вводился в культуру в советский период [34].

Таким образом, для установления действительного состояния популяции вредителя в РО, необходимы дальнейшие мониторинговые исследования. Учитывая единичную находку и явный недостаток данных о распространении вида в регионе, можно сделать вывод о несущественном хозяйственном значении ореховой челночницы для лесного хозяйства области в целом и для локальных посадок грецкого ореха, в частности. При этом стоит обращать внимание на высокую вредоносность *G. musculana* в ряде стран [32, 33, 37, 38], и возможные последствия увеличения численности вида в результате его закрепления и успешной акклиматизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В 2018 году, в ходе исследования лепидоптерофаун местной системы ООПТ Ростовской области, на охраняемом ландшафте «Чулеская балка» Мясниковского района был отмечен новый для региона вид чешуекрылых из семейства Nolidae – челночница ореховая (*Garella musculana* Erschov, 1874).
2. *G. musculana* считается одним из наиболее серьезных вредителей плодов и молодых побегов грецкого ореха в странах распространения. Включена в перечень А2 ЕОКЗР и рекомендуется к регулированию в качестве карантинного вредного организма.
3. В Ростовской области *J. regia* представлен достаточно широко. В прошлом выращивался в лесных хозяйствах и питомниках. Точка сбора челночницы расположена в окружении нескольких населенных пунктов на территории которых, вероятно, имеется кормовая база гусениц вредителя. Последующие учеты чешуекрылых в окрестных угодьях не привели к повторному обнаружению вида.
4. Существует вероятность присутствия на территории области одной или нескольких локальных популяций *G. musculana*. Не исключается единичный занос вредителя с саженцами ореха или в результате расселительной миграции из ближайших частей ареала, например, Республики Крым.

5. Краснодарский край и Республика Адыгея могут являться частью ареала челночницы ореховой, что обусловлено наличием широкой кормовой базы на территории субъектов.
6. Основываясь на имеющихся данных, можно сделать вывод о незначительном хозяйственном значении *G. musculana* для локальных посадок грецкого ореха и для лесного хозяйства Ростовской области.
7. С целью установления действительного состояния популяции вредителя в регионе, необходимы дальнейшие мониторинговые исследования. Стоит обращать внимание на высокую вредоносность вида и возможные последствия увеличения его численности в результате закрепления и успешной акклиматизации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны специалисту лаборатории гидробиологии центра аквакультуры Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ», г. Ростов-на-Дону, Россия) Елфимовой Н. С. за фотографии *Garella musculana* и цифровую обработку снимков имаго и препарата гениталий.

Список литературы

1. Полтавский А. Н. Энтомологические рефугиумы и их значение при ведении Красной книги Ростовской области / А. Н. Полтавский, К. С. Артохин. – Ростов-на-Дону: «ИП Кубеш», 2012а. – 184 с.
2. Полтавский А. Н. К фауне разноусых чешуекрылых (Lepidoptera) северных районов Ростовской области / А. Н. Полтавский, Р. В. Романчук // Эверсманния. – 2016. – № 45–46. – С. 29–33.
3. Романчук Р. В. Новые виды чешуекрылых (Insecta: Lepidoptera) для фауны Ростовской области / Р. В. Романчук, Е. И. Симонович // Евразийский энтомологический журнал. – 2019. Том 18, № 5. – С. 327–332. doi: 10.15298/euroasentj.18.5.4
4. Полтавский А. Н. Изучение фауны высших чешуекрылых (Macrolepidoptera) Ростовской области на примере двух фаунистических рефугиумов / А. Н. Полтавский, Ю. Б. Лиман // Методические пособия по энтомологии. – Ростов-на-Дону, 2002. – С. 11–117.
5. Романчук Р. В. Материалы к фауне чешуекрылых (Lepidoptera) Цимлянских песков в Ростовской области (Россия). Сообщение I / Р. В. Романчук, Э. А. Хачиков, С. В. Поушкова // Кавказский энтомологический бюллетень. – 2019. – Том 15, № 2. – С. 381–386. doi: 10.23885/181433262019152-381386
6. Полтавский А. Н. Миграции совков (Lepidoptera, Noctuidae) в Ростовской области в 2005–2006 гг. / А. Н. Полтавский // Эверсманния. – 2007. – № 9. – С. 46–51.
7. Романчук Р. В. Инвазивные виды чешуекрылых (Insecta: Lepidoptera) на юге России / Р. В. Романчук // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления – II»): материалы II Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН. – 2020. – С. 68–72.
8. Абасов М. М. План применения феромонных и цветных ловушек для установления карантинного фитосанитарного состояния подкарантинных объектов на территории Российской Федерации в период 2019–2021 гг. (с дополнениями и изменениями) / М. М. Абасов, В. Л. Пономарев, Н. М. Атанов, Н. П. Кузина, С. А. Еремин, Д. И. Лесных, З. С. Лоева, А. Я. Сапожников. – Москва, 2018. – 115 с.
9. Алимов А. Ф. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / А. Ф. Алимов, Н. Г. Богущкая. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 436 с.
10. Тишков А. А. Биосферные функции природных экосистем России. – Москва: Наука, 2005. – 309 с.

11. Pimentel D. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions / D. Pimentel, S. McNair, J. Janecka, J. Wightman, C. Simmonds, C. O'Connell, E. Wong, L. Russel, J. Zern, T. Aquino, T. Tsomondo // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2001. – № 84. – P. 1–20.
12. Романчук Р. В. Феромониторинг как современный и эффективный способ фитозащиты / Р. В. Романчук, А. М. Жмырко, Л. В. Шишканова // *Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика: материалы II Всероссийской конференции (с международным участием) молодых ученых АПК*. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – С. 85–90. doi: 10.34924/FRARC.2020.1.63889
13. Приказ Минсельхоза России от 26 декабря 2007 г. № 673 «Об утверждении перечня карантинных объектов».
14. European and Mediterranean Plant Protection Organization. URL: <https://www.eppo.int> (дата обращения: 12.03.2021).
15. EPPO Global Database. URL: <https://gd.eppo.int> (дата обращения: 12.03.2021).
16. EPPO A2 List of pests recommended for regulation as quarantine pests. Version 2020-09. URL: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A2_list (дата обращения: 12.03.2021).
17. Багиров Р. Т.-о. Учебная полевая практика по зоологии беспозвоночных: учебно-методическое пособие / Р. Т.-о. Багиров, Ю. В. Максимова, Е. Ю. Субботина, М. В. Щербаков. – Томск, 2019. – 93 с.
18. Козлов М. А. Ваша коллекция (сбор и изготовление зоологических коллекций). Пособие для учащихся / М. А. Козлов, Е. М. Нинбург. – Москва: Изд-во «Просвещение», 1971. – 160 с.
19. Лябзина С. Н. Энтомологическая коллекция: методическое пособие / С. Н. Лябзина, С. Д. Узенбаев. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. – 36 с.
20. Полтавский А. Н. Совкообразные чешуекрылые (Lepidoptera: Noctuoidea) Ростовской области / А. Н. Полтавский. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2016. – 127 с.
21. Аникин В. В. Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России. Издание 2-е / В. В. Аникин, С. В. Барышникова, Е. А. Беляев, Ю. И. Будашкин, Э. Й. Ван Ньюкеркен, О. Г. Горбунов, В. В. Дубатов, К. А. Ефетов, В. В. Золотухин, С. А. Князев, В. Н. Ковтунович, М. В. Козлов, В. С. Кононенко, Ю. А. Ловцова, В. А. Лухтанов, А. Л. Львовский, А. Ю. Матов, В. Г. Миронов, С. В. Недошивина, М. Г. Пономаренко, А. В. Свиридов, С. Ю. Синев, А. В. Соловьев, А. Н. Стрельцов, Т. А. Трофимова, П. Я. Устюжанин, Д. Ф. Шовкун, Р. В. Яковлев. – Санкт-Петербург: Зоологический институт РАН, 2019. – 448 с.
22. Фишкин М. В. Природно-заповедный фонд Тихого Дона / М. В. Фишкин, А. М. Узденов. – Ростов-на-Дону: Изд-во «D&V», 2018. – 304 с.
23. ООПТ России. Чулукская балка // карта. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Чулукская-балка/map> (дата обращения: 04.03.2021).
24. Миноранский В. А. Особо охраняемые природные территории Ростовской области / В. А. Миноранский, О. Н. Демина. – Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «ЦВВР», 2002. – 372 с.
25. Романчук Р. В. Опыт оценки репрезентативности региональной системы особо охраняемых природных территорий Ростовской области в аспекте сохранения разнообразия чешуекрылых (Lepidoptera: Papilionoidea, Noctuoidea) / Р. В. Романчук // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия*. – 2020. – Том 6 (72), № 3. – С. 200–224.
26. EPPO Global Database. *Garella musculana* (ERSHMU). URL: <https://gd.eppo.int/taxon/ERSHMU> (дата обращения: 13.03.2021).
27. Свиридов А. В. Вид совки, новый для фауны Европы и Украины, – ореховая никтеолина (*Erschoviella musculana* Erschov) (Lepidoptera: Noctuidae) / А. В. Свиридов // *Бюл. моск. о-ва испытателей природы. отд. биол.* – 2008. – Том 113, Вып. 1. – С. 60–62.
28. Бидычак Р. М. Новые находки совок (Noctuidae s. l.) в Крыму / Р. М. Бидычак, А. В. Дронов, Р. Хаверинен // *Эверсманния*. – 2011. – Вып. 25–26. – С. 81–86.
29. Fibiger M. Noctuidae Europaеa. Vol. 11. Pantheinae, Dilobinae, Acronictinae, Eustrotiinae, Nolinae, Bagisarinae, Acontiinae, Metoponinae, Heliolithinae and Bryophilinae / M. Fibiger, L. Ronkay, A. Steiner, A. Zilli– Sorø. Entomological press, 2009. – 504 p.
30. Геряк Ю. М. Нові, маловідомі та рідкісні види Noctuoidea (Insecta, Lepidoptera) степової зони України / Ю. М. Геряк, С. О. Дем'яненко, О. В. Жаков, І. В. Ковальов, С. М. Козлов,

- С. В. Коновалов, В. Г. Мушинский, И. Г. Северов // Наук. вісник Ужгород. Ун-ту. Сер. Біологія. – 2012. – Вип. 32. – С. 65–87.
31. Халаим Е. В. Находки новых, редких и малоизвестных бабочек-совок (Lepidoptera, Noctuidae s.l.) в Одесской области Украины / Е. В. Халаим // Наукові записки державного природознавчого музею. – 2013. – Випуск 29. – С.159–166.
32. Yoğurtçu A. Ceviz güvesi *Garella musculana* (Erschov, 1874) (Lepidoptera: Nolidae)'un morfolojik karakterleri, Bartın ilinde yayılış alanları ve zarar oranı / A. Yoğurtçu, G. Kaçar // Türk. entomol. bült. – 2018. – 8 (4). – 101–111. doi: <http://dx.doi.org/10.16969/entotob.564898>
33. Yıldız Y. *Erschoviella musculana* Erschoff, 1874, a new record and a new walnut pest in Turkey / Y. Yıldız, İ. Yıldırım, C. Bostancı, O. Aydoğan // Journal of Bartın Faculty of Forestry. – 2018. – 20(2). – P. 296–302.
34. РГАУ-МСХА. Зооинженерный факультет. Культура ореха грецкого в СССР. URL: <https://www.activestudy.info/kultura-orexa-greckogo-v-sssr> (дата обращения: 15.03.2021).
35. Романчук Р. В. К фауне чешуекрылых (Insecta: Lepidoptera) охраняемого ландшафта «Чулекская балка» Мясниковского района Ростовской области / Р. В. Романчук // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник материалов. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – С. 79–82.
36. Романчук Р. В. К фауне дневных чешуекрылых (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) охраняемого природного объекта «Каменная балка» Мясниковского района Ростовской области / Р. В. Романчук // Биоразнообразие и рациональное использование природных ресурсов: материалы докладов VI Всероссийской научно-практической конференции, с международным участием. – Махачкала: АЛЕФ, 2019. – С. 106–109.
37. Orozumbekov A. Overview of forest pests Kyrgyz Republic / A. Orozumbekov, B. Moore // Forest health and biosecurity working papers. Forest Resources Development Service, Forestry Department, Food and Agriculture Organization of The United Nation. Working paper FBS/21E. – Rome, Italy, 2007. – P. 1–60.
38. Sangov R. Tacikistan ormanlarında önemli lepidopter zararlıları *Sarothrips musculana* Ershov ve *Hyponometa malinellus*'nın ekolojileri ve çevreye dost koruma sistemlerinin geliştirilmesi / R. Sangov // Orman Enstitüsü Doktora Tezi. – Duşanbe, 2015. – 220 s.

REPORT ON THE DETECTION OF *GARELLA MUSCULANA* (ERSCHOV, 1874) (LEPIDOPTERA: NOLIDAE) – A NEW PEST SPECIES FOR THE ROSTOV REGION FROM THE CHULEKSKAYA BALKA SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREA

Romanchuk R. V.^{1,2,3}, Kolesnikov S. I.¹

¹*Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

²*Testing Laboratory of Rostov Branch of FGBU “VNIKR”, Rostov-on-Don, Russia*

³*Rostov Branch of Russian Entomological Society, Rostov-on-Don, Russia*

E-mail: roma.romanchuk.95@bk.ru

The Lepidoptera fauna of the South of Russia and of the Rostov region is in constant dynamics and over the past few decades has undergone certain changes. Against the background of the relatively smooth dynamics of the Lepidoptera fauna we observe invasions of some species and fluctuations in the number of others. Some invading species form small local populations in certain territories, without having any tangible economic significance or causing any harm at all. In such cases, population fluctuations make it very difficult to identify these species, especially during periods of depression. On the contrary,

others species are able to cause serious damage to the national economy by increasing their abundance.

Nowadays, biological invasions and dispersal migrations of dangerous phytophagous pests pose a serious environmental and economic problem, so monitoring and establishing the ways of their spread are important and necessary tools for entomofaunistic research.

For the territory of the Rostov region several species of Lepidoptera are known, which are of great economic importance not only at the regional level, but also on the scale of the South of Russia and the European part of the country. Some of them are quarantine objects that are limited in the territory of Russia and pose a serious phytosanitary risk.

Garella musculana Erschov, 1874 found in the "Chulekskaya Balka" Specially Protected Natural Area of the Myasnikovsky district of the Rostov region. Species included in the list A2 of the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) and is recommended for regulation as a quarantine pest.

The purpose of this work is to indicate and describe a new find of *G. musculana* in the European part of Russia. The tasks included the analysis of the harmfulness, distribution routes and economic significance of the species for the territory of the Rostov region.

G. musculana is considered one of the most serious pests of walnut (*Juglans regia* L.) fruits and young shoots in the countries of distribution. In the Rostov region *J. regia* is widely represented. In the past, it was grown in forest farms and nurseries.

The collection point of the *G. musculana* is located surrounded by several settlements on the territory of which there is probably a food base for the pest caterpillars. Subsequent records of Lepidoptera in the surrounding areas did not lead to the rediscovery of the species.

There is a possibility of the presence of one or more local populations of *G. musculana* on the territory of the region. A single introduction of the pest with nut seedlings or as a result of settlement migration from the nearest parts of the area, for example, the Republic of Crimea, is not excluded. The Krasnodar region and the Republic of Adygea may be part of the range of the nut moth, which is due to the presence of a wide food base on the territory of the subjects.

Based on the available data, we can conclude that the economic significance of *G. musculana* is insignificant for local walnut plantings and for forestry in the Rostov region. In order to establish the actual state of the pest population in the region, further monitoring studies are needed. It is worth paying attention to the high harmfulness of the species and the possible consequences of increasing its population as a result of possible consolidation and successful acclimatization.

Keywords: *Garella musculana*, Lepidoptera pest species, Specially Protected Natural Areas, Protected Landscape, entomological refugiums, Rostov Region, South of Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to the specialist of the Hydrobiology laboratory of the Azov-Black Sea branch of VNIRO ("AzNIIRKH") (Rostov-on-Don, Russia) Nadezhda S. Elfimova for the photos of *Garella musculana* and digital processing of adult and female genitals images.

References

1. Poltavsky A. N., Artokhin K. S. *Entomological refugiums and their significance in the management of the Red List of the Rostov Region*, 184 p (Rostov-on-Don: Kubesh, 2012).
2. Poltavskiy A. N., Romanchuk R. V. To the moths fauna (Lepidoptera) of the northern districts of Rostov-on-Don region, *Eversmannia*, **45–46**, 29 (2016).
3. Romanchuk R. V., Simonovich E. I. New species of Lepidoptera (Insecta: Lepidoptera) for the fauna of the Rostov region, *Eurasian Entomological Journal*, **18 (5)**, 327 (2019). doi: 10.15298/euroasentj.18.5.4.
4. Poltavsky A. N., Liman Yu. B. *Studying the fauna of higher Lepidoptera (Macrolepidoptera) Rostov region on the example of two faunal refugiums. Methodological manuals on entomology*, Rostov-on-Don, 11 (2002).
5. Romanchuk R. V., Khachikov E. A., Pashkova S. V. Materials for the Lepidoptera fauna of the Tsimlyansk Sands in the Rostov region (Russia). Communication I, *Caucasian Entomological Bulletin*, **15 (2)**, 381 (2019). doi: 10.23885/181433262019152-381386
6. Poltavsky A. N. Migrations of Noctuidae (Lepidoptera, Noctuidae) in the Rostov region in 2005–2006, *Eversmannia*, **9**, 46 (2007).
7. Romanchuk R. V. Invasive species of Lepidoptera (Insecta: Lepidoptera) in the South of Russia, *Regularities of formation and impact of marine, atmospheric hazards and disasters on the coastal zone of the Russian Federation in the conditions of global climatic and industrial challenges ("Dangerous phenomena-II"): materials of the II International Scientific Conference in Memory of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences D. G. Matishov*. (Rostov-on-Don: UNC RAS Publishing House, 2020), 68.
8. Abasov M. M., Ponomarev V. L., Atanov N. M., Kuzina N. P., Eremin S. A., Lesnykh D. I., Loeva Z. S., Sapozhnikov A. Ya. *Plan for the use of pheromone and color traps for establishing the quarantine phytosanitary status of quarantined objects in the territory of the Russian Federation in the period 2019–2021 (with additions and changes)*, 115 p (Moscow, 2018).
9. Alimov A. F. Bogutskaya N. G. *Biological invasions in aquatic and terrestrial ecosystems*, 436 p (Moscow: KMK Scientific Press, 2004).
10. Tishkov A. A. *Biosphere functions of natural ecosystems of Russia*, 309 p (Moscow: Nauka, 2005).
11. Pimentel D., McNair S., Janecka J., Wightman J., Simmonds C., O'Connell C., Wong E., Russel L., Zern J., Aquino T., Tsomondo T. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **84**, 1 (2001).
12. Romanchuk R. V., Zhmyrko A. M., Shishkanova L. V. Pheromonitoring as a modern and effective method of phytoprotection, *Actual issues of development of branches of agriculture: theory and practice: proceedings of the II All-Russian Conference (with international participation) of young scientists of the Agro-industrial Complex*. (Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University Press, 2020), 85. doi: 10.34924/FRARC.2020.1.63889
13. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 673 of December 26, 2007 "On approval of the list of quarantine objects".
14. European and Mediterranean Plant Protection Organization. URL: <https://www.eppo.int> (accessed: 12.03.2021).
15. EPPO Global Database. URL: <https://gd.eppo.int> (accessed: 12.03.2021).
16. EPPO A2 List of pests recommended for regulation as quarantine pests. Version 2020-09. URL: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A2_list (accessed: 12.03.2021).
17. Bagirov R. T.-o., Maksimova Yu. V., Subbotina E. Yu., Shcherbakov M. V. *Educational field practice in Invertebrate zoology: an educational and methodological manual*, 93 p (Tomsk, 2019).
18. Kozlov M. A., Ninburg E. M. *Your collection (collection and production of zoological collections): manual for students*, 160 p (Moscow: "Enlightenment" Publishing house, 1971).
19. Lyabzina S. N., Uzenbayev S. D. *Entomological collection: a methodological guide*, 36 p (Petrozavodsk: PetrSU Publishing House, 2008).
20. Poltavsky A. N. *Noctuid moths (Lepidoptera: Noctuoidea) of Rostov Region*, 127 p (Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, 2016).
21. Anikin V. V., Baryshnikova S. V., Beljaev E. A., Budashkin Yu. I., Van Nieuwerkerken E. J., Gorbunov O. G., Dubatolov V. V., Efetov K. A., Zolotuhin V. V., Knyazev S. A., Kovtunovich V. N., Kozlov M. V., Kononenko V. S., Lovtsova Ju. A., Lukhtanov V. A., Lvovsky A. L., Matov A. Yu.,

- Mironov V. G., Nedoshivina S. V., Ponomarenko M. G., Sviridov A. V., Sinev S. Yu., Solovjev A. V., Streltsov A. N., Trofimova T. A., Ustjuzhanin P. Ya., Shovkoon D. F., Yakovlev R. V. *Catalogue of the Lepidoptera of Russia. Edition 2*, 448 с (St. Petersburg: Zoological Institute of RAS, 2019).
22. Fishkin M. V., Uzdеноv A. M. *Nature reserve fund of the Pacific Don*, 304 p (Rostov-on-Don: D&V publishing house, 2018).
 23. Specially Protected Natural Areas of Russia. Chulekskaya balka // map. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Чулекская-балка/map> (accessed: 04.03.2021).
 24. Minoransky V. A., Demina V. A. *Specially Protected Natural Areas of the Rostov region*, 372 p (Rostov-on-Don: LLC "CVVR" Publishing house, 2002).
 25. Romanchuk R. V. Experience in assessing the representativeness of the regional Specially Protected Natural Territories system of Rostov Region in terms of Papilionoidea and Noctuoidea Lepidoptera diversity conservation, *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **6** (72), No. 3, 200 (2020).
 26. EPPO Global Database. *Garella musculana* (ERSHMU). URL: <https://gd.eppo.int/taxon/ERSHMU> (accessed: 13.03.2021).
 27. Sviridov A. V. A species of Noctuidae, new to the fauna of Europe and Ukraine, – nut nycteolin (*Erschoviella musculana* Erschov) (Lepidoptera: Noctuidae), *Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. Biology Department*, **113** (1), 60 (2008).
 28. Bidychak R. M., Dronov A. V., Haverinen R. New finds of Noctuidae (Noctuidae s. l.) in the Crimea, *Eversmannia*, **25–26**, 81 (2011).
 29. Fibiger M., Ronkay L., Steiner A., Zilli– Sorø A. *Noctuidae Europaea. Vol. 11. Pantheinae, Dilobinae, Acronictinae, Eustrotiinae, Nolinae, Bagisarinae, Acontiinae, Metoponinae, Heliothinae and Bryophilinae*, 504 p (Entomological press, 2009).
 30. Geryak Yu. M., Demyanenko S. A., Zhakov O. V., Kovalev I. V., Kozlov S. M., Kononov S. V., Mushinsky V. G., Severov I. G. New, little-known and rare species of Noctuoidea (Insecta, Lepidoptera) of the steppe zone of Ukraine, *Scientific Bulletin of Uzhgorod University. Biology Series*, **32**, 65 (2012).
 31. Khalaim E. V. Finds of new, rare and little-known Noctuidae butterflies (Lepidoptera, Noctuidae s.l.) in the Odessa region of Ukraine, *Scientific Notes of the State Natural History Museum*, **29**, 159 (2013).
 32. Yoğurtçu A., Kaçar G. Morphological characters of the Walnut moth *Garella musculana* (Erschov, 1874) (Lepidoptera: Nolidae), distribution areas and damage rate in Bartın province, *Turk. Entomol. Bult*, **8** (4), 101 (2018). doi: <http://dx.doi.org/10.16969/entoteb.564898>
 33. Yıldız Y., Yıldırım İ., Bostancı C., Aydoğan O. *Erschoviella musculana* Erschoff, 1874, a new record and a new walnut pest in Turkey, *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, **20** (2), 296 (2018).
 34. RGAU-MSHA. Zooengineering Faculty. Culture of walnut in the USSR. URL: <https://www.activestudy.info/kultura-orexa-greckogo-v-sssr> (accessed 15.03.2021).
 35. Romanchuk R. V. To the Lepidoptera fauna (Insecta: Lepidoptera) of the "Chulekskaya Balka" Protected Landscape of the Myasnikovsky district of the Rostov region, *Actual problems of ecology and nature management: collection of materials*. (Rostov-on-Don – Taganrog: Southern Federal University Press, 2018), 79.
 36. Romanchuk R. V. To the diurnal Lepidoptera fauna (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) of the "Kamennaya Balka" Protected Natural Object of the Myasnikovsky district of the Rostov region, *Biodiversity and rational use of natural resources: materials of reports of the VI All-Russian Scientific and practical conference, with international participation*. (Makhachkala: ALEF Publishing, 2019), 106.
 37. Orozumbekov A., Moore B. Overview of forest pests Kyrgyz Republic, *Forest health and biosecurity working papers. Forest Resources Development Service, Forestry Department, Food and Agriculture Organization of The United Nation. Working paper FBS/21E*. (Rome: 2007), 1.
 38. Sangov R. Ecology and development of environmentally friendly conservation systems of important lepidopterous pests *Sarothrips musculana* Ershov and *Hyponomenta malinelusus* in the forests of Tajikistan, *Doctoral Dissertation of The Forest Institute*. (Dushanbe, 2015), 220.

УДК 159.938.3

**К ВОПРОСУ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ
«ВЫБОР СПОСОБА ДЕЙСТВИЯ» В СОСТАВЕ АУДИОМОТОРНОЙ
РЕАКЦИИ «GO/GO»-ТИПА**

Соболев В. И., Попов М. Н.

*Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

В настоящем исследовании у 10 девушек методом ЭМГ-анализа определялось значение показателя «время обнаружения стимула» (*sDT*, stimulus detection time) при выполнении аудиомоторных реакций двух моделей (AMP-1 и AMP-2). В первом случае (AMP-1) реакция на звуковой стимул частотой 2500 Гц и звуковой щелчок осуществлялась двумя альтернативными способами. Во втором случае (AMP-2) испытуемые реагировали на стимулы одинаковым (унифицированным) способом, независимо от характера звукового раздражителя, но лишь после того, как субъективно осознавали характер (отличительные особенности) предъявляемого звукового стимула (звук частотой 2500 Гц или звуковой щелчок). Таким способом в алгоритме выполнения аудиомоторной реакции AMP-2 в отличие от модели AMP-1 исключался компонент «выбор альтернативного способа действия» при сохранении элемента «формирование осознанного ощущения». Выявлено, что значение *sDT* при AMP-1 составляло $275 \pm 2,8$ мс, а при алгоритме AMP-2 соответственно $231 \pm 3,29$ мс, или на 16 % меньше ($-44 \pm 6,03$ мс); величина дисперсии на основании использования двухвыборочного F-теста для дисперсий при модели AMP-2 становилась существенно выше. Сделан вывод о том, что длительность операции «выбор способа действия» в составе аудиомоторной реакции «Go / Go»-типа составляет, по результатам данного исследования, $44 \pm 6,03$ мс.

Ключевые слова: механизмы сенсомоторной реакции, структура аудиомоторной реакции «Go / Go»-типа, длительность операции «выбор способа действия».

ВВЕДЕНИЕ

Исследование структуры психомоторных реакций имеет важное значение для понимания природы перцепции в целом и организации аудиомоторной реакции в частности. Несмотря на обстоятельные экспериментальные исследования в части выявления закономерностей функционирования нейронных сетей в центральной части анализатора [1–6], остается все еще нерешенным вопрос количественной оценки времени формирования отдельных компонентов сенсомоторных реакций. Остается предметом дискуссии даже такой принципиально важный аспект проблемы восприятия, как время формирования осознанного ощущения [2, 6–9].

В психофизиологии принята классификация сенсомоторных реакций, основанная, прежде всего, на степени сложности их выполнения, в частности выделяют простые и сложные сенсомоторные реакции [10, 11]. Последние, в свою очередь, подразделяются на несколько типов, в том числе на так называемую

реакцию выбора (реакция «Go / Go-типа»). В настоящее время предложены многочисленные структурно-функциональные схемы, объясняющие логику выполнения сложных сенсомоторных реакций [10–15]. Прежде всего, выделяют три узловых компонента – процесс формирования осознанного ощущения, принятие решения о способе действия и его моторное исполнение. Естественно, что каждый из названных компонентов обладает большей или меньшей степенью сложности внутренней организации [3, 10, 11, 19]. К сожалению, точное измерение времени выполнения основных структурных составляющих сенсомоторной реакции доступно лишь для моторного компонента [15]. Что касается процесса принятия решения о выборе способа действия при реакции «Go / Go»-типа, то его длительность может быть оценена лишь приближенно.

В настоящем исследовании с помощью психометрического метода предпринята попытка измерения длительности психофизиологической операции «выбор способа действия» при стандартной аудиомоторной реакции «Go / Go»-типа. Отметим, что при выполнении реакции данного типа после предъявления двух разных аудиостимулов испытуемый на один из них должен отвечать одним способом, а на второй – другим. Априори считается, что непременным условием запуска сенсомоторной реакции данного типа является предварительное осознание характера предъявленного стимула. Так, в случае аудиомоторной реакции выполнение операции выбора возможно лишь после опознания и идентификации испытуемым характеристических особенностей аудиостимула, например, как в настоящем исследовании – звука гармонического сигнала частотой 2500 Гц или звукового щелчка. После осознанной идентификации стимула возможен запуск процесса принятия решения о способе действия. Понятно, что чем сложнее выбор, тем больше времени требуется на данную операцию (закон Хика).

В настоящей работе предполагалось, что если каким-либо путем исключить из процесса формирования и реализации аудиомоторной реакции структурный элемент «выбор способа действия» при сохранении компонента «формирование осознанного ощущения», то, измерив латентные периоды двух сенсомоторных реакций (нативной и экспериментальной), можно будет рассчитать время, необходимое для принятия решения о способе действия. Измерение времени данной операции и явилось целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Характеристика контингента испытуемых. Исследования проведены с участием 10 девушек возрастом 18–19 лет ($M = 18,5$, $SD = 0,41$), обучающихся в Институте педагогики, психологии и инклюзивного образования Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.

Процедура исследования и оборудование. Алгоритм эксперимента включал 2 этапа. Вначале (1-й этап, АМР-1) у всех испытуемых измеряли латентный период аудиомоторной реакции сложного выбора «Go/Go»-типа. В ходе теста на один стимул (звук частотой 2500 Гц) испытуемый должен реагировать одним способом, а на другой (звуковой щелчок) – другим способом. Реакция на звуковой стимул частотой 2500 Гц осуществлялась путем быстрого сведения большого (*pollex*) и

указательного (*index*) пальцев кисти, а на звуковой щелчок – большого и среднего (*digitus medius*). Все стимулы чередовались случайным образом при общем количестве 60.

На 2-ом этапе эксперимента латентность реакции измерялась при предъявлении звуковых стимулов частотой 2500 Гц и звукового щелчка (АМР-2, 60 замеров), чередующихся точно по такой же схеме, как и на 1-ом этапе опыта. Однако, что принципиально важно и что отличает 2-й этап от 1-го, все испытуемые реагировали на стимулы одинаковым (унифицированным) способом, независимо от характера звукового раздражителя. В частности, реакция на любой звуковой стимул осуществлялась путем быстрого сведения большого и указательного пальцев кисти. При этом моторная реакция запускалась лишь после того, как испытуемый субъективно осознавал характер (отличительные особенности) предъявляемого звукового стимула (звук частотой 2500 Гц или звуковой щелчок). Другими словами, выполнялось условие: «вначале осознанное ощущение, затем унифицированный ответ».

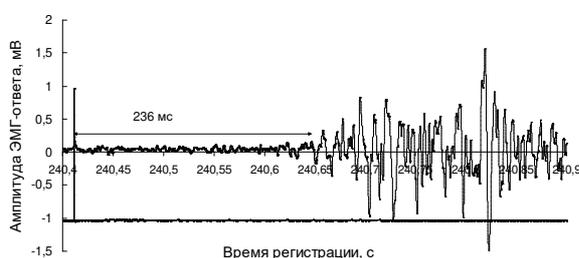


Рис. 1. К вычислению параметра sDT (время обнаружения стимула) методом анализа электромиограммы.

Обозначение: представлены фрагмент записи электромиограммы и отметка предъявления звукового стимула – щелчка; измеренное время sDT составило 236 мс.

самописец (S-Recorder-L, Россия). Цифровой сигнал записывался в виде *alf*-файлов. Достаточно высокая частота семплирования (20 кГц) ЭМГ-сигнала позволила программными методами с высокой точностью измерить латентность аудиомоторной реакции. Регистрация интерференционной электромиограммы проводилась с помощью биполярных ЭМГ-электродов диаметром 10 мм, которые крепились на коже (4 см друг от друга) над мышцами внешней поверхности предплечья.

В ходе опыта правая рука испытуемого с наложенными ЭМГ-электродами свободно свисала вдоль тела, что обеспечивало низкий уровень исходного ЭМГ-тонуса. Реакция на звуковой стимул осуществлялась путем быстрого сведения пальцев кисти по схеме, описанной выше.

Показателем латентного периода аудиомоторной реакции служил параметр, отражающий так называемое «время обнаружения стимула - stimulus detection time, sDT [16]. Численно значение параметра sDT соответствовало отрезку времени от момента предъявления испытуемому сенсорного стимула до момента появления первых ЭМГ-потенциалов (Рис. 1). ЭМГ-биоусилитель был построен на базе инструментального усилителя INA118, а в качестве регистратора использовался многоканальный цифровой

Источником звукового сигнала во всех случаях служили парные головные телефоны. Интенсивность звука устанавливалась на уровне 80 дБ; длительность стимуляции для звука с частотой 2500 Гц составляла 10 мс. Звуковой щелчок формировался с помощью специальной цифровой схемы и характеризовался следующими параметрами: форма сигнала – прямоугольный импульс, длительность 2 мс, интенсивность 80 дБ.

При выборе параметров звуковых стимулов придерживались принципа: каждый стимул должен возможно больше отличаться от другого. Это существенно облегчало процесс распознавания стимулов при формировании осознанного ощущения. Интервал времени между предъявлением каждого отдельного стимула случайным образом колебался в диапазоне 2–4 с.

При статистической обработке данных использовали пакеты прикладных программ Excel и SPSS Statistics 17.0. Вариационный ряд строился путем суммирования индивидуальных вариационных рядов всех испытуемых при строгом соблюдении условия: число вариантов, вносимых в сводный вариационный ряд, для каждого испытуемого было одинаковым. Такой подход позволил сохранить в объединенных рядах весь спектр значений индивидуальных эмпирических реакций, что улучшает репрезентативность показателя латентности аудиомоторной реакции. Статистическую значимость различий между двумя средними арифметическими величинами определяли с помощью двухвыборочного t-теста Стьюдента для выборок с различными дисперсиями при заданном уровне значимости $p < 0,05$. При оценке различий между двумя множествами применяли также двухвыборочный F-тест для дисперсий. Во всех случаях сравнение анализируемых показателей и статистическая оценка различий проводили на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерения параметра «время обнаружения стимула, sDT » при выполнении испытуемыми двух разновидностей сложной аудиомоторной реакции «Go / Go»-типа представлены в таблице. Так, латентный период АМР-1, по нашим данным, составил $275 \pm 2,80$ мс при дисперсии выборки 4717. Приведенное значение совпадает с данными других авторов [18, 19].

Изменение задачи выполнения сенсорной реакции (серия опытов АМР-2, таблица) привело к ряду изменений со стороны параметров исследуемого аудиомоторного ответа. Следует напомнить, что изменение алгоритма выполнения АМР-2 касалось двух аспектов: в качестве обязательного условия запуска моторного ответа предусматривалось предварительное формирование у испытуемого осознанного ощущения характера стимула (звука частотой 2500 Гц или звукового щелчка) и однотипный способ моторного ответа (сведение вместе большого и указательного пальцев). Выяснилось, что величина sDT -показателя при выполнении АМР-2 составила $231 \pm 3,29$ мс, что было на 16% меньше ($-44 \pm 6,03$, $p < 0,01$), чем при стандартной реакции АМР-1.

Следовательно, исключение из алгоритма выполнения аудиомоторной реакции компонента «выбор способа действия» при сохранении элемента «формирование

осознанного ощущения» физиологически значимо (16 %) укорачивало латентный период сенсомоторной реакции.

Сравнительный анализ вариабельности выполнения АМР-1 и АМР-2 показал, что величина дисперсии при реакции АМР-2 становилась существенно выше, о чем свидетельствует двухвыборочный F-тест для дисперсий.

Таблица

**Значение показателя «время обнаружения стимула»
(stimulus detection time - *sDT*, мс) при выполнении аудиомоторной реакции
в разных условиях эксперимента**

Тип аудиомоторной реакции	Условия опыта и аудиостимуляции	Статистические параметры		
		Средняя величина и стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Дисперсия и число замеров
АМР-1	Чередующиеся стимулы: «Звук 2500 Гц / Звуковой щелчок». Запуск реакции двумя альтернативными способами	275±2,80	68,9	4717 n = 600
АМР-2	Запуск реакции единым унифицированным способом после предварительного осознания характера чередующихся звуковых стимулов («Звук 2500 Гц» или «Звуковой щелчок»)	231±3,22	78,9	6225 n = 600
Разница (АМР-2 - АМР-1)		-44±6,03 -16% p < 0,01	-	p < 0,01

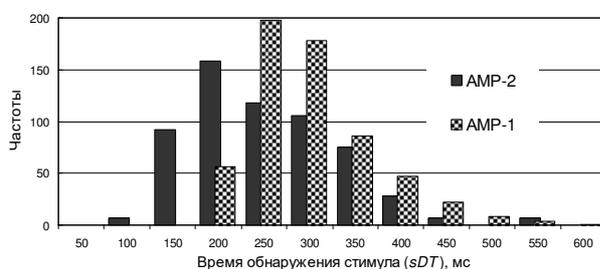


Рис. 2. Характер распределения данных в вариационных рядах.

Примечание: АМР-1 и АМР-2 – разновидности моделей исследуемых аудиомоторных реакций.

Этот факт свидетельствует, что в данном вариационном ряду присутствует большее число вариантов, отражающих более быстрый сенсомоторный ответ и, наоборот – меньшее число более медленных реакций. Это подтверждается, в частности, результатами сравнительного анализа

Факт различия дисперсий в исследуемых вариационных рядах позволяет предполагать, что в данном случае мы имеем дело с двумя независимыми выборками (p<0,01). В таком случае должен отличаться и характер распределения частот встречаемости вариантов. Действительно, гистограмма частот распределения данных в случае АМР-2 смещена по оси абсцисс влево в сторону

средних арифметических значений sDT в первом и последнем квартилях. Так, для АМР-1 и АМР-2 среднее значение sDT -показателя (1 квартиль) составило соответственно $204 \pm 1,19$ и $142 \pm 1,33$ мс ($p < 0,01$), а в последнем (4-й квартиль), соответственно, $275 \pm 5,3$ и $235 \pm 6,6$ мс ($p < 0,01$). Выявлены существенные различия и в величинах моды. Так, в случае АМР-1 значение данного статистического параметра составляло 256 мс, а при АМР-2 соответственно 195 мс, т.е. на 61 мс меньше.

Установленная зависимость параметра «время обнаружения стимула» от факта присутствия/отсутствия в структуре аудиомоторной реакции «Go / Go»-типа операции «выбор способа действия» позволяет обсуждать вопрос о психофизиологических механизмах реализации аудиомоторной реакции исследуемого типа. Известно, что при сложных сенсомоторных реакциях, требующих избирательного реагирования на различные стимулы различающихся по цвету, частотным характеристикам звукового раздражителя, размеру, форме и другим признакам, инициация сенсомоторного ответа осуществляется лишь после формирования соответствующего осознанного сенсорного ощущения. Именно с этим связывают эффект удлинения латентного периода в сравнении с простой психомоторной реакцией при выполнении аудиомоторной реакции выбора.

В настоящее время предложены многочисленные структурно-функциональные схемы, объясняющие логику выполнения сложных сенсомоторных реакций [1, 3, 6, 10–12, 19]. Прежде всего, выделяют три узловых компонента: процесс формирования осознанного ощущения, принятие решения с последующим выбором способа действия и его моторное исполнение. В нашем случае, время моторного исполнения АМР было существенно сокращено за счет исключения из расчетов фазы собственно двигательного акта, так как измерялось лишь время, необходимое для достижения потенциалов действия, как элементов моторной программы, мышечных волокон (время обнаружения стимула, sDT).

Как показали результаты исследований, при стандартной (нативной) АМР-1 в случае необходимости принятия решения о выборе одного из двух способов действия (в нашем случае, при звуке частотой 2500 Гц – сведение большого и указательного пальцев кисти, а на звуковой щелчок – большого и среднего пальцев) значение sDT -показателя было на $44 \pm 6,03$ мс (16 %) больше, чем при АМР-2, когда выбор способа действия на оба аудиостимула не требовался, так как реакция всегда осуществлялась одним и тем же способом (сведение большого и указательного пальцев кисти). Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что длительность операции «выбор способа действия» при выполнении аудиомоторной реакции «Go / Go»-типа находится в пределах 44 мс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем исследовании у 10 девушек методом ЭМГ-анализа определялось значение показателя «время обнаружения стимула» (sDT , stimulus detection time) при выполнении аудиомоторных реакций двух моделей (АМР-1 и АМР-2). В первом случае (АМР-1) реакция на звуковой стимул частотой 2500 Гц и звуковой щелчок осуществлялась двумя альтернативными способами. Во втором случае (АМР-2)

испытуемые реагировали на стимулы одинаковым (унифицированным) способом, независимо от характера звукового раздражителя, но лишь после того, как субъективно осознавали характер (отличительные особенности) предъявляемого звукового стимула (звук частотой 2500 Гц или звуковой щелчок). Таким способом в алгоритме выполнения аудиомоторной реакции АМР-2 в отличие от модели АМР-1 исключался компонент «выбор альтернативного способа действия» при сохранении элемента «формирование осознанного ощущения».

Выявлено, что значение sDT при АМР-1 составляло $275 \pm 2,8$ мс, а при алгоритме АМР-2 соответственно $231 \pm 3,29$ мс, или на 16 % меньше ($-44 \pm 6,03$ мс); величина дисперсии на основании использования двухвыборочного F-теста для дисперсий при модели АМР-2 становилась существенно выше.

Сделан вывод о том, что длительность операции «выбор способа действия» в составе аудиомоторной реакции «Go / No-go»-типа составляет, по результатам данного исследования, $44 \pm 6,03$ мс.

Список литературы

1. Иваницкий А. М. Мозговая основа субъективных переживаний: гипотеза информационного синтеза / А. М. Иваницкий // Журнал высшей нервной деятельности. – 1996. – Т. 46, № 2. – С. 241–252.
2. Иваницкий А. М. Информационные процессы мозга и психическая деятельность / А. М. Иваницкий, В. Б. Стрелец, И. А. Корсаков. – М.: Наука, 1984. – 190 с.
3. Соболев В. И. Независимость простой зрительно-моторной реакции от предсознательной компоненты ощущения при обратной маскировке двухцветными стимулами / В. И. Соболев // Экспериментальная психология. – 2020. – Том 13, № 2. – С. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2020130201>
4. Heathcote A. Linear deterministic accumulator models of simple choice / A. Heathcote, Jonathon Love // Front. Psychol. – 2012. – 23 August.
5. Edelman G. M. Universe of Consciousness / G. M. Edelman, G. A. Tononi. – N. Y.: Basic Books, 2000. – 274 p.
6. Сергин В. Я. Авто-отождествление паттернов нейронной активности как физиологический механизм осознания / В. Я. Сергин // Журнал высшей нервной деятельности. – 2016. – Т. 66, № 3. – С. 259–278.
7. Шиффман Х. Р. Ощущение и восприятие. 5-е изд / Х. Р. Шиффман. – СПб.: Питер, 2003. – 928 с.
8. Crick Francis The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul / Francis Crick. – New York: Charles Scribner's Sons. – 1994. – 317 pp.
9. Костандов Э. А. Психофизиология сознания и бессознательного / Э. А. Костандов – СПб.: Питер, 2014. – 167 с.
10. Нехорошкова А. Н. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (Обзор) / А. Н. Нехорошкова, А. В. Грибанов, И. С. Депутат // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2015. – № 1. – С. 38–48.
11. Шутова С. В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС / С. В. Шутова, И. В. Муравьева // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18, Вып. 5. – С. 2831–2840.
12. Соболев В. И. Феномен независимости времени зрительно-моторной реакции простого выбора (модель «Go / No-go») от числа и модальности дифференцировочных тормозных стимулов / В. И. Соболев, М. Н. Попов, В. В. Труш // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2019. – Том 5 (71), № 3. – С. 95–109.
13. Иваницкий А. М. Наука о мозге на пути к решению проблемы сознания / А. М. Иваницкий // Вестник РАН. – 2010. – Т. 80, № 5, 6. – С. 447–455.
14. Сергин В. Я. Системная организация восприятия / В. Я. Сергин, Г. Г. Ябанжи // Вестник ДВО РАН. – 2004. – № 3. – С. 127–138.

15. Соболев В. И. Характеристика латентных периодов и параметров variability составных элементов простой зрительно-моторной реакции (электромиографическое исследование) / В. И. Соболев // Физиология человека. – 2020. – Т. 46, № 4. – С. 30–43.
16. Woods David L. Factors influencing the latency of simple reaction time / David L. Woods, John M. Wyma, E. William Yund [et al.] // Front. Hum. Neurosci. – 2015. – 26 March.
17. Айдаркин Е. К. Исследование особенностей взаимодействия зрительной и слуховой систем / Е. К. Айдаркин // Валеология. – 2006. – № 3. – С. 82–93.
18. Романенко В. А. Психофизиологический базис успешности обучения студенток / В. А. Романенко, Д. А. Кочура // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2016. – № 4. – С. 116–122.
19. Anderson M. Reaction time measures of speed processing: Speed of response selection increases with age but speed of stimulus categorization does not / M. Anderson, T. Nettelbeck, J. Barlow // British J. of Developmental Psychology. – 1977. – V. 15. – P. 145–157.

TO THE QUESTION OF MEASURING THE TIME OF EXECUTION OF THE OPERATION "SELECTING THE METHOD OF ACTION" AS A COMPOSITION OF THE "GO / GO" -TYPE AUDIOMOTOR REACTION

Sobolev V. I., Popov M. N.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

It was assumed in the work that if we exclude the structural element “choice of the mode of action” from the process of realization of the audiomotor reaction, then by measuring the latent periods of two sensorimotor reactions (native and experimental), it is possible to calculate the time required to make a decision on the mode of action. Measuring the time of this operation was the purpose of this work. In the present study, the value of the “stimulus detection time” (sDT) indicator was determined by the EMG analysis method in 10 girls when performing audiomotor reactions of two models (AMR-1 and AMR-2). In the first case (AMR-1), the response to a sound stimulus with a frequency of 2500 Hz and a sound click was carried out in two alternative mode.

In the second case (AMR-2), the subjects reacted to stimuli in the same (unified) way, regardless of the nature of the sound stimulus, but only after they subjectively realized the nature (distinctive features) of the presented sound stimulus (sound with a frequency of 2500 Hz or a sound click). In this way, in the algorithm for performing the AMR-2 audiomotor reaction, in contrast to the AMR-1 model, the component “choice of an alternative method of action” was excluded, while the element “formation of conscious sensation” was preserved.

It was revealed that the sDT value with AMR-1 was $275 \pm 2,8$ ms, and with the AMP-2 algorithm, respectively, $231 \pm 3,29$ ms, or 16 % less ($-44 \pm 6,03$ ms); the value of variance based on the use of the two-sample F-test for variances in the AMP-2 model became significantly higher.

It is concluded that the duration of the operation "choice of the mode of action" as part of the audiomotor reaction "Go / Go"-type is, according to the results of this study, $44 \pm 6,03$ ms.

Keywords: mechanisms of sensorimotor reaction, structure of the audiomotor reaction "Go / Go" -type, time of the operation "choice of mode of action".

References

1. Ivanickij A. M. Mozgovaya osnova sub"ektivnyh perezhivaniy: gipoteza informacionnogo sinteza. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti*, **46** (2), 241 (1966).
2. Ivanitskij A. M., Strelets V. B., Korsakov I. A. *Informatsionnye protsessy mozga i psikhicheskaia deyatel'nost*, (1984).
3. Sobolev V. I. The Independence of a Simple Visual-Motor Reaction from the Preconscious Component of Sensation during Backward Masking by Two-Color Stimuli. *Experimental Psychology (Russia)*, **13**(2), 4 (2020).
4. Heathcote A., Love Jonathon. Linear deterministic accumulator models of simple choice, *Front. Psychol.* 23 August (2012).
5. Edelman G. M., Tononi G. A. *Universe of Consciousness*, (2000).
6. Sergin V. YA. Avto-otozhdestvlenie patternov nejronnoj aktivnosti kak fiziologicheskij mekhanizm osoznaniya. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti*, **3**, 259 (2016).
7. Shiffman KH. R. *Oshhushhenie i vospriyatie*, (2003).
8. *Crick Francis The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. New York: *Charles Scribner's Sons*, (1994).
9. Kostandov E. A. *Psikhoфизиология сознания и бессознательного*, (2014).
10. Nekhoroshkova A. N., Griбанov A. V., Deputat I. S. Sensomotornye reakcii v psihofiziologicheskikh issledovaniyah (Obzor). *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki*, **1**, 38 (2015).
11. Shutova S. V., Murav'eva I. V. Sensomotornye reakcii kak harakteristika funkcional'nogo sostoyaniya CNS. *Vestnik TGU*, **13** (5), 2831 (2013).
12. Sobolev V. I., Popov M. N., Trush V. V. The independence of the latent period of a complex visual-motor reaction ("GO / NO-GO"-model) from the number and modality of differentiating inhibitory stimulus. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya, Himiya*, **5**(71), 95 (2019).
13. Ivanitskij A. M. Nauka o mozge na puti k resheniyu problemy soznaniya. *Vestnik RAN*, **80**(5–6), 447 (2010).
14. Sergin V. Ya., Iabangi G. G. The systemic organization of perception. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*, **3**, 127 (2004).
15. Sobolev V. I. Characteristics, *Human Physiology*, **46**(4), 373 (2020).
16. Woods David L., Wyma John M., Yund E. William, Herron Timothy J., Reed B. Factors influencing the latency of simple reaction time. *Front. Hum. Neurosci.*, 26 March (2015).
17. Ajdarkin E. K. Issledovanie osobennostej vzaimodejstviya zritel'noj i sluhovoj sistem. *Valeologiya*, **3**, 82 (2006).
18. Romanenko V. A., Kochura D. A. Psihofiziologicheskij bazis uspešnosti obucheniya studentok. *Vestnik Doneckogo nacional'nogo universiteta. Ser. A: Estestvennye*, **4**, 116 (2016).
19. Anderson M., Anderson M., Nettelbeck T., Barlow J. Reaction time measures of speed processing: Speed of response selection increases with age but speed of stimulus categorization does not. *British J. of Developmental Psychology*, **15**, 145 (1977).

УДК 547.913: 634.334: 364.044.6: 612.821.2: 599.89: 581.135.51

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-2-167-178

ВЛИЯНИЕ ЭФИРНОГО МАСЛА ИССОПА ЛЕКАРСТВЕННОГО НА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И УМСТВЕННУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ

***Тонковцева В. В., Ярош А. М., Батура И. А., Наговская Е.-Е. В., Коваль Е. С.,
Боркута М. А., Григорьев П. Е.***

***Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного
Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта,
Республика Крым, Россия
E-mail: valyalta@rambler.ru***

В статье приведены данные о влиянии на психоэмоциональное состояние и умственную работоспособность 280 женщин пожилого и старческого возраста сеансов психорелаксации и ароматопсихорелаксации (длительность 10, 20 и 30 минут) с эфирным маслом иссопа лекарственного (концентрация 1,0 мг/м³). Показано, что респираторное воздействие эфирным маслом иссопа лекарственного (экспозиция 10, 20 или 30 минут) при его концентрации в воздухе 1 мг/м³ вызывает существенное улучшение психоэмоционального состояния пожилых людей (оценка по госпитальной шкале тревоги и депрессии и по методике самооценки состояния Дембо-Рубинштейн в нашей модификации), но практически не влияет на умственную работоспособность при простой (корректирующая проба) и сложной (распознавание слов с пропущенными буквами) умственной работе.

Ключевые слова: пожилые люди, ароматопсихорелаксация, эфирное масло, иссоп лекарственный, психоэмоциональное состояние, умственная работоспособность.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальным постарением населения характеризуется современная демографическая ситуация в мире и нашей стране [1]. У лиц старшего возраста наблюдаются разнообразные нарушения в психоэмоциональной и ментальной сферах, а также снижение умственной активности [2, 3]. Однако в современных исследованиях выявлено, что возможно сохранение интеллектуального уровня у пожилых людей при регулярной физической активности, социального взаимодействия, позитивной адаптации личности [4].

Одним из средств коррекции нарушений психоэмоциональной и ментальной сферы у лиц пожилого возраста могут быть экстракты из лекарственных растений, в том числе их эфирные масла (ЭМ) [5]. ЭМ иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis L.*) в эксперименте на лабораторных животных показало седативное [6], стресс лимитирующее действие, улучшение памяти и обучаемости в условиях стресса [7]. Водные экстракты иссопа, содержащие пинокамфолы, замедляют

развитие припадков, индуцированных у крыс пентилентетразолом [8]. В то же время, в плане применения для коррекции состояния нервной системы у человека ЭМ иссопа остается недостаточно изученным [9].

Целью данной работы стало изучение действия эфирного масла иссопа лекарственного на психоэмоциональное состояние и умственную работоспособность людей пожилого и старческого возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование влияния эфирного масла иссопа лекарственного на психоэмоциональное состояние и умственную работоспособность проведены у 280 женщин в возрасте от 60 до 85 лет.

Испытуемые были случайным образом распределены в контрольные и опытные группы и в подгруппы по времени воздействия (рандомизированное исследование). Испытуемым контрольных групп проводили сеанс релаксационной психотерапии длительностью 10, 20 или 30 минут, который представлял собой прослушивание стандартной аудиозаписи соответствующей длительности с голосом диктора, читающего текст аутогенной тренировки, и музыкальным фоном. В опытных группах сеансы психотерапии той же длительности сочетали с сеансами ароматерапии эфирным маслом иссопа лекарственного.

Все испытуемые были проинформированы о цели и методике исследований и согласились на участие в них на основе подписанного информированного согласия, утвержденного Этическим комитетом ФГБУН «НБС-ННЦ РАН». Предварительно всем участникам опытных групп выполняли накожную и обонятельную пробы с изучаемым эфирным маслом. Признаков непереносимости изучаемых ЭМ ни в одном случае не наблюдалось, восприятие аромата было нейтральным или положительным.

Во время исследования испытуемые находились в затемненных кабинетах в состоянии покоя в положении сидя, группами по 10–12 человек. Участникам контрольных групп включали психорелаксационную аудиозапись продолжительностью 10, 20 или 30 минут. Экспериментальным группам на протяжении 10, 20 или 30 минут в помещении распыляли эфирное масло иссопа лекарственного в концентрации 1 мг/м^3 и параллельно включали психорелаксационную аудиозапись. Как показали проведенные нами ранее исследования, к 40-й минуте после испарения ЭМ его концентрация в воздухе сохраняется на уровне 80–90 % от исходной, т.е. весь период воздействия концентрация ЭМ в воздухе практически не изменялась [10].

Для оценки изменения параметров, характеризующих умственную работоспособность, использованы: методика исследования быстроты мышления и подвижности нервных процессов при сложной умственной работе (тест пропущенных букв), позволяющая определить темп выполнения ориентировочных и операциональных компонентов мышления, где показателем быстроты мышления и одновременно показателем подвижности нервных процессов выступает количество правильно выполненных заданий, заключающихся во вставке в слова пропущенных букв [11].

Для изучения влияния эфирных масел на подвижность и устойчивость психомоторных процессов при простой умственной работе использовали тест «Корректирующая проба», а именно – корректирующие таблицы А.Г.Иванова-Смоленского. Модификация методики корректирующей пробы, таблица Иванова-Смоленского применяются для оценки внимания, утомляемости, темпа психомоторной деятельности, работоспособности и устойчивости к монотонной деятельности, требующей постоянного сосредоточения внимания [12, 13].

Для оценки изменения параметров, характеризующих психоэмоциональное состояние испытуемых, использованы Госпитальная шкала тревоги и депрессии [14] и тест самооценки состояния по методике Дембо-Рубинштейн в нашей модификации [15].

Полученные данные подвергали статистической обработке [16]. Для проверки рядов данных на нормальность статистического распределения использовали критерий Шапиро-Уилка; для проверки однородности дисперсий – критерий Левена. Для сопоставления результатов связанных и несвязанных выборок применяли t-критерий Стьюдента с помощью программы Statistika Analystsoft [17]. При этом использовали критерий Стьюдента для связанных выборок при оценке статистической значимости сдвига уровня признака до и после воздействия, и критерий Стьюдента для независимых выборок при оценке статистической значимости различий средних арифметических в опытной и контрольной группах. Описательная статистика в таблицах представлена в виде среднего арифметического и стандартной ошибки.

Компонентный состав ЭМ определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии с использованием аппаратно-программного комплекса на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2», оснащённого масс-спектрометрическим детектором. Основные компоненты (доля более 1 %) использованного в исследованиях эфирного масла иссопа лекарственного: изопинокамфон – 36,12 %, транс-3-пинанон (пинокамфон) – 25,59 %, D-лимонен – 10,18 %, β-пинен – 8,79%, миртенилметилловый эфир – 1,80, метилхалвicol – 1,61 %, p-цимен – 1,41 %, β-феландрен – 1,14 %, β-боурбонен – 1,48 %, линалоол – 1,24 %, миртенол – 1,21 %, α-пинен – 1,21 %. Доля каждого из остальных компонентов составляла менее 1 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходно значения показателей, характеризующих уровень тревоги и депрессии в контроле и в опыте, не имели статистически значимых различий (табл. 1). Психорелаксация (контроль) всех изученных длительностей (10, 20 и 30 минут) не привела к статистически значимым изменениям значений показателей тревоги и депрессии. Ароматпсихорелаксация (опыт) длительностью 10, 20 и 30 минут сопровождалась статистически значимым уменьшением значения показателя уровня тревоги, 20 минут – уровня депрессии (табл. 1).

Таблица 1

Оценка статистической значимости различий показателей тревоги и депрессии, оцененной с применением Госпитальной шкалы тревоги и депрессии, до и после воздействия эфирного масла иссопа лекарственного (10, 20 и 30 мин экспозиции)

Шкала	Время воздействия, минут	Группа	n	Исходно	После	Р до/после	Р о/к после
Тревога, усл.ед.	10	контроль	40	7,51±0,41	7,22±0,47	>0,1	<0,1
		опыт	40	7,55±0,53	5,90±0,59	<0,001	
	20	контроль	50	6,62±0,52	6,36±0,50	>0,1	>0,1
		опыт	50	6,54±0,45	5,60±0,48	<0,002	
	30	контроль	45	6,56±0,5	6,76±0,37	>0,1	>0,1
		опыт	45	6,64±0,59	5,71±0,57	<0,01	
Депрессия, усл.ед.	10	контроль	40	7,09±0,37	6,76±0,43	>0,1	>0,1
		опыт	40	7,20±0,49	6,50±0,51	>0,1	
	20	контроль	50	6,54±0,48	6,46±0,53	>0,1	>0,1
		опыт	50	6,50±0,48	5,58±0,51	<0,003	
	30	контроль	45	6,02±0,32	6,18±0,34	>0,1	>0,1
		опыт	45	6,16±0,49	5,71±0,50	>0,1	

Примечания: р – уровень статистической значимости различий данных до и после сеанса, р_{о/к} – уровень статистической различий данных контрольной и опытной групп (р < 0,05)

Из табл. 2 видно, что воздействие ЭМ иссопа лекарственного совместно с сеансом релаксации различной продолжительности способствовало достоверным изменениям субъективной самооценки согласно результатам теста исследования самооценки по методике Дембо-Рубинштейн в модификации В. В. Тонковцевой, А. М. Яроша.

Исходно значения показателей, характеризующих общее состояние, самочувствие, настроение и соотношение в паре психическая напряженность/расслабленность в контроле и в опыте не имели достоверных различий (табл. 2). Психорелаксация (контроль) всех изученных длительностей (10, 20 и 30 минут) не привела к достоверным изменениям значений всех, указанных выше показателей. Аромапсихорелаксация (опыт) длительностью 10, 20 и 30 минут сопровождалась достоверным увеличением значений показателей, характеризующих общее состояние, самочувствие, настроение и соотношение в паре психическая напряженность/расслабленность. При этом в большинстве случаев наблюдалась тенденция к статистической значимости различий (р<0,1) конечных значений показателей в контроле и в опыте (табл. 2).

Таблица 2

Оценка статистической значимости различий показателей общего состояния, оцененной по методике Дембо-Рубинштейн в модификации В. В. Тонковцевой, А. М. Яроша, до и после воздействия эфирного масла иссопа лекарственного у пожилых людей (10, 20 и 30 мин экспозиции)

Показатель	Время воздействия, минут	Группа	n	Исходно	После	Р до/после	Р о/к после
Общее состояние	10	контроль	45	137,67±3,92	139,84±3,85	>0,1	<0,1
		опыт	45	137,27±4,45	149,67±4,29	<0,00002	
	20	контроль	40	138,43±4,21	138,75±4,82	>0,1	>0,1
		опыт	40	138,18±4,57	147,00±4,59	<0,002	
	30	контроль	40	134,25±3,07	136,13±4,34	>0,1	<0,1
		опыт	40	132,95±5,38	148,13±4,75	<0,0001	
Само-чувствие	10	контроль	45	136,71±3,77	138,71±4,17	>0,1	<0,1
		опыт	45	137,04±4,41	149,27±4,20	<0,00001	
	20	контроль	40	138,20±4,37	139,23±4,91	>0,1	>0,1
		опыт	40	137,48±4,65	148,15±4,73	<0,0004	
	30	контроль	40	133,75±3,17	137,15±4,71	>0,1	<0,1
		опыт	40	134,78±5,24	148,28±4,62	<0,0003	
Настрое-ние	10	контроль	45	137,71±3,71	139,07±4,28	>0,1	<0,1
		опыт	45	138,69±4,60	149,44±4,25	<0,0002	
	20	контроль	40	141,55±4,56	140,03±4,95	>0,1	>0,1
		опыт	40	141,30±4,63	150,08±4,64	<0,0001	
	30	контроль	40	135,30±2,96	139,58±4,27	>0,1	<0,1
		опыт	40	136,68±5,38	150,30±4,68	<0,001	
Напря-женность – расслаб-ленность	10	контроль	45	135,09±4,04	136,24±4,73	>0,1	<0,1
		опыт	45	136,22±4,37	147,42±4,17	<0,0002	
	20	контроль	40	137,20±4,40	138,33±4,91	>0,1	<0,1
		опыт	40	136,45±4,28	149,98±4,49	<0,00004	
	30	контроль	40	129,18±3,35	135,85±3,86	>0,1	>0,1
		опыт	40	128,38±5,95	142,43±5,56	<0,004	

Примечания: р – уровень статистической значимости различий данных до и после сеанса, р_{о/к} – уровень статистической различий данных контрольной и опытной групп (р < 0,05)

Исходные значения показателей, характеризующих субъективную оценку работоспособности, бодрости и внимательности в контроле и в опыте не имели достоверных различий (табл. 3). Психорелаксация (контроль) всех изученных

длительностей (10, 20 и 30 минут) не привела к достоверным изменениям значений всех, указанных выше показателей (табл. 3).

Таблица 3
Оценка статистической значимости различий показателей самооценки тонуса, оцененной по методике Дембо-Рубинштейн в модификации В. В. Тонковцева, А. М. Ярош, до и после воздействия эфирного масла иссопа лекарственного у пожилых людей (10, 20 и 30 мин экспозиции)

Показатель	Время воздействия, минут	Группа	n	Исходно	После	Р до/после	Р о/к после
Разбитость – работоспособность	10	контроль	45	135,84±3,86	136,36±4,95	>0,1	<0,1
		опыт	45	137,44±4,65	148,73±4,03	<0,001	
	20	контроль	40	138,18±4,49	137,53±4,73	>0,1	>0,1
		опыт	40	138,48±4,77	146,48±4,90	<0,001	
	30	контроль	40	128,50±4,14	131,73±4,29	>0,1	>0,1
		опыт	40	128,03±5,25	141,60±5,02	<0,001	
Вялость – бодрость	10	контроль	45	137,09±4,11	140,71±4,58	>0,1	>0,1
		опыт	45	136,04±4,56	147,04±3,97	<0,003	
	20	контроль	40	139,13±4,64	138,50±4,89	>0,1	<0,1
		опыт	40	138,70±4,53	149,83±4,70	<0,0002	
	30	контроль	40	133,25±3,39	134,15±3,76	>0,1	<0,05
		опыт	40	132,20±5,35	148,23±4,53	<0,0001	
Рассеянность – внимательность	10	контроль	45	137,58±4,26	138,49±5,37	>0,1	>0,1
		опыт	45	136,78±4,44	148,04±4,28	<0,0003	
	20	контроль	40	138,90±4,19	137,23±5,01	>0,1	>0,1
		опыт	40	138,83±4,41	148,35±4,47	<0,001	
	30	контроль	40	131,05±3,39	133,35±3,86	>0,1	<0,1
		опыт	40	130,75±5,11	144,45±4,50	<0,001	

Примечания: р – уровень статистической значимости различий данных до и после сеанса, р_{о/к} – уровень статистической различий данных контрольной и опытной групп (р < 0,05)

Аромапсихорелаксация (опыт) длительностью 10, 20 и 30 минут сопровождалась статистически значимым увеличением значений показателей, характеризующих субъективную оценку работоспособности, бодрости и внимательности (табл. 3). При этом после 30-минутного аромасеанса оценка бодрости была достоверно выше, чем после психорелаксации той же длительности, а после 20-минутной – на уровне тенденции (р < 0,1). Тенденция к различию

конечных значений показателей в контроле и в опыте наблюдалась также после 10-минутных сеансов относительно работоспособности и после 30-минутных – относительно внимательности (табл. 3).

В табл. 4 приведены результаты оценки статистической значимости различий показателей быстроты мышления, оцененной с применением методики исследования быстроты мышления [10] до и после сеанса аромаспсихорелаксации с использованием эфирного масла иссопа лекарственного (10, 20 и 30 мин экспозиции).

Таблица 4

Оценка статистической значимости различий показателей быстроты мышления пожилых людей, оцененной с применением теста восстановления пропущенных букв, до и после сеанса с использованием эфирного масла иссопа лекарственного (10, 20 и 30 мин экспозиции)

Показатель	Время воздействия, минут	Группа	n	Исходно	После	Р до/после	Р о/к после
Количество слов, шт	10	контроль	45	29,42±0,97	28,33±1,22	>0,1	>0,1
		опыт	45	28,76±1,11	28,87±1,08	>0,1	
	20	контроль	45	30,96±0,75	30,78±0,83	>0,1	>0,1
		опыт	45	30,56±1,22	28,60±1,29	<0,001	
	30	контроль	40	28,13±0,80	27,30±0,97	>0,1	<0,1
		опыт	40	28,15±1,26	30,35±1,31	<0,002	
Количество ошибок, шт	10	контроль	45	1,53±0,16	1,29±0,19	>0,1	>0,1
		опыт	45	1,44±0,16	1,20±0,23	>0,1	
	20	контроль	45	1,56±0,25	1,76±0,25	>0,1	>0,1
		опыт	45	1,53±0,20	2,31±0,22	<0,003	
	30	контроль	40	1,45±0,14	1,65±0,24	>0,1	>0,1
		опыт	40	1,51±0,27	1,19±0,30	>0,1	

Примечания: р – уровень статистической значимости различий данных до и после сеанса, р_{о/к} – уровень статистической различий данных контрольной и опытной групп (р < 0,05)

Исходно значения показателей, характеризующих быстроту мышления пожилых людей при сложной умственной работе (распознавание слов с пропущенными буквами), не имеют достоверных различий (табл. 4). Психорелаксация (контроль) всех длительностей не оказала достоверного влияния ни на количество распознанных слов, ни на ошибки распознавания. Влияние аромаспсихорелаксации с эфирным маслом иссопа оказало слабое и неоднозначное влияние на количество распознанных слов и на ошибки распознавания. Количество распознанных слов не изменилось после 10-минутной экспозиции, несколько снизилось – после 20-минутной и несколько повысилось – после 30-минутной. Количество ошибок увеличилось после 20-минутной аромаспсихорелаксации и не изменилось после 10 и 30-минутной (табл. 4).

Ниже, в табл. 5, приведены результаты оценки статистической значимости различий показателей умственной работоспособности, оцененной с применением корректурных таблиц А. Г. Иванова-Смоленского, до и после сеанса аромасихорелаксации с использованием эфирного масла иссопа лекарственного (10, 20 и 30 мин экспозиции).

Таблица 5
Оценка статистической значимости различий показателей умственной работоспособности, оцененной с применением корректурных таблиц А. Г. Иванова-Смоленского, до и после воздействия эфирного масла иссопа лекарственного у пожилых людей (10, 20 и 30 мин экспозиции)

Показатель	Время воздействия, минут	Группа	n	Исходно	После	Р до/ после	Р о/к после
Темп 1 (на 1 минуте)	10	контроль	45	233,04±7,38	253,93±9,43	<0,00003	>0,1
		опыт	45	233,11±9,19	238,13±11,84	>0,1	
	20	контроль	50	255,32±8,50	245,90±8,08	>0,1	>0,1
		опыт	50	257,16±10,38	241,92±9,29	<0,1	
	30	контроль	40	241,18±5,91	233,54±8,44	>0,1	>0,1
		опыт	40	241,90±8,93	229,93±11,06	>0,1	
Темп 2 (на 2 минуте)	10	контроль	45	230,53±8,31	238,51±9,77	>0,1	>0,1
		опыт	45	231,78±11,67	222,31±9,18	>0,1	
	20	контроль	50	237,92±8,49	240,20±8,63	>0,1	>0,1
		опыт	50	236,44±9,96	237,36±9,03	>0,1	
	30	контроль	40	233,66±5,98	229,70±7,61	>0,1	>0,1
		опыт	40	234,10±11,34	209,08±11,86	<0,001	
Ошибки 1 (на 1 минуте)	10	контроль	45	1,36±0,24	0,98±0,18	>0,1	>0,1
		опыт	45	1,51±0,26	1,11±0,24	>0,1	
	20	контроль	50	1,76±0,23	1,62±0,23	>0,1	<0,1
		опыт	50	1,86±0,24	2,38±0,33	>0,1	
	30	контроль	40	0,70±0,14	1,60±0,25	<0,002	<0,1
		опыт	40	0,83±0,25	0,88±0,26	>0,1	
Ошибки 2 (на 2 минуте)	10	контроль	45	1,18±0,19	1,40±0,24	>0,1	>0,1
		опыт	45	1,18±0,19	1,18±0,25	>0,1	
	20	контроль	50	1,64±0,22	1,80±0,29	>0,1	>0,1
		опыт	50	1,56±0,23	2,32±0,35	>0,1	
	30	контроль	40	0,80±0,12	1,10±0,19	>0,1	>0,1
		опыт	40	0,53±0,12	0,78±0,26	>0,1	

Примечания: р – уровень статистической значимости различий данных до и после сеанса, р_{о/к} – уровень статистической различий данных контрольной и опытной групп (р < 0,05)

Исходные значения показателей, характеризующих быстроту мышления пожилых людей при простой умственной работе (корректирующая проба), не имеют статистически значимых различий (табл. 5). Влияние психорелаксации (контроль) на скорость распознавания знаков в таблицах слабое. Только после 10-минутной психорелаксации отмечено достоверное увеличение скорости работы на 1-й минуте теста. Влияние ароматической психорелаксации (опыт) на скорость распознавания знаков в таблицах также слабое и тормозящее. На 1-й минуте теста отмечена тенденция к снижению скорости работы после 20-минутной ароматической психорелаксации, на 2-й минуте теста – достоверное снижение скорости работы после 30-минутной ароматической психорелаксации. Влияние психорелаксации (контроль) на ошибки слабое. Только после 30-минутной психорелаксации на 1-й минуте теста количество ошибок статистически значимо увеличилось. Ароматическая психорелаксация вообще не повлияла на ошибки (табл. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, эфирное масло иссопа лекарственного при ингаляционном введении в концентрации 1 мг/м^3 существенно влияет только на психоэмоциональное состояние испытуемых. При этом в паре «тревожность-депрессия» более выражено положительное влияние на тревожность – статистически значимое уменьшение уровня при всех длительностях ароматического воздействия. По показателю депрессии, статистически значимое снижение наблюдалось только при 20-минутном ароматическом воздействии.

В то же время, в тесте самооценки состояния испытуемые положительно оценили изменение своего состояния по всем показателям психоэмоционального состояния и тонуса при всех длительностях ароматического воздействия, что позволяет говорить о ЭМ иссопа как об эуфорическом факторе, возможно, с некоторым снижением критичности восприятия. Учитывая более объективный характер оценки по Госпитальной шкале тревоги и депрессии, и наличие в тесте самооценки параметров, реагирующих на депрессию, можно говорить, что эфирное масло иссопа лекарственного является эуфорическим фактором, снижающим критичность, объективность самооценки испытуемыми своего состояния.

Дополнительно в пользу характеристики эфирного масла иссопа лекарственного как эуфорического фактора со снижением критичности восприятия говорит отсутствие его существенного влияния на умственную работоспособность как при сложной, так и при простой умственной работе. Если бы самооценка по показателям работоспособности, бодрости, внимательности была более объективной, она положительно коррелировала бы с оценкой по тестам скорости мышления и сенсомоторных процессов. Но этого не наблюдается.

Список литературы

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Population Ageing 2015 (ST/ESA/SER.A/390).
2. Александрова М. Д. Отечественные исследования социальных аспектов старения. Психология старости и старения: Хрестоматия / Сост. О. В. Краснова, А. Г. Лидере. - М.: Академия; 2009. - С. 55–56.
3. Стюарт-Гамильтон Я. Психология старения / Я. Стюарт-Гамильтон [Пер. с англ. 3-е междунар. изд.]. - СПб.: Питер, 2002. - 256 с.
4. Шаповаленко И. В. Макартурское исследование успешного старения: на пути к новой геронтологии: Реферативный обзор книги Rowe J. W., Kahn R. L. «Successful Aging» / И. В. Шаповаленко // Современная зарубежная психология. - 2017. - № 6(3). - С. 13–21. Источник: http://psyjournals.ru/jmfp/2017/n3/Shapovalenko_2.shtml.
5. Плугатарь Ю. В. Растения-целители во флоре Крыма / Ю. В. Плугатарь, В. В. Корженевский // Сборник научных трудов ГБНС. - 2018 - Т. 146. - С. 5–11. doi: 10.25684/NBG.scbook.146.2018.01.
6. Churl L. W. Stimulative and sedative effects of essential oils upon inhalation in mice / L. W. Churl, S. J. Min, I. L. Chun [et al.] // Archives. Pharm. Res. - 2005. - Vol. 25. - P. 770–774.
7. Fathiazad F. A review on *Hyssopus officinalis* L.: Composition and biological activities / F. Fathiazad, S. Hamedeyazdan // African Journal of Pharmacy and Pharmacology. - 2011. - Vol. 5(17). - P. 1959–1966. doi: 10.5897/AJPP11.527.
8. Gholami M. Effects of aqueous extract of *Hyssopus officinalis* on seizures induced by pentylenetetrazole and hippocampus mRNA level of iNOS in rats / M. Gholami, F. Jafari, Z. Baradaran [et al.] // J. Phytomed. - 2020. - Vol. 10(3). - P. 213–221. doi: 10.22038/AJP.2019.13556.
9. Salehi A. Effect of *Hyssopus officinalis* essential oil on chronic stress-induced memory and learning impairment in male mice / A. Salehi, M. Setorki // Bangladesh J. Pharmacol. - 2017. - Vol. 12. - P. 448–454. doi: 10.3329/bjp.v12i4.33585.
10. Тихомиров А. А. Эфирные масла как ионизаторы воздуха помещений / А. А. Тихомиров, А. М. Ярош, А. Е. Еременко, М. И. Говорун // Вестник морского врача, Севастополь. - 2014. - № 13. - С. 148–153.
11. Черемискина И. И. Методические указания для практических занятий по курсу «Специальный практикум по психологии». Методики диагностики свойств мышления / Черемискина И. И. - Владивосток, 2007. - С. 9–43.
12. Рубинштейн С. Я. Экспериментальные методики патопсихологии и опыт применения их в клинике. Практическое руководство / С. Я. Рубинштейн. - М.: Апрель-Пресс, изд-во Института Психотерапии, 2004. - С. 50–54.
13. Столяренко Л. Д. Основы психологии: Практикум / Л. Д. Столяренко. - Ростов-на-Дону: Феникс; 2002. - С. 42–44.
14. Zigmond A. C. The Hospital Anxiety and Depression scale / A. C. Zigmond, R. P. Snaith // Acta Psychiatr. Scand. - 1983. - Vol. 67. - P. 361–370. doi: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x.
15. Тонковцева В. В. Модификация методики самооценки состояния для изучения влияния эфирных масел на психоэмоциональное состояние человека / В. В. Тонковцева, А. М. Ярош // Таврический журнал психиатрии. - 2018. - № 23(2–83). - С. 63–68.
16. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. - М.: Изд-во «Высшая школа», 1989. - 291 с.
17. Программа статистического анализа: (с изм. и доп.) AnalystSoft Inc.: [сайт информ.-правовой компании]. URL: www.analystsoft.com.ru.

IMPACT OF ESSENTIAL OIL OF HISSORUS OFFICINALIS ON THE PSYCHO-EMOTIONAL STATE AND MENTAL CAPACITY OF THE ELDERLY

Tonkovtseva V. V., Yarosh A. M., Batura I. A., Nagovskaya E.-E. V., Koval E. S., Borkuta M. A., Grigoriev P. E.

*Federal State Funded Institution of Science "The Labor Red Banner Order Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS", Yalta, Nikita, Republic of the Crimea, Russian Federation
E-mail: valyalta@rambler.ru*

The **objective** of the research was to study the effect of common hyssop essential oil on the psychoemotional state and mental performance of elderly and senile people. **Materials and methods.** The study included 280 women aged 60–85 years. During the study, the subjects were in darkened rooms at rest in groups of 10–20 people. For participants in the control groups we played a psychorelaxation audio recording lasting 10, 20 or 30 minutes. For the experimental groups we sprayed common hyssop essential oil in a concentration of 1 mg/m³ for 10, 20 or 30 minutes in the room and simultaneously played a psychorelaxation audio recording. The state of the subjects before and after the procedures in the control and experimental groups was assessed using Hospital Anxiety and Depression Scale, the Dembo-Rubinstein self-assessment test in our modification, correction task, and the word recognition test with missing letters. The obtained data were statistically processed using the Student's t-test for dependent and unconjugated samples. The component composition of essential oil was determined by gas chromatography-mass spectrometry using a hardware and software complex based on a chromatograph "Chromatek-Crystal 5000.2" equipped with a mass spectrometric detector. **Results.** It is shown that respiratory effects of essential oil of common hyssop (exposure 10, 20 or 30 minutes) when its concentration in air 1 mg/m³ causes a significant improvement in the emotional state of the elderly (based on Hospital Anxiety and Depression Scale and the Dembo-Rubinstein self-assessment test in our modification). In the pair "anxiety-depression" it has a more pronounced positive effect on anxiety – a statistically significant decrease in the level at all durations of the aroma effect. According to the indicator of depression, a statistically significant decrease was observed only with a 20-minute aroma effect. At the same time, in the state self-assessment test, the subjects positively assessed the change in their state in all indicators of psychoemotional state and tone for all duration of the aroma session, which allows us to talk about hyssop essential oil as a euphoric factor, possibly with a certain decrease in the criticality of perception. Considering the more objective nature of the assessment on the Hospital Anxiety and Depression Scale, and the presence in the self-assessment test of parameters that respond to depression, we can say that common hyssop essential oil is a euphoric factor that reduces the criticality, objectivity of the subjects' self-assessment of their condition. There was no significant effect of common hyssop essential oil on mental performance in both complex (recognition of words with missing letters) and simple work (correction task).

Keywords: elderly people, aromapsychorelaxation, essential oil, *Hyssopus officinalis*, psychoemotional state, mental performance.

References

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Population Ageing 2015 (ST/ESA/SER.A/390).
2. Aleksandrova M. D. Domestic research of social aspects of aging. *Psychology of old age and aging: textbook*, P. 55. (Moscow: Akademiya; 2009).
3. Styuart-Gamil'ton Y. A. *Psychology of ageing*, 256 p. (SPb.: Piter, 2002).
4. Shapovalenko I. V. MacArthur study of successful aging: on the way to a new gerontology: a review of the book of Rowe J. W., Kahn R. L. "Successful Aging". *Metodiki diagnostiki svojstv myshleniya*, 13 (Vladivostok, 2017).
5. Plugatar U. F. and Korzenevsky V. V. Healing plants in the flora of Crimea. *Sbornik nauchnyh trudov GBNS*, **146**, 5 (2018).
6. Churl L. W., Min S. J., Chun I. L., Bae P. H. and Chun L. B. Stimulative and sedative effects of essential oils upon inhalation in mice, *Archives. Pharm. Res*, **25**, 770 (2005).
7. Fathiazad F., Hamedeyazdan S. A review on *Hyssopus officinalis* L.: Composition and biological activities, *African J. of Pharmacy and Pharmacology*, **5**(17), 1959 (2011).
8. Gholami M., Jafari F., Baradaran Z, Amri J., Azhdari-Zarmehri H. and Sadegh M. Effects of aqueous extract of *Hyssopus officinalis* on seizures induced by pentylenetetrazole and hippocampus mRNA level of iNOS in rats, *Avicenna J. Phytomed.*, **10**(3), 213 (2020).
9. Salehi A. and Setorki M. Effect of *Hyssopus officinalis* essential oil on chronic stress-induced memory and learning impairment in male mice, *Bangladesh J. Pharmacol.*, **12**, 448 (2017).
10. Tikhomirov A. A., Yarosh A. M., Eremenko A. E. and Govorun M. I. Essential oils as room air ionizers, *Vestnik morskogo vracha*, **13**, 148 (2014).
11. Cheremiskina I. I. Methodical instructions for practical classes on the course "Special practice in psychology". *Methods of diagnostics of thinking properties*, 9 p. (Vladivostok, 2007).
12. Rubinshtejn S. Y. Experimental methods of pathopsychology and experience of their clinic application in the clinic, *Practical guide*, P. 50 (M.: Aprel'-Press, izd-vo Instituta Psihoterapii, 2004).
13. Stolyarenko L. D. *Fundamentals of psychology: Case study*, P. 42 (Rostov-na-Donu: Feniks; 2002).
14. Zigmond A. C., Snaith R. P. The Hospital Anxiety and Depression scale, *Acta Psychiatr. Scand.*, **67**, 361 (1983).
15. Tonkovtseva V. V. and Yarosh A. M. Modification of the method for self-assessment status to study the effects of essential oils on the psycho-emotional state of a person, *Tavrisheskij zhurnal psikiatrii*, **23**, 63. (2018).
16. Lakin G. F., *Biometrija*, 291 p. (Moscow: Vysshaya shkola; 1989).
17. Programma statisticheskogo analiza: (s izm. i dop.) AnalystSoft Inc.: [sajt inform.-pravovoj kompanii]. Access mode: www.analystsoft.com.ru (in Russ.)

УДК 612.88:612.886:612.017.2):796.83

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-2-179-190

МЕТОДОЛОГИЯ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РЕЗЕРВОМЕТРИИ В СПОРТЕ ВЫСШИХ ДОСТИЖЕНИЙ

Хадарцев А. А.¹, Минина Е. Н.², Ластовецкий А. Г.³, Хромушин В. А.¹

¹Тульский государственный университет, Тула, Россия

²Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

³ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами

Президента Российской Федерации, Москва, Россия

E-mail: cere-el@yandex.ru

Спорт высших достижений требует максимально полного включения психофизических возможностей спортсмена, что нуждается в принципиально ином подходе, по сравнению с массовыми видами спорта, в подготовке спортсменов с использованием современных научных методов диагностики функционального состояния организма. Выявлено, что дисфункциональная направленность регуляторных механизмов у квалифицированных спортсменов в группах с нарушением ритма и нарушением процессов реполяризации на фоне снижения физической работоспособности и напряжения механизмов адаптации достоверно классифицировалось фазографическими скоростными показателями электрической активности сердца, что было определено на основе референтных границ скоростных показателей электрической активности сердца с помощью АМКЛ. Многофакторный анализ показателей функционального состояния организма спортсмена с применением АМКЛ может явиться методологией решения задач резервометрии в спорте высших достижений.

Ключевые слова: многофакторный анализ, алгебраическая модель конструктивной логики, резервометрия.

ВВЕДЕНИЕ

Спорт высших достижений требует максимально полного включения психофизических возможностей спортсмена, что нуждается в принципиально ином подходе, по сравнению с массовыми видами спорта, к подготовке и диагностике функционального состояния организма (ФСО) спортсменов с использованием современных научных методов. Анализ ФСО по отдельным факторам или анализ только конечного результата, не позволяет выявить слабые места и оценить резервы организма спортсмена, а нуждается в использовании многофакторного анализа полученных первичных данных, характеризующих ФСО [1].

Для раннего выявления нарушения стресс-индуцированных нарушений миокарда актуально использовать диагностические методы, позволяющие в режиме мониторинга информативно и объективно оценивать динамику значимых показателей. При этом производить такую оценку не только на плановых углублённых медицинских осмотрах 2 раза в год, а в процессе учебно-тренировочной и соревновательной деятельности в рамках оперативного

тестирования, что дополнительно позволит выявлять особенности адаптационных резервов сердечной деятельности. При этом важна простота и возможность применения в широком диапазоне условий диагностических методов и экспертных решений.

Важно отметить, что в процессе первичной профилактики сердечно-сосудистой патологии в спорте высших достижений важно выявление индикаторов, информативно отражающих риски возникновения патологии. Однако по данным ФГБУ «Центральный НИИ организации и информатизации здравоохранения» Министерства Здравоохранения РФ вопрос, какие показатели принимать за индикаторы и мониторировать, остаётся открытым [2].

Указанным требованиям к многофакторному анализу удовлетворяет алгоритм алгебраической модели конструктивной логики (АМКЛ), который используется в здравоохранении [3–7]. АМКЛ как аналитический инструмент позволяет выполнять сложные аналитические расчеты и строить на их основе экспертные системы, что является важным направлением исследований в медикобиологической области.

Цель данной работы составила оценка возможностей многофакторного анализа как методологии решения задач резервометрии у спортсменов [8].

Задачи:

- применить многофакторный анализ для выявления референтных границ показателей электрической активности сердца в норме и при срыве адаптации у квалифицированных спортсменов;
- оценить возможности использования многофакторного анализа АМКЛ для определения индикаторов эффективности адаптации у спортсменов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для участия в исследовании были отобраны 182 квалифицированных спортсмена-юноши 19–22 лет ($20,5 \pm 1,5$), занимающихся видами спорта с высокой динамической и статической компонентой (футбол, баскетбол, волейбол, бокс, плавание, лёгкая атлетика), согласно классификации, Mitchell J. H. и соавт., находящихся на этапе совершенствования спортивного мастерства.

Активных жалоб никто не предъявлял. Однако при настойчивом сборе и изучении анамнеза у спортсменов, было определено, что состояние дискомфорта в разной степени в области сердца, эпизоды снижения работоспособности и недовосстановления испытывали все спортсмены.

Спортсмены находились в середине подготовительного периода годового цикла спортивной подготовки. Все спортсмены были сформированы в 3 группы:

Группа НР – 74 спортсмена характеризовались признаками хронического физического перенапряжения и нарушениями ритма по данным ЭКГ и Холтеровского мониторирования (эктопические нарушения ритма и миграция водителя ритма у 35 юноша (47 %), суправентрикулярная и желудочковая экстрасистолия у 15 спортсмена (22 %), атриовентрикулярная блокада 1 степени – 14 атлета (18 %), атриовентрикулярная блокада 2 степени – 10 атлетов (13 %).

Группа НПП – 67 спортсмена характеризовались признаками хронического физического перенапряжения и относились к 1 и 2 стадиям дистрофии миокарда,

согласно классификации А. Г. Дембо в модификации Л. А. Бутченко и имели различные нарушения процессов реполяризации (изменения конечного отдела желудочкового комплекса (сегмента ST и зубца T), снижение зубца T менее 10 % от R в левых грудных отведениях (V5-V6), двугорбый или двухфазный зубец T в V1-V3, двухфазный или отрицательный зубец T во II и III стандартных отведениях).

Группа К – 39 спортсменов без изменений на ЭКГ покоя и в нагрузке, без наличия соматических заболеваний по данным диспансеризации, острых инфекционных заболеваний в течение 3х недель до исследования, жалоб на момент исследования – группа контроля.

Во всех группах были оценены особенности нейрогуморальной регуляции в покое и при ступенчато возрастающей нагрузке при велоэргометрии, оценена физическая работоспособность и дана характеристика фазографическим скоростным показателям электрической активности сердца.

Исследование вегетативной регуляции осуществляли методом автоматизированной электрокардиографии и методика вариационной пульсометрии (по Р. М. Баевскому).

С помощью ПТК «ФАЗАГРАФ®» регистрировали показатели вариационной пульсометрии, рассчитываемые автоматически по данным тахограмм, спектрограмм и стандартизированной интервалограммы. Длительность наблюдения при регистрации показателей составляла 5 минут при каждом измерении.

Автоматически рассчитывались: средняя продолжительность интервалов R-R (RR), стандартное отклонение интервалов R-R (SDNN), коэффициент вариации (Dx), индекс напряжения регуляторных систем (ИН), моду (Mo, мс), амплитуду моды (АМо, %), спектральные показатели сердечного ритма: высокочастотная компонента (HF, %), медленные волны 1-го порядка (LF, %), медленные волны (VLF, %), коэффициент вагосимпатического баланса рассчитывали по формуле LF/HF (усл. ед.).

При велоэргометрии (ВЭМ) на велоэргометре ВЭ-02 оценивали физическую работоспособность (кгм/мин) по методике В. Л. Карпмана с соавт. (1974). Она предполагала выполнение 2 нагрузок возрастающей мощности (продолжительностью каждая 5 мин) с интервалом отдыха 3 минуты. Измеряли значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), уровень артериального давления (АД), исходно и на каждой ступени нагрузки. Систолическое артериальное давление (САД, мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (ДАД, мм рт. ст.) измеряли методом М. С. Короткова. Адаптационный потенциал определяли расчётным способом по Р. М. Баевскому.

Оценивали уровень максимального потребления кислорода (МПК) в мл/мин/кг, реакцию АД, клинические и ЭКГ-признаки нарушения функции миокарда.

МПК рассчитывали по формуле $MPC = (1,7 \times PWC170 + 1240) / \text{вес (кг)}$

Регистрация электрического сигнала миокарда и получение фазометрических и фазографических данных осуществлялась в покое с использованием графитовых пальцевых электродов информационно-программного электрокардиографического комплекса ФАЗАГРАФ®, в котором реализована оригинальная информационная технология обработки электрокардиосигнала в фазовом пространстве с

использованием идей когнитивной компьютерной графики и методов автоматического распознавания образов [9, 10].

При статистическом анализе результатов проведенных исследований использовались пакеты компьютерных программ SPSS 12.0 и Statistica 8.0.

При нормальном распределении в качестве мер центральных тенденций определяли значение среднего (M) и ошибку стандартного отклонения (Sx) – ($M \pm Sx$). Для выявления внутригрупповых различий в случае нормально распределенных данных применяли t -критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность миокарда потреблять кислород, являясь чувствительным индикатором приспособления при увеличении внешней нагрузки, может быть лимитирующим фактором аэробных функциональных возможностей всего организма. При этом повышение потребности миокарда в кислороде и неспособность организма её обеспечивать, приводят к ишемическим нарушениям. При состоянии ишемии в миокарде страдают все процессы мембранного электрогенеза: возбудимость клеток миокарда, автоматизм биоэлектрических процессов в миокарде, и в том числе процессы де- и реполяризации. Mitchell J. H. и соавторами отмечают: – «...что с увеличением требований к аэробной производительности в процессе тренировочной деятельности по показателю МПК, увеличивается процент спортсменов с зафиксированными нарушениями кардиогемодинамического функционирования». Значительная роль нервно-психического фактора на фоне усиленных тренировочных нагрузок в развитии сердечно-сосудистых нарушений у квалифицированных спортсменов аргументирует изучение вегетативной дисфункции у юношей с нарушением процессов реполяризации и при нарушении ритма. Как известно, нарушение вегетативной деятельности может иметь решающее значение в развитии АВ-блокад, экстрасистолий и других нарушений ритма. Так же показана ведущая роль вегетативной дисфункции в развитии дистрофии миокарда физического перенапряжения.

В Таблице 1. отображены особенности нейрогуморальной регуляции сердечного ритма квалифицированных спортсменов 19–22 лет с нарушением процессов реполяризации, нарушением ритма и в контрольной группе.

В группах спортсменов с реполяризационным и аритмическим синдромом, в отличие от группы контроля были выявлены особенности вегетативной регуляции ритма сердца. С изменением типа вегетативной регуляции от симпатической к парасимпатической в группах с ЭКГ-нарушениями происходило выраженное отклонение физиологических параметров.

Так, в группе НР относительно контрольной группы наблюдалось значительное снижение ИН в среднем на 45 % ($p < 0,05$) и показателя вагосимпатического баланса LF/HF более чем в 4 раза ($p < 0,001$), на 50 % ($p < 0,01$) показателя очень низких частот ритма сердца (VLF, ms^2), который тесно связан с психоэмоциональным напряжением. Эти факты свидетельствовали о преобладании влияния центров парасимпатической регуляции на деятельность сердца.

Таблица 1

Показатели нейрогуморальной регуляции сердечного ритма квалифицированных спортсменов 19-22 лет с нарушениями кардиогемодинамического функционирования и в контрольной группе (M± Sx), n = 182

Показатели	Условия	Группы			Достоверность 1-3
		НР (n = 74) (1)	НПР (n = 67); (2)	К (n = 39) (3)	
VLF, мс ²	покой	654,9±145,3	1599,5±324,4	1226,2±453,6	1-2,3 (<0,01)
	РВП	355,7±98,5**	690,5±150,5*	1010,6±237,5	1-2 (<0,01) 1-3 (<0,001) 2-3 (<0,001)
LF/HF, у.е.	покой	0,25±0,05	2,10±0,63	1,25±0,23	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,05) 2-3 (<0,05)
	РВП	0,56±0,05**	4,56±0,58**	1,54±0,39*	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,01) 2-3 (<0,001)
ИИ, у.е.	покой	25,0±2,5	205,3±55,8	55,9±18,6	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,05) 2-3 (<0,001)
	РВП	94,7±3,2**	295,9±54,6*	90,3±22,9*	1-2 (<0,01) 2-3 (<0,001)
SDNN, мс	покой	95,9±5,8	27,5±1,5	49,6±2,2	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,01) 2-3 (<0,001)
	РВП	66,4±4,5***	20,4±1,7***	36,5±2,5**	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,01) 2-3 (<0,05)

Примечания: РВП – ранний восстановительный период 3 мин; * – различия показателей достоверны относительно группы контроля (p<0,05); ** – (p<0,01); *** – (p<0,001) различия достоверны по t-критерию Стьюдента

При этом наиболее значительные различия, по сравнению с контролем, по показателю SDNN выявлены в группе спортсменов из группы НР.

Увеличение значений этого показателя в группе с НР в среднем на 65 % (p<0,01) в сравнении с группой контроля отражают «функцию разброса» длительностей кардиоинтервалов. Механизм регуляции сердечного ритма у спортсменов этой группы характеризовал перестройку на автономный контур регулирования. Усиление влияния парасимпатического отдела с минимальной централизацией управления проявляется дыхательной синусовой аритмией.

В данном случае можно говорить о реакциях дезадаптации при несбалансированности ответа отделов автономной нервной системы.

Значения VLF-спектра, количественно отражающие активность сердечно-сосудистого подкоркового нервного центра или надсегментарных уровней регуляции, были значительно снижены в группе НР по сравнению со спортсменами контрольной группы. Известно, что гуморально-метаболическая система является самой медленной системой регуляции. Она связана с активностью тканевых гормонов, циркулирующих в крови гормонов и отражает уровень основного обмена, терморегуляции, эрготропных функций.

В группе спортсменов НПП установлено, что мощность волн очень низкой частоты была больше в два раза ($p < 0,01$), чем в группе спортсменов НР и не различалась от значений группы контроля. Однако на фоне большего на 60 % ($p < 0,05$) показателя вагосимпатического баланса в группе НПП и в 4 раза большего ИН ($p < 0,001$) было выявлено снижение значения SDNN в среднем в два раза ($p < 0,001$) в данной группе относительно группы контроля, что отображало преобладание симпатической регуляции. При этом избыточная активация симпатoadреналовой системы, сопровождалась не оптимальной реактивностью парасимпатического отдела ВНС.

Исследование вегетативного обеспечения деятельности на основании спектрального и временного анализа сердечного ритма после физической нагрузки установило, что в группе НПП происходило достоверное увеличение коэффициента LF/HF в два раза ($p < 0,001$), увеличивался ИН на 43 % ($p < 0,05$), что свидетельствовало об избыточной активации симпатoadреналовой системы. Данный факт подтверждает и снижение SDNN на 36 % ($p < 0,001$).

В группе НР в 2 раза ($p < 0,01$) уменьшается показатель очень низких частот ритма сердца (VLF, $мс^2$), что свидетельствовало о недостаточной активации механизмов гуморальной и симпатической регуляции деятельности сердечной мышцы. Такой механизм переэкономизации деятельности сердечно-сосудистой системы нарушает мобилизацию функции и в конечном счёте снижает адаптацию к физической нагрузки, что может свидетельствовать о функциональном дисбалансе сердечно-сосудистой системы спортсменов группы НР.

Таким образом, нейрогуморальная регуляция в группе НПП при регуляции сердечным ритмом характеризовалась эрготропными церебральными симпатическими влияниями на фоне снижения парасимпатического влияния. Напротив в группе НР отмечалось преувеличенное влияние парасимпатического отдела нервной системы на фоне падения симпатических и гуморальных воздействий. Такое смещение вегетативных механизмов в исследуемых группах не обеспечивало рациональное обеспечение деятельности и характеризовало симпатическое влияние в группе НПП как избыточное, а в группе НР – как недостаточное.

Полученные результаты подтверждают тезис о вегетативной дисфункции на системном или органном уровне и как результате вегетативном дисбалансе, как главном патогенетическом звене в формировании кардиологических нарушений, в том числе нарушения реполяризации миокарда и нарушении ритма.

Результатом снижения эффективности и экономичности функционирования на фоне вегетативного дисбаланса, выраженного в группах сравнения в разной

степени, явилось падение уровня физической работоспособности и напряжение механизмов адаптации у квалифицированных спортсменов в группах НПР и НР (табл. 2).

Таблица 2

Показатели физической работоспособности и адаптационного потенциала квалифицированных спортсменов 19-22 лет с нарушениями кардиогемодинамического функционирования и в контрольной группе (M± Sx), n = 182

Показатели	Группы			Достоверность
	НР (n = 74) (1)	НПР (n = 67); (2)	К (n = 39) (3)	
PWC ₁₇₀ /кг, Вт/кг	3,01±0,13	2,68±0,25	3,65±0,15	1-3 (<0,001) 2-3 (<0,001)
АП, у.е.	2,13±0,03	2,25±0,03	1,90±0,03	1-2 (<0,01) 1-3 (<0,001) 2-3 (<0,001)

Примечания: * – различия показателей достоверны относительно группы контроля (p<0,05); ** – (p<0,01); *** – (p<0,001) различия достоверны по t-критерию Стьюдента

Так, падение значений физической работоспособности у квалифицированных спортсменов в группе НР относительно юношей группы контроля произошло на 18 % (p<0,001), а в группе НПР на 27 % (p<0,001). Несмотря на отсутствие различий между группами НР и НПР, наименьшие значения были присущи юношам из группы НПР.

Высокий уровень работоспособности у юношей контрольной группы сопровождался оптимальными соотношениями адаптационных резервов по показателю АП, значение которого характеризовало состояние высоких резервов адаптации. Напротив, в группе НПР у исследуемых юношей АП указывает на функциональное напряжение адаптационных механизмов, будучи увеличенным на 18 % (p<0,001), относительно группы контроля. В группе НР также отмечался рост напряжения адаптационных механизмов при росте АП на 12 % (p<0,001).

Таким образом, дисфункциональная направленность регуляторных механизмов у квалифицированных спортсменов в группах НР и НПР привела к снижению физической работоспособности и напряжению механизмов адаптации.

К информативным показателям можно отнести изучаемые фазографические показатели электрической активности сердца. Фундаментальные электрокардиологические исследования показали, что именно скорость изменения потенциалов сердца и её неоднородность отражает степень электрогенности ионных насосов, состояние клеточных мембран и их способность к стабильному функционированию. Так же отмечается, что при увеличении внешнего стресс-фактора, изменение скоростных показателей ЭАС происходит раньше, чем изменение величины ТМП.

В результате математического моделирования при анализе показателей фазографических показателей электрической активности сердца у обследованных здоровых лиц и у обследованных квалифицированных спортсменов с нарушением процессов реполяризации (НПР) и нарушением ритма (НР) информативным показателем определён интервал QT фазового усреднённого кардиоцикла (ФУК) одноканальной ЭКГ. Интервал QT ЭКГ отражает суммарную продолжительность деполяризации и реполяризации кардиомиоцитов желудочков.

На Рисунке 1, а представлены зоны интервала QT ФУК, соответствующие дисфункциональному состоянию по результатам математического моделирования, которые находятся в диапазоне 0,46–0,56 с.

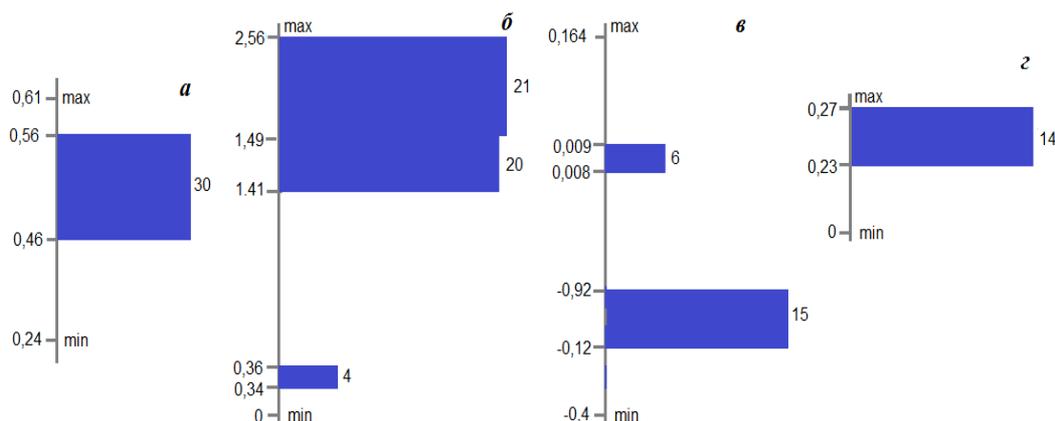


Рис. 1. Графическое отображение математической модели диапазона интервала QT (а), амплитуды зубца R (б), смещения сегмента ST (в), интервала PQ (г) фазового усреднённого кардиоцикла одноканальной ЭКГ, с, соответствующие дисфункциональному состоянию.

Очередной показатель, включённый в полученную математическую модель, – амплитуда зубца R фазового усреднённого кардиоцикла. В норме на 12-канальной ЭКГ амплитуда R не превышает 2 мВ и сильно варьирует в зависимости от отведения. Деполяризация желудочков, на ЭКГ отражаемая зубцом R, обычно начинается в середине левой части межжелудочковой перегородки и направляется вперед и слева направо.

Оценивать амплитуду зубца R необходимо в нескольких отведениях. Математическая модель АМКЛ позволила уточнить репрезентативные значения зубца R фазового усреднённого кардиоцикла, характеризующие дисфункциональное состояние, в диапазоне $R < 0,36$ мВ и $> 1,41$ мВ (рис. 1, б.).

Смещение сегмента ST рассматривают как результат расстройства возбуждения вследствие повреждения отдельных отделов миокарда. На Рисунке 1, в диаграмма значений сегмента ST ($ST < -0,92 > 0,008$ мВ), полученная в результате АМКЛ-анализа, отражал значения, характерные дисфункциональному состоянию. Интервал PQ также вошёл в модель и имеет высокую информативность. Как известно,

интервал PQ –это расстояние (временной промежуток) от начала зубца P до начала зубца q (или зубца R; если зубец q отсутствует, тогда речь идет об интервале PR). Интервал PQ (PR) зависит от возраста, массы тела, частоты сердечного ритма. В норме интервал PQ составляет 0,12–0,18 (до 0,2) с. Для измерения интервала PQ выбирают то отведение, где хорошо выражены зубец P и комплекс QRS, например, II стандартное отведение. Погрешности можно избежать, если проводить измерение на многоканальном электрокардиографе. Однако при применении АМКЛ-анализа в оценке фазового усреднённого кардиоцикла получены достоверные значения этого показателя, характеризующие дисфункциональное функционирование (рис. 1, г.). Выявленный диапазон $> 0,23$ с.

Результаты исследования соотношения площадей зубцов P/R и Q/R, вошедшие в математическую модель, открывают новые перспективы для дальнейших исследований.

Инновационность показателей ФУК предполагало отсутствие верифицированных ранее значений, характеризующих различные состояния. В данном случае АМКЛ позволило выявить наиболее значимые показатели ФУК для характеристики различных состояний и дифференцировать диапазоны их значений.

Таким образом, выявлено, что описательные показатели фазового усреднённого кардиоцикла, характеризующие временные признаки, с незначительными изменениями соответствуют общепризнанным значениям нормы. Показатели ФУК, отражающие амплитудные признаки, значительно отличаются от общепризнанных норм, проявляя новое интегральное качество фазового усреднённого кардиоцикла. С применением факторного анализа АМКЛ установлены маркеры-показатели фазового усреднённого кардиоцикла и их диапазоны, соответствующие дисфункциональному состоянию: QT – 0,46–0,56 с., R $< 0,36$ мВ и $> 1,41$ мВ., PQ $> 0,23$ с., смещение ST $< -0,92 > 0,008$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Дисфункциональная направленность регуляторных механизмов у квалифицированных спортсменов в группах НР и ННР на фоне снижения физической работоспособности и напряжения механизмов адаптации достоверно классифицировалось фазографическими скоростными показателями электрической активности сердца, референтные границы которых были определены с помощью АМКЛ.
2. Инновационность показателей ФУК предполагало отсутствие верифицированных ранее значений, характеризующих различные состояния. В данном случае АМКЛ позволило выявить наиболее значимые показатели-индикаторы ФУК для характеристики различных состояний и дифференцировать диапазоны их значений.
3. Многофакторный анализ показателей функционального состояния организма спортсмена с применением АМКЛ может явиться методологией решения задач резервометрии в спорте высших достижений.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Агаджанян Н. А., Баевский Р. М., Берсенева А. П. // М.: Изд-во РУДН, 2006. – 284 с.
2. Стародубов В. И. Заключительный научный доклад "Усовершенствование сбора и использования статистических данных о смертности населения в Российской Федерации (Международный исследовательский проект ZAD913)" / В. И. Стародубов и соавт. // Москва: ЦНИИ организации и информатизации МЗ РФ, 2002. – 59 с.
3. Китанина К. Ю. Совершенствование методов исследования здоровья населения с использованием алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин, Д. А. Аверьянова // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т.22. №3. – С. 8–14.
4. Китанина К. Ю. Особенности построения экспертной системы на основе алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин, А. С. Дзасохов, О. В. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2015. – №3.
5. Китанина К. Ю. Целевая направленность многофакторного анализа с использованием алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин, С. Ю. Федоров, О. В. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2015. – №3.
6. Хромушин В. А. Обзор аналитических работ с использованием алгебраической модели конструктивной логики / В. А. Хромушин, А. А. Хадарцев, О. В. Хромушин, Т. В. Честнова // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2011. – №1.
7. Китанина К. Ю. Подготовка данных для многофакторного анализа в медицине и биологии с помощью алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, А. А. Хадарцев, О. В. Хромушин, А. Г. Ластовецкий // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – №1. – С. 48–53.
8. Минина Е. Н. Оптимизация скрининг-оценки кардиогемодинамики с использованием алгебраической модели конструктивной логики» / Е. Н. Минина; под ред. проф. А. А. Хадарцева, В. А. Хромушина. – Москва : Русайнс, 2017. – 144 с.
9. Минина Е. Н. Физиологическая объективизация параметров эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ с использованием алгебраической модели конструктивной логики / Е. Н. Минина // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия Биология. Химия. – 2017. – Т. 3 (69), № 4. – С. 149–165.
10. Файнзильберг Л. С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л. С. Файнзильберг. – К. Освита Украины, 2013. – 190 с.

**METHODOLOGY OF MULTI-FACTOR ANALYSIS IN SOLVING
RESERVOMETRY PROBLEMS IN THE SPORT OF THE HIGHEST
ACHIEVEMENTS**

Khadartsev A. A.¹, Minina E. N.², Lastovetskij A. G.³, Khromushin V. A.¹

¹Tula State University, Tula, Russian Federation

²V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation

³Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

E-mail: cere-el@yandex.ru

Sports of the highest achievements requires the fullest possible use of the psychophysical capabilities of an athlete, which requires a fundamentally different

approach, compared to mass sports, in the preparation of athletes using modern scientific methods for diagnosing the functional state of the body (FSB).

Conducting scientific research with the required quality needs the use of multivariate analysis of the obtained primary data characterizing the FSB. Analysis by individual factors or analysis of only the final result does not allow to identify weaknesses and assess the reserves of the athlete's body.

The indicated requirements for multivariate analysis are satisfied by the Algebraic Model of Constructive Logic Algorithm (AMCLA), which is used in healthcare. AMCLA as an analytical tool allows performing complex analytical calculations and building expert systems on its basis. The AMCLA is based on the logic of predicates, which fundamentally distinguishes this mathematical apparatus from neural networks. The use of AMCLA cannot be considered as an alternative to the use of others methods of multivariate analysis. The best is the result of the analysis, confirmed by fundamentally different methods. Comparative analytical calculations with neural network algorithms have shown coincidence in the fundamental components of the result. Nevertheless, AMCLA can also identify the most characteristic differences, evaluate restrictions in the choice of treatment and the correct choice of factors, which is important in analytical studies in biomedical research.

To participate in the study, 182 qualified male athletes aged 19–22 years (20.5 ± 1.5) were selected, with different levels of functional reserves. They were engaged in sports with a high dynamic and static component (football, basketball, volleyball, boxing, swimming, athletics), according to the classification by Mitchell JH and co-authors, who are at the stage of improving their sportsmanship.

The dysfunctional orientation of regulatory mechanisms in qualified athletes in groups with rhythm disturbances and impaired repolarization processes against the background of a decrease in physical performance and stress of adaptation mechanisms was reliably classified by phasographic speed indicators of the heart electrical activity, which was determined using AMCLA.

Innovation indicators averaged phase of the cardiac cycle suggests a lack of verified earlier values that characterize the different states. In this case, AMCLA made it possible to identify the most significant indicators of the phase averaged cardiac cycle to characterize various states and differentiate the ranges of their values.

Multivariate analysis of the functional state indicators of the athlete's body with the use of AMCLA can be a methodology for solving the problems of reserve measurement in the highest achievements sports.

Keywords: multivariate analysis, algebraic model of constructive logic, reserve measurement.

References

1. Agadzhanian N. A., Baevskij P. M., Berseneva A. P. *Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostej organizma i risk razvitiya zabolevanij*, 284 s. (M.: Izd-vo RUDN, 2006).
2. Starodubov V. I. i soavt. *Zaklyuchitel'nyj nauchnyj doklad "Uovershenstvovanie sbora i ispol'zovaniya statisticheskikh dannykh o smertnosti naseleniya v Rossijskoj Federatsii (Mezhdunarodnyj issledovatel'skij proekt ZAD913)"*, 59 s. (Moskva: TSNII organizatsii i informatizatsii MZ RF, 2002).

3. Kitanina K. YU., KHromushin V. A., Aver'yanova D. A. Sovershenstvovanie metodov issledovaniya zdorov'ya naseleniya s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij*, **22, 3**, 8 (2015).
4. Kitanina K. YU., KHromushin V. A., Dzasokhov A. S., KHromushin O. V. Osobennosti postroeniya ehkspertnoj sistemy na osnove algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **3** (2015).
5. Kitanina K. YU., KHromushin V. A., Fedorov S. YU., KHromushin O. V. TSelevaya napravlennost' mnogofaktornogo analiza s ispol'zovaniem algeb-raicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **3** (2015).
6. KHromushin V. A., KHadartsev A. A., KHromushin O. V., CHestnova T. V. Obzor analiticheskikh rabot s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konst-ruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **1** (2011).
7. Kitanina K. YU., KHadartsev A. A., KHromushin O. V., Lastovetskij A. G. Podgotovka dannykh dlya mnogofaktornogo analiza v meditsine i biologii s pomoshh'yu algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **1**, 48 (2016).
8. Minina E. N. *Optimizatsiya skringing-otsenki kardiogemodinamiki s ispol'zovaniem algeb-raicheskoy modeli konstruktivnoj logiki*, pod red. prof. A. A. KHadartseva, V. A. KHromushina, 144 s. (Moskva: Rusajns, 2017).
9. Minina E. N. Fiziologicheskaya ob"ektivizatsiya parametrov ehtalonного kardiotsikla odnoka-nal'noj EHKG s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Seriya Biologiya. KHimiya*, **3 (69), 4**, 149 (2017).
10. Fajnzil'berg L. S. *Komp'yuternaya diagnostika po fazovomu portretu ehlektrokardiogrammy*, 190 s. (K. Osvita Ukrainy, 2013).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 7 (73). 2021. № 2. С. 191–197.

УДК 543.94

ПЕРОКСИДАЗНОЕ ОКИСЛЕНИЕ КАК АНАЛИТИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕНОЛА В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Вяткина О. В., Изнаурова М. Д., Багуль Е. А.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: oksana_yuatkina@list.ru*

В статье представлены результаты апробации новой методики количественного определения фенола в водных растворах, основанной на фотоколориметрической идентификации продуктов его пероксидазного окисления. В качестве катализатора использовали пероксидазу, экстрагированную из корнеплода редьки черной фосфатным буфером с pH=7 без дополнительной очистки, иммобилизованную на силикагеле. По экспериментальным зависимостям оптической плотности окислительных систем от концентрации фенола был построен калибровочный график и проведена его статистическая обработка, что позволило оценить метрологические характеристики новой методики. Установлено, что в предложенном варианте методика может быть использована для полуколичественного определения фенола в водных объектах и для он-сайт анализа.

Ключевые слова: пероксидаза, ферментативная активность, фенол, калибровочный график.

ВВЕДЕНИЕ

Фенолы – экотоксиканты, поступающие в гидросферу как из промышленных источников, так и образующиеся в воде в естественных условиях. Среди фенолов, большей токсичностью обладают летучие с паром фенолы [1]. Превышение естественного фонового содержания фенолов в водоемах оказывает не только токсическое влияние на живые организмы, но и является причиной изменения режима биогенных элементов и растворенных газов, поэтому актуальным вопросом остается мониторинг веществ-загрязнителей.

В анализе фенолов существует ряд проблем, среди которых можно выделить сложность избирательного определения фенолов в смесях (а именно в таком виде они присутствуют в водных объектах, вследствие естественной трансформации). Высокой избирательностью обладают хроматографические методы (ГЖХ и ВЖХ), однако для определения требуется дорогостоящее стационарное оборудование, а погрешности превышают 20 % [2, 3]. Другой проблемой является определение малых концентраций фенолов, которое, как правило, многостадийно, включает стадии отгонки либо экстракции аналита, что приводит, в конечном итоге, при

реализации таких методов как спектрофотометрия, флуориметрия, электрофоретические методы к погрешности, превышающей пределы допустимые в количественных определениях (более 50 %) [4, 5]. Очистка сточных вод от фенолов происходит окислительным методом, что приводит к невозможности использования для оценки остаточного содержания фенолов, стандартных для большинства лабораторий фотоколориметрического метода и метода броматометрического титрования из-за химических взаимодействий аналитических реагентов с компонентами окислительных смесей [6]. Так же следует отметить невозможность определений значительных концентраций фенола (превышающих $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) вышеуказанными методами, а в ряде исследований, например, при определении эффективности многокомпонентных катализаторов в окислительных системах, разбавление аналита не является корректным.

Известно, что при пероксидазном окислении фенолов образуются окрашенные продукты реакции, что делает возможной визуальную и фотоколориметрическую их идентификацию. Легко окисляемыми субстратами растительных пероксидаз являются многоатомные фенолы. Пероксидазное окисление самого же фенола, не смотря на более низкую скорость, тем не менее, так же приводит к образованию окрашенных продуктов [6]. Поэтому целью нашего исследования была разработка простой в реализации и экспрессной методики определения количественного содержания фенола в водных растворах в концентрациях соизмеримых с ПДК и превышающих её, основанной на каталитическом окислении фенолов в присутствии ферментного препарата с пероксидазной активностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся фенол (C_6H_5OH , чда, «ВИТАХИМ»). В качестве катализатора в окислительных системах использовали ферментный препарат с пероксидазной активностью. Препарат получали путем сорбции на силикагеле пероксидазы, экстрагированной фосфатным буфером из корнеплода реьдки черной [8]. Концентрацию фермента в растворе определяли фотоколориметрически ($\lambda=400$ нм, $l=2$ см, $\epsilon_{400}=9,6 \cdot 10^4 \frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{см}}$). Подложку

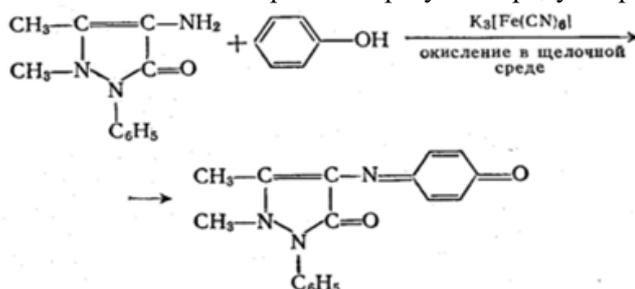
осаждали из силикатного клея «Жидкое стекло» (марка Б, силикатный модуль 2,6–3,0), добавляя по каплям 6М HCl до pH=10.

Иммобилизацию пероксидазы на подложку проводили в системе, состоящей из 10 г силикагеля, 70 мл раствора пероксидазы в фосфатном буфере, 105 мл дистиллированной воды (молярная концентрация активных центров фермента в жидкой фазе сорбционной системы 248 нмоль/л) и оставляли на 60 минут. По истечении указанного времени раствор фильтровали и твердую фазу сушили на воздухе при комнатной температуре. В результате был получен материал, содержание активных центров фермента в 1 г которого по данным сорбционных исследований составляло 2,5 нмоль, который использовали в дальнейших исследованиях. Ранее было установлена высокая пероксидазная активность композитов, полученных указанным способом [9].

Для изучения возможности применения иммобилизованной на силикагеле пероксидазы редьки черной и количественного определения фенола в водных растворах, в химические стаканы помещали по 1 г препарата и добавляли водные растворы фенолов с различными концентрациями ($V=20$ мл), затем добавляли по 2,5 мл пероксида водорода ($C=0,05$ моль/л) – СИСТЕМА I. Время экспозиции серии составляло 10 мин. По истечению времени фермент инактивировали 1М H_2SO_4 . Окрашенные растворы фильтровали, после измеряли их оптические плотности при длине волны 470 нм, соответствующей максимуму поглощения окрашенных продуктов, в кювете с толщиной оптического слоя $l=2$ см. Строили калибровочные зависимости оптических плотностей фотометрируемых растворов от концентрации фенолов в водных растворах после каталитического окисления. Рассчитывали уравнения калибровочных прямых по методу наименьших квадратов и с использованием приложения Microsoft Excel. В тестовой серии из пяти растворов с одинаковыми концентрациями фенола, проводили определение содержания фенола по полученным калибровочным прямым и оценивали воспроизводимость методики. В качестве стандартной для сравнения метрологических характеристик использовали фотоколориметрическую методику определения фенола, основанную на образовании окрашенных соединений фенола с 4-аминоантипирином в присутствии гексацианоферрата(III) калия при $pH=10$ – СИСТЕМА II [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В реакции фенола с 4-аминоантипирином образуется продукт красного цвета [6]:



Поэтому регистрацию аналитического сигнала в аналитической серии растворов производили на приборе Эксперт-003 при длине волны $\lambda=470$ нм. Наблюдения показали, что интенсивное и устойчивое во времени красное окрашивание в системе образуется в диапазоне концентраций $1 \cdot 10^{-5}$ – $9 \cdot 10^{-5}$ моль/л и появляется уже в течение первых 5 минут экспозиции, поэтому именно это время считали достаточным для фиксирования аналитического сигнала – оптической плотности D_{470} системы. Общее время проведения анализа составило 1 час. Полученная калибровочная прямая для ряда водных растворов фенола в указанном диапазоне концентраций представлена на рис. 1.

Было установлено отклонение линейности графических зависимостей оптической плотности аналитических систем (I) от концентрации фенола, при концентрациях аналита выше $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, что делает невозможным определение высоких концентраций фенола. Вероятно, изменение угла наклона калибровочной

прямо́й связано с изменением состава продуктов окисления фенола. Так же следует отметить невозможность использования реакции фенола с 4-аминоантипирином как аналитической при контроле его содержания в системах с сильными окислителями, вследствие разрушения окрашенного продукта [10].

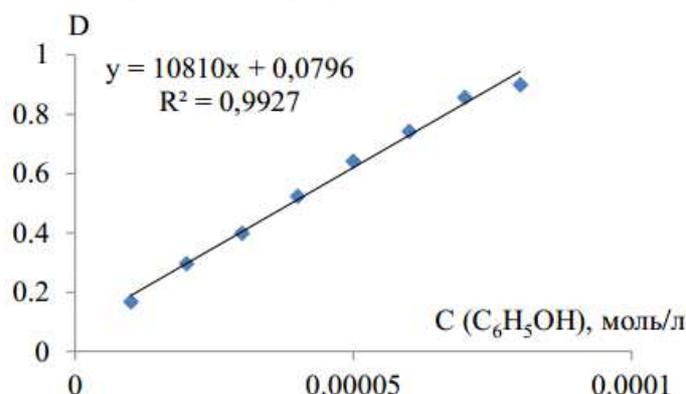


Рис. 1. Зависимость оптической плотности раствора (D) от концентрации C₆H₅OH (СИСТЕМА II)

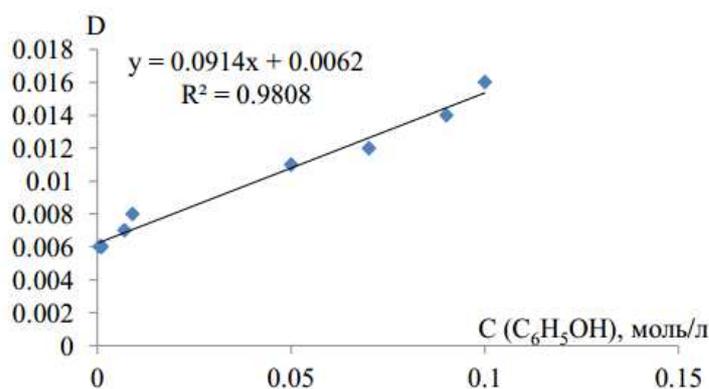


Рис. 2. Зависимость оптической плотности (D) раствора от концентрации C₆H₅OH в системе с пероксидазой иммобилизованной на силикагеле, осажденном при pH=10, и пероксидом водорода (τ=10 мин). (СИСТЕМА I)

Нами была проведена апробация методики определения концентрации фенолов с помощью ферментного препарата, в системах (I) (рис. 2). Окраска в исследуемых системах появлялась уже спустя 10 минут экспозиции, общее время проведения составляло 30 минут и полученная калибровочная прямая показана на рис. 2. Калибровочные кривые были аппроксимированы уравнениями типа $y=bx+a$. Значения параметров градуировочного графика а и b и их доверительные интервалы указаны в табл. 1.

Таблица 1
Параметры градуировочных графиков для методик фотоколориметрического определения фенола в воде ($\lambda=470$ нм.)

Система №	Параметры калибровочной прямой				$C_{(min)}$, моль/л
	a	ϵ_a	b	ϵ_b	
I (рис.2)	0,006	$2 \cdot 10^{-4}$	0,09	$4 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$
II (рис.1)	0,07	0,02	10800	481	$8,18 \cdot 10^{-6}$

Полученные градуировочные прямые использовали для определения оптической плотности в стандартных растворах, для оценки воспроизводимости методик. Каждая серия состояла из пяти определений. Статистическая обработка полученных результатов показана в табл. 2, откуда видно, что результат, полученный для тестовой серии в системе I характеризуется относительной погрешностью ($\Delta u_I=108$ %), что недопустимо в количественной фотоколориметрии, а в системе II имеет погрешность ($\Delta u_{II}=0,001$ %).

Таблица 2
Оценка точности определения концентрации фенола в тестовой серии растворов по стандартной и апробируемой методикам

Система №	\square , моль/л	Стандартный раствор	
		\bar{Y}_a	ϵ_y
I (рис.2)	$5 \cdot 10^{-3}$	0,008	$8,7 \cdot 10^{-3}$
II (рис.1)	$5 \cdot 10^{-5}$	0,49	$6 \cdot 10^{-6}$

Несмотря на более низкие значения воспроизводимости, чувствительности и более высокий предел обнаружения фенолов в методике, основанной на пероксидазном окислении фенола по сравнению со стандартной фотоколориметрической методикой, ее применение уместно для количественного определения высоких концентраций фенола, в том числе в системах, где присутствуют сильные окислители. Очевидно, что повышение чувствительности предложенной методики возможно при использовании пероксидазы с более высокой степенью очистки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сравнение метрологических характеристик двух апробированных методик показало, что классическая методика с 4-аминоантипирином чувствительнее, имеет более низкий предел обнаружения и более высокую воспроизводимость, однако не подходит для использования в окислительных системах и в системах с концентрацией фенола выше $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л.
2. Предложенная методика, основанная на пероксидазном окислении фенола, работает в более широком диапазоне концентраций фенола по сравнению с классической экспрессная, проста в реализации и применима в качестве

полуколичественной методики или в виде тест-систем для он-сайт анализа на содержание фенола в водных системах.

Список литературы

1. Гн 2.1.5.689-98 Предельно допустимые концентрации (пдк) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования
2. Патент РФ, МПК 7 G01N30/04, G01N30/48. Способ хроматографического определения фенолов в сточных водах / К. Г. Боголицын, А. М. Айзенштадт, М. В. Богданов, В. В. Посох; патентообладатель Архангельский государственный технологический университет. – № 2234083; заявл. 25.04.2003; опубл. 10.08.2004.
3. Стыскин, Е. Л. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография / Е. Л. Стыскин, Л. Б. Ициксон, Е. В. Брауде. – М.: Химия, 1986. – 284 с.
4. Соловьянов А. А. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации летучих фенолов в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом после отгонки водяным паром / А. А. Соловьянов. – М.: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 1997. – 13 с.
5. Каплин В. Т. Методы анализа органических веществ в природных и сточных водах / В. Т. Каплин, И. Г. Фесенко. – М.: Химия, 1972. – 230 с.
6. Лурье Ю. Ю. Химический анализ производственных сточных вод / Ю. Ю. Лурье, А. И. Рыбникова. – М.: Химия, 1974. – С. 275–276.
7. Применение ферментных препаратов с пероксидазной активностью для количественного определения гидрохинона в воде / О. В. Вяткина, А. Н. Кунык, М. В. Биба [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2015. – Т. 1 (67), № 1. – С. 204–215.
8. Селибер Г. Л. Большой практикум по микробиологии / Г. Л. Селибер. – М.: Мир, 1962. – 492с.
9. Вяткина О. В. Влияние морфологии подложки на кинетику пероксидазного окисления гидрохинона в системе с иммобилизованным ферментом, экстрагированным из корнеплодов редьки черной / О. В. Вяткина, М. В. Аралкина, О. Л. Аралкин, [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Т. 4(70), № 2. – С. 183–192.
10. Вяткина О. В. Анализ проблемы определения активности ферментных препаратов / О. В. Вяткина, В. Ю. Бажин, Д. Д. Александрова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т.5(71), № 4. – С. 248–261.

PEROXIDASE OXIDATION AS AN ANALYTICAL REACTION FOR THE DETERMINATION OF PHENOL IN AQUEOUS OBJECTS

Vyatkina O. V., Iznairova M. D., Bagul E. A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
E-mail: oksana_vyatkina@list.ru*

The article represents the results of approbation of a new method for the quantitative determination of phenol in aqueous solutions. This method is based on the photocolorimetric identification of the products of its peroxidase oxidation.

Peroxidase was used as a catalyst. It was extracted from a black radish into phosphate buffer with pH=7 without using any additional purification, and it was immobilized on

silica gel. The substrate was deposited from silicate glue "Liquid Glass" (grade B, silicate modulus 2.6–3.0), with the addition of 6M HCl to pH=10. The enzyme was immobilized due to the method of physical sorption under static conditions. The introduction of the obtained catalyst and hydrogen peroxide into aqueous solutions with different phenol contents led to the emergence of a stable color within 10 minutes of exposure.

The experimental dependences of the optical density of oxidizing systems on phenol contributed to the construction of calibration straight lines. The statistical processing of these lines was carried out, which made it possible to evaluate the metrological characteristics of the new technique. A photolorimetric method for the determination of phenol based on the formation of colored phenol compounds with 4-aminoantipyrine in the presence of potassium hexacyanoferrate(III) at pH=10 was used as a standard for comparison of metrological characteristics.

It has been found that our suggested method based on phenol peroxidase oxidation works in a wider range of analyte concentrations compared to the standard one, which is more expressive and easy to implement. However, the classical method is more sensitive, has a lower detection limit and higher reproducibility, but at the same time it is not suitable for being used in oxidizing systems and in systems with a phenol concentration above $1 \cdot 10^{-4}$ mol/L. The suggested method can be used for semi-quantitative determination of phenol and in on-site analysis.

Keywords: peroxidase, enzyme activity, phenol, schedule of calibration.

References

1. *Maximum allowable concentrations (MACs) of chemicals in the water of water objects used for drinking and domestic-recreation purposes*, hs 2.1.5.689–98. (in Russ.)
2. Bogolitsyn K. G., Aisenstadt A. M., Bogdanov M. V., Posokh V. V. *Method of chromatographic determination of phenols in wastewater*. Patent RF, no. 2234083 (2004). (in Russ.)
3. Styskin E. L., *Practical high-performance liquid chromatography*, p. 284, (Chemistry, Moscow, 1986). (in Russ.)
4. Solovyanov A. A., *Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of volatile phenols in natural and treated wastewater by photometric method after steam distillation*, p. 13, (State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection, Moscow, 1997). (in Russ.)
5. Kaplin V. T., *Methods for the analysis of organic substances in natural and waste water*, p. 230 (Chemistry, Moscow, 1972). (in Russ.)
6. Lurie Y. Y., Rybnikova A. I., *Chemical analysis of industrial wastewater*, p. 336 (Chemistry, Moscow, 1974). (in Russ.)
7. Vyatkina O. V., Kunyk A. N., Biba M. V., The use of enzyme preparations with peroxidase activity for the quantitative determination of hydroquinone in water, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **67** (1), 204 (2015) (in Russ.)
8. Seliber G. L., *A large workshop on microbiology*, p. 492, (Mir, Moscow, 1962). (in Russ.)
9. Vyatkina O. V., Aralkina M. V., Aralkin O. L., Substrate morphology influence on kinetics of hydroquinone oxidation by means of peroxydase in a system with immobilized enzyme, extracted from root crop of black radish, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **70** (4), 183 (2018) (in Russ.)
10. Vyatkina O. V., Bazhin V. U., Alexandrova D. D., Analysis of the problem of determining the activity of enzyme preparations, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **71** (5), 248 (2019) (in Russ.)

УДК 541.183+544.135

ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ КРАУН-ЭФИРОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Довгий И. И.¹, Бежин Н. А.², Янковская В. С.³

¹*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

²*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия*

³*ЦГиЭ в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе, Севастополь, Россия*
E-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru

Получена серия сорбентов импрегнированного типа на основе различных краун-эфиров и разбавителей для селективного извлечения металлов (стронция, свинца, кобальта, цезия).

Изучена сорбция катионов металлов в динамических условиях, а именно стронция и свинца сорбентами на основе ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6 и спирта-теломера n3 из азотнокислых и солянокислых растворов, ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6 и ионной жидкости из нейтральных и слабокислых растворов, кобальта сорбентами на основе ди-*трет*-бутилдобензо-18-краун-6 и октанола-1 из тиоцианатных растворов, цезия сорбентами на основе дибензо-24-краун-8 из пикратных водно-спиртовых растворов.

Получены выходные кривые сорбции, рассчитаны значения динамической обменной емкости и полной динамической обменной емкости полученных сорбентов.

Ключевые слова: сорбция в динамических условиях, ди-*трет*-бутилдобензо-18-краун-6, ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6, дибензо-24-краун-8, стронций, свинец, кобальт, цезий.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на предпринимаемые усилия по локализации радиоактивных веществ радионуклиды поступают в окружающую среду существенно изменяя естественную радиоактивность почв, природных вод и донных отложений [1]. В связи с этим актуальной является задача разработки новых методов селективного извлечения радионуклидов с целью радиоаналитического мониторинга объектов окружающей среды. Природные воды значительно отличаются по своему составу – значению pH, содержанию микро- и макрокомпонентов. Проблемы выделения и концентрирования радионуклидов из природных вод можно решить с использованием процесса сорбции [2–12].

Полиэфирные макроциклы обладают высокой комплексообразующей способностью по отношению к катионам радионуклидов щелочных и щелочноземельных металлов. Для их эффективного извлечения давно предлагается использовать сорбенты на основе краун-эфиров, которые являются селективными к определенным металлам [13, 14]. Их использование существенно упрощает схему анализа и позволяет выделить катион металла из растворов сложного состава [15–20].

Ранее нами получена и исследована серия сорбентов импрегнированного типа на основе различных носителей (LPS-500, гидрофобизированный силикагель,

Поролас Т), краун-эфиров (ди-*трет*-бутилдобензо-18-краун-6 (ДТБДБ18К6, рис. 1а), ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6, рис. 1б), добензо-24-краун-8 (ДБ24К8, рис. 1в)) и разбавителей (октанол-1, нитробензол, спирт-теломер n3 (1,1,7-тригидрододекафторгептанол $\text{H}-(\text{CF}_2)_6-\text{CH}_2-\text{OH}$), ионная жидкость бис(трифторметилсульфонил)имид 1-бутил-3-метилимидазолия $\text{C}_4\text{mim}^+\text{Tf}_2\text{N}^-$ (рис. 1г)) для селективного извлечения:

- стронция из азотнокислых [21] и нейтральных растворов [22];
- свинца из азотнокислых и солянокислых [23], нейтральных и слабокислых растворов [22];
- кобальта из тиоцианатных растворов [24];
- цезия из пикратных водно-спиртовых растворов [25].

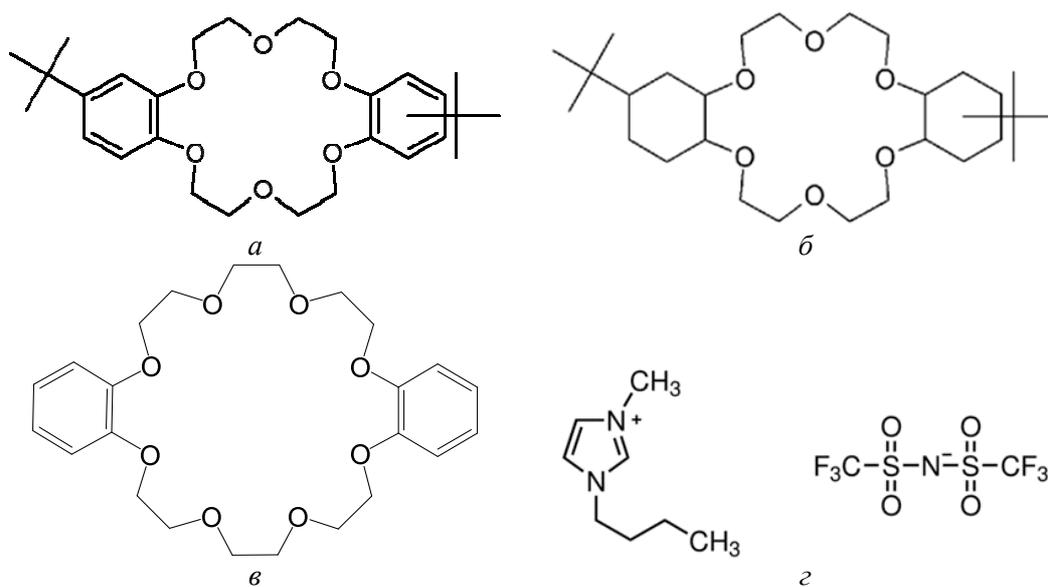


Рис. 1. Структуры: ДТБДБ18К6 (а), ДТБДЦГ18К6 (б), ДБ24К8 (в), ионной жидкости бис(трифторметилсульфонил)имид 1-бутил-3-метилимидазолия $\text{C}_4\text{mim}^+\text{Tf}_2\text{N}^-$ (г)

В настоящей работе приводятся результаты исследования сорбции катионов стронция, свинца, цезия и кобальта в динамических условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы. Использовались ДТБДБ18К6, ДТБДЦГ18К6, ДБ24К8 и ионная жидкость бис(трифторметилсульфонил)имид 1-бутил-3-метилимидазолия $\text{C}_4\text{mim}^+\text{Tf}_2\text{N}^-$ (более 98 % чистоты) производства ООО «Сорбент-Технологии» (г. Москва, Россия), ООО НПП «Поликом» (г. Москва, Россия); стирол-дивинилбензолный носитель LPS-500 (размер частиц 150–250 мкм) производства ООО «Техносорбент» (г. Москва, Россия).

Азотная кислота, соляная кислота, пикриновая кислота (НРис), тиоцианат аммония, метанол, этанол, ацетон, октанол-1, нитробензол, хлороформ (РеаХим, Россия) и спирт-теломер n3 («ГалоПолимер», Россия) имели квалификацию «чда» (чистый для анализа).

Для приготовления исследуемых и градуировочных растворов использовали концентрированную азотную кислоту, соляную кислоту, тиоцианат аммония или пикриновую кислоту и стандартные образцы растворов солей металлов (ООО «Ормет», г. Екатеринбург): Cs – МСО 0160:2004, Sr – МСО 0148:2000, Pb – МСО 0302:2002, Co – МСО 0305:2002.

Методики подготовки носителя и получения сорбентов. Методики подготовки носителя и получения сорбентов подробно описаны в статьях [21, 24].

Характеристики полученных образцов сорбентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики полученных образцов сорбентов

Образец сорбента	Извлекаемый ион	Краун-эфир	Разбавитель	Найдено		Вычислено	
				$C_{кэ}$ в сорбенте, % масс.	$C_{кэ}$ в разбавителе, М	$G_{теор}$, мг/г Ме	
I.1	Sr^{2+}	ДТБДЦГ18К6	спирт-теломер n3	11,7	11,4	1	20,7
I.2		ДТБДЦГ18К6	ионная жидкость	12,3	12,2	1	22,1
II.1	Pb^{2+}	ДТБДЦГ18К6	спирт-теломер n3	8,92	8,83	0,75	37,8
II.2		ДТБДЦГ18К6	ионная жидкость	12,3	12,2	1	52,2
III	Co^{2+}	ДТБДБ18К6	октанол-1	14,2	14,6	1	18,2
IV	Cs^{+}	ДБ24К8	–	8,37	9,09	–	27,0

Изучение сорбционного извлечения металлов в динамических условиях

Для изучения сорбции металлов в динамических условиях использовали стеклянные колонки диаметром 0,7–1 см, заполненные сорбентами для сорбции определенного металла. Для этого один конец колонки плотно закрывали небольшим тампоном из ваты. После этого через свободный конец заполняли колонку сорбентом, прибавляя его небольшими порциями и уплотняя постукиванием по колонке палочкой с резиновым наконечником. Следили за тем, чтобы сорбент ложился равномерно, без пустот, с одинаковой плотностью. После заполнения колонки сорбент промывали водой до прекращения усадки слоя. Заполненную до высоты $3 \cdot d$ см сорбентом колонку закрывали тампоном из ваты.

Далее сорбент I.1 для стронция кондиционировали перед сорбцией пропусканием со скоростью 1 мл/мин 50 мл 3 моль/л раствора азотной кислоты, сорбент I.2 для стронция – 50 мл дистиллированной воды; сорбент II.1 для свинца –

50 мл 3 моль/л раствора азотной кислоты или 50 мл 2 моль/л раствора соляной кислоты; сорбент II.2 для свинца – 50 мл дистиллированной воды или 50 мл 0,1 моль/л раствора азотной кислоты; сорбент III для кобальта – 50 мл 1 моль/л раствора тиоцианата аммония, сорбент IV для цезия – 50 мл 0,01 моль/л раствора пикриновой кислоты с объемной долей этилового спирта 20 % об.

Через подготовленную колонку со скоростью 1 мл/мин пропускали исследуемый раствор. Собирали фракции фильтрата, равные 25 мл, из которых отбирали пробы для анализа проскочивших ионов металла.

Через сорбент I.1 пропускали исследуемый раствор стронция с концентрацией 30 мг/л и концентрацией азотной кислоты 3 моль/л; сорбент I.2 – исследуемый раствор стронция с концентрацией 30 мг/л и pH=7; сорбент II.1 – исследуемый раствор свинца с концентрацией 30 мг/л и концентрацией азотной кислоты 3 моль/л или соляной кислоты 2 моль/л; сорбент II.2 – исследуемый раствор свинца с концентрацией 30 мг/л и pH=7 или концентрацией азотной кислоты 0,1 моль/л; сорбент III – исследуемый раствор кобальта с концентрацией 20 мг/л и концентрацией тиоцианата аммония 1 моль/л; сорбент IV – исследуемый раствор цезия с концентрацией 20 мг/л, концентрацией пикриновой кислоты 0,01 моль/л и объемной долей этилового спирта 20 % об.

Точные значения концентраций металлов в растворах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Квант-2А в пламени «ацетилен-воздух». Относительная погрешность определения концентраций металлов составляет 5–10 %.

Динамическую обменную емкость (ДОЕ) и полную динамическую обменную емкость (ПДОЕ) определяли по формулам:

$$\text{ДОЕ} = \frac{V_{\phi} \cdot C_0}{m_c} \text{ мг/г}, \quad (1)$$

$$\text{ПДОЕ} = \frac{V \cdot C_0 - \sum V_n \cdot C_n}{m_c} \text{ мг/г}, \quad (2)$$

где V_{ϕ} – общий объем фильтрата к моменту появления в нем ионов металла, л; C_0 – концентрация металла в исходном растворе, мг/л; V – общий объем фильтрата к моменту уравнивания с составом исходного раствора, л; V_n – объем порций фильтрата после момента появления в них ионов металла, л; C_n – концентрация порций фильтрата после момента появления в них ионов металла, мг/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные выходные кривые сорбции металлов представлены на рис. 2–6.

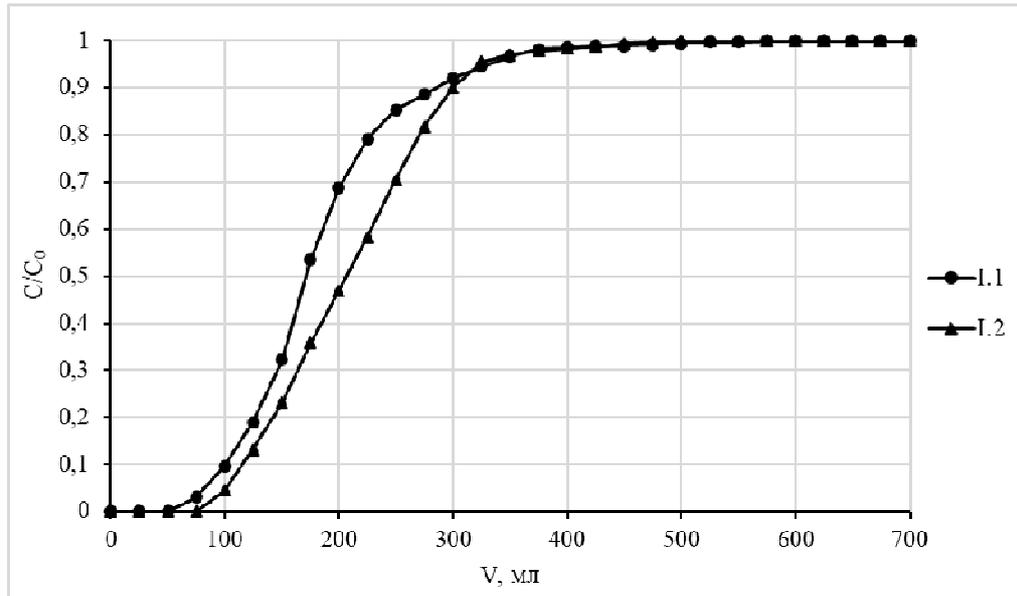


Рис. 2. Выходные кривые сорбции стронция сорбентом I.1 из 3 М азотнокислых растворов и сорбентом I.2 из нейтральных (pH=7) растворов.

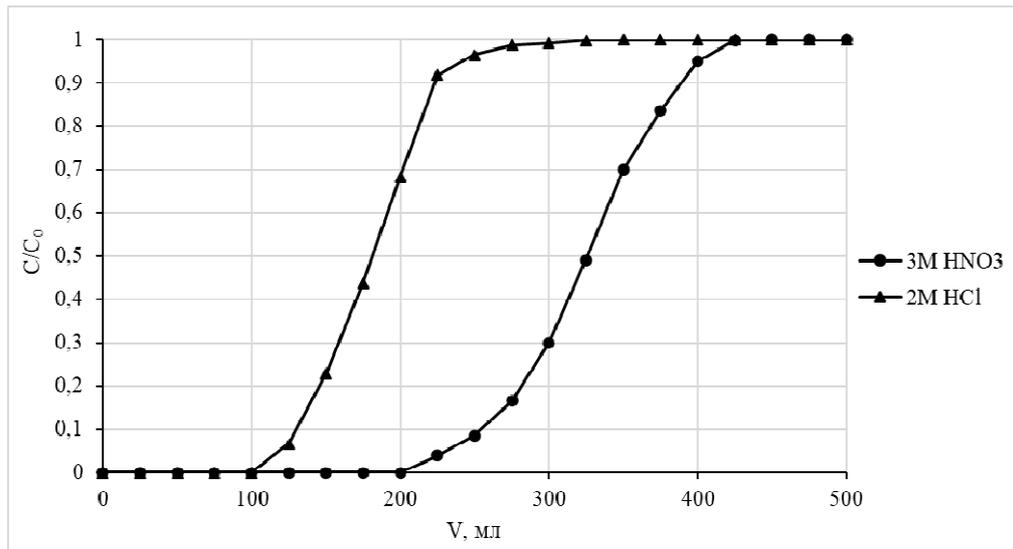


Рис. 3. Выходные кривые сорбции свинца сорбентом II.1 из 3 М азотнокислых и 2 М солянокислых растворов.

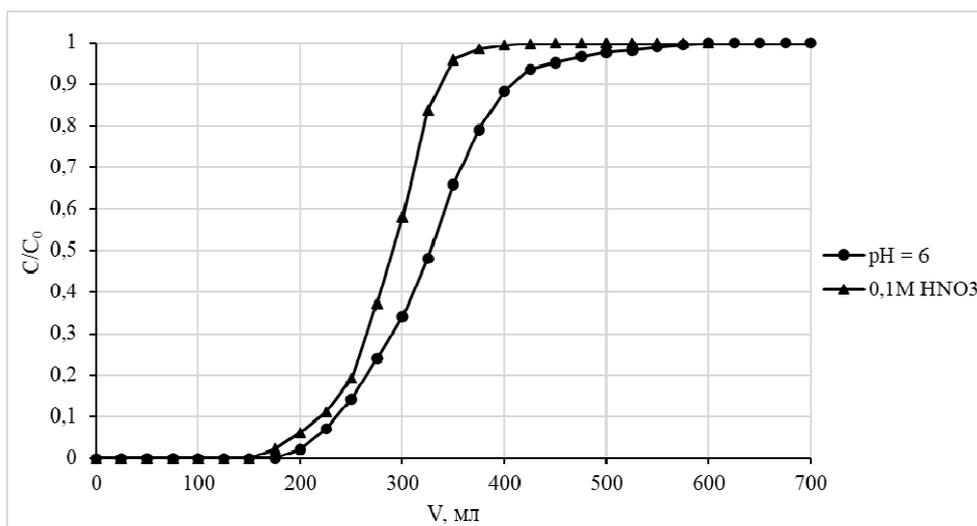


Рис. 4. Выходные кривые сорбции свинца сорбентом II.2 из нейтральных (рН=6) и 0,1 М азотнокислых растворов.

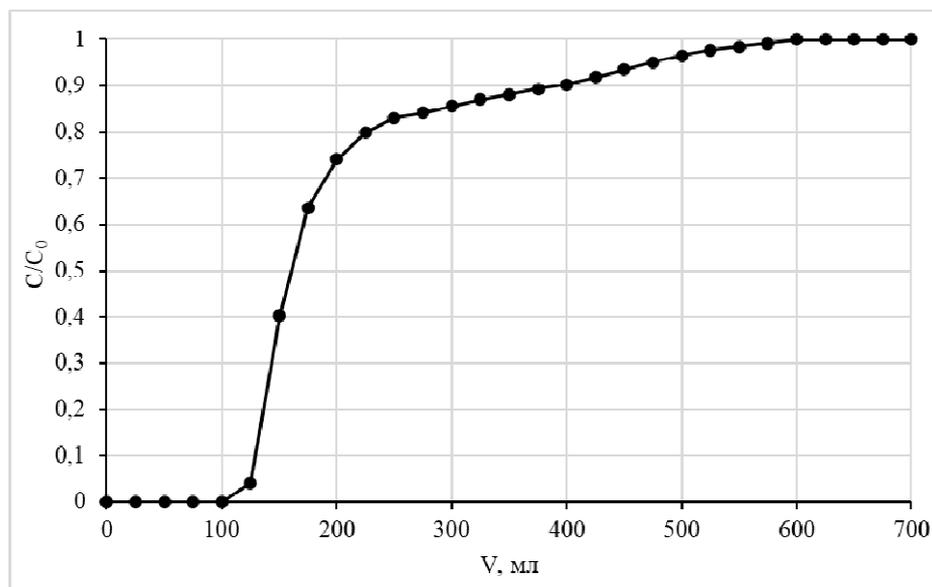


Рис. 5. Выходная кривая сорбции кобальта из 1 моль/л раствора тиоцианата аммония (рН=2).

Формы выходных кривых позволяют судить о емкостных характеристиках и селективности сорбентов к определенным металлам. Более селективные сорбенты имеют S-образную выходную кривую и более высокие значения динамической

обменной емкости, у менее селективных сорбентов форма выходной кривой более выпуклая.

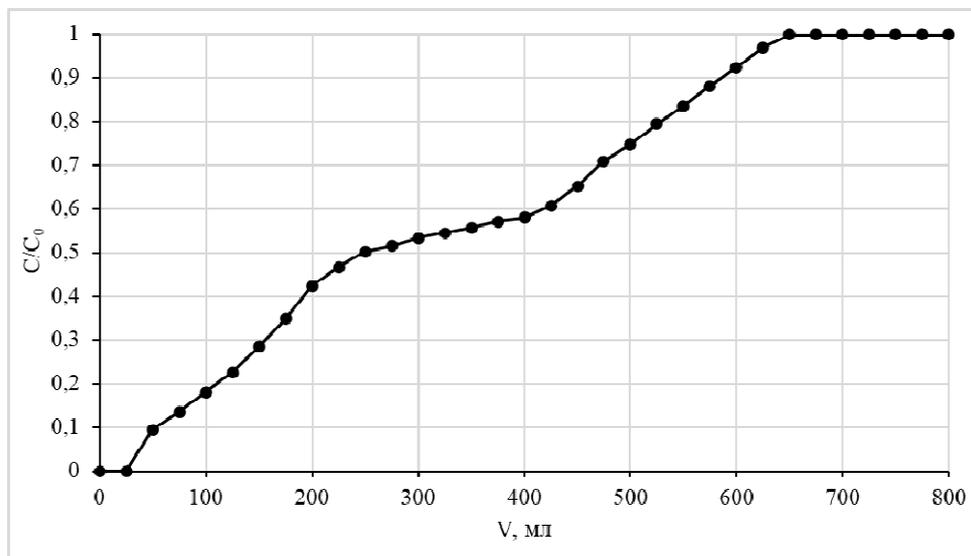


Рис. 6. Выходная кривая сорбции цезия из 0,01 моль/л раствора пикриновой кислоты с объемной долей этилового спирта 20 %.

Полученные при обработке выходных кривых значения объемов фильтрата к моменту появления в нем ионов металла и к моменту уравнивания с составом исходного раствора, а также ДОЕ и ПДОЕ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения объемов фильтрата к моменту появления в нем ионов металла и к моменту уравнивания с составом исходного раствора, ДОЕ и ПДОЕ полученных образцов сорбентов.

Образец сорбента	Извлекаемый катион	Среда	V_{ϕ} , мл (к.о.)	V , мл (к.о.)	ДОЕ, мг/г	ПДОЕ, мг/г
I.1	Sr^{2+}	3 М HNO_3	50 (21)	600 (255)	1,67	6,20
I.2		pH = 6	75 (32)	500 (212)	1,78	4,69
II.1	Pb^{2+}	3 М HNO_3	200 (85)	450 (191)	10,4	16,2
II.2		2 М HCl	100 (42)	350 (149)	4,48	7,53
		pH = 6	175 (74)	600 (255)	8,76	15,7
		0,1 М HNO_3	150 (64)	450 (191)	8,12	14,7
III	Co^{2+}	1 М NH_4SCN (pH = 2)	100 (42)	600 (255)	1,72	3,27
IV	Cs^+	0,01 М $HPic$, 20% об. EtOH	25 (31)	650 (804)	1,23	14,6

Полученные результаты могут быть использованы для оценки объема пробы и количества сорбента, необходимого для концентрирования целевого радионуклида с использованием стабильного изотопа как трассера радиохимического выхода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано извлечение металлов (стронция, свинца, кобальта, цезия) в динамических условиях сорбентами импрегнированного типа на основе различных краун-эфиров и разбавителей.

Получены выходные кривые сорбции металлов. Рассчитаны значения динамической обменной емкости и полной динамической обменной емкости.

Данные могут быть использованы для расчета количества сорбента при заданном объеме пробы и концентрации стабильного изотопа в ней при радиоаналитическом определении в водных растворах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-43-920004 р_а, а также государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2021-0004).

Список литературы

1. Kremenchutskii D. A. Distribution of ^{137}Cs and ^{40}K in the Bottom Sediments of the Balaklava Bay (the Black Sea) / D. A. Kremenchutskii, K. I. Gurov // Physical Oceanology. – 2021. – Vol. 28, No. 2. – P. 191–204.
2. Okamura Y. Cesium removal in fresh water using potassium cobalt hexacyanoferrate-impregnated fibers / Y. Okamura, K. Fujiwara, R. Ishihara [et al.] // Radiation Physics and Chemistry. – 2014. – Vol. 94. – P. 119–122.
3. Maxwell Sh. L. Rapid determination of actinides in seawater samples / Sh. L. Maxwell, B. K. Culligan, J. B. Hutchison [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2014. – Vol. 300. – P. 1175–1189.
4. Милютин В. В. Селективные неорганические сорбенты в современной прикладной радиохимии / В. В. Милютин, Н. А. Некрасова, Е. А. Козлитин // Труды Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 5(31). – С. 418–421.
5. Egorin A. M. Composite Selective Sorbents for Sea Water Decontamination from Cesium and Strontium Radionuclides / A. M. Egorin, T. A. Sokolnitskaya, M. V. Tutov [et al.] // Doklady Physical Chemistry. – 2015. – Vol. 460, No. 1. – P. 10–14.
6. Милютин В. В. Сорбционные технологии в современной прикладной радиохимии / В. В. Милютин, Н. А. Некрасова, О. В. Харитонов [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 313–322.
7. Bokor I. Development and validation of an automated unit for the extraction of radiocaesium from seawater / I. Bokor, S. Sdraulig, P. Jenkinson [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2016. – Vol. 151, No. 3. – P. 530–536.
8. Egorin A. Investigation of Sr uptake by birnessite-type sorbents from seawater / A. Egorin, T. Sokolnitskaya, Yu. Azarova [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2018. – Vol. 317. – P. 243–251.
9. Voronina A. V. Decontamination of seawater from ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides using inorganic sorbents / A. V. Voronina, A. Yu. Noskova, V. S. Semenishchev [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2020. – Vol. 217. – 106210.

10. Betenekov N. D. Sorption of Radium from Tap Water with Inorganic Sorbents / N. D. Betenekov // Radiochemistry. – 2020. – Vol. 62, No 2. – P. 198–203.
11. Ohara E. Removal of low concentration Cs(I) from water using Prussian blue / E. Ohara, T. Soejima, S. Ito // Inorganica Chimica Acta. – 2021. – Vol. 514. – 120029.
12. Matskevich A. I. Study on the adsorption of strontium on granular manganese oxide / A. I. Matskevich, E. A. Tokar', N. P. Ivanov [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2021. – Vol. 327. – P. 1005–1017.
13. Nesterov S. V. Crown ethers in radiochemistry. Advances and prospects / S. V. Nesterov // Russian Chemical Reviews. – 2000. – Vol. 69, No 9. – P. 769–782.
14. Якшин В. В. Закономерности извлечения металлов из хлоридных и нитратных растворов краунсодержащими сорбентами / В. В. Якшин, О. М. Вилкова, Н. А. Царенко [и др.] // Доклады Академии наук. – 1992. – Т. 323, № 2. – С. 334–337.
15. Horwitz E. Ph. A lead-selective extraction chromatographic resin and its application to the isolation of lead from geological samples / E. Ph. Horwitz, M. L. Dietz, S. Rhoads [et al.] // Analytica Chimica Acta. – 1994. – Vol. 292. – P. 263–273.
16. Dietz M. L. Influence of solvent structural variations on the mechanism of facilitated ion transfer into room-temperature ionic liquids / M. L. Dietz, J. A. Dzielawa, I. Laszak [et al.] // Green Chemistry. – 2003. – Vol. 5, No 6. – P. 682–685.
17. Wua Sh.-Ch. Separation of strontium from associated elements with selective specific resin and extraction chromatography / Sh.-Ch. Wua, Ch.-Y. Sun, W.-N. Wang [et al.] // Chinese Chemical Letters. – 2013. – Vol. 24. – P. 633–635.
18. Surman J. J. Development and characterization of a new Sr selective resin for the rapid determination of ^{90}Sr in environmental water samples / J. J. Surman, J. M. Pates, H. Zhang [et al.] // Talanta. – 2014. – Vol. 129. – P. 623–628.
19. Villa-Alfageme M. Rapid determination of ^{210}Pb and ^{210}Po in water and application to marine samples / M. Villa-Alfageme, J. L. Mas, S. Hurtado-Bermudez [et al.] // Talanta. – 2016. – Vol. 160. – P. 28–35.
20. Momen Md. A. Extraction chromatographic materials based on polysulfone microcapsules for the sorption of strontium from aqueous solution / Md. A. Momen, M. L. Dietz // Reactive and Functional Polymers. – 2021. – Vol. 160. – 104829.
21. Bezhin N. A. Sorption of strontium by sorbents on the base of di-(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6 with use of various diluents / N. A. Bezhin, I. I. Dovhyi, A. Yu. Lyapunov // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2017. – Vol. 311, No. 1. – P. 317–322.
22. Bezhin N. A. Sorption of Strontium and Lead by Impregnated Sorbents Based on Di(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6 and an Ionic Liquid / N. A. Bezhin, I. I. Dovhyi, V. V. Milyutin [et al.] // Radiochemistry. – 2019. – Vol. 61, No. 6. – P. 700–706.
23. Bezhin N. A. Impregnated type sorbents for Pb^{2+} recovery from neutral and acidic solutions / N. A. Bezhin, I. I. Dovhyi, A. Yu. Lyapunov [et al.] // Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2019. – Vol. 64, No. 9. – P. 1178–1185.
24. Yankovskaya V. S. Separation of cobalt from thiocyanate solutions by crown ether-based impregnated sorbents / V. S. Yankovskaya, I. I. Dovhyi, V. V. Milyutin [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2017. – Vol. 314, No. 1. – P. 119–125.
25. Guba L. B. Physicochemical characteristics of cesium recovery with a sorbent based on dibenzo-24-crown-8 / L. B. Guba, I. I. Dovhyi, A. Yu. Lyapunov [et al.] // Radiochemistry. – 2015. – Vol. 57, No. 5. – P. 518–521.

EXTRACTION OF METALS WITH SORBENTS ON THE BASE OF CROWN ETHERS UNDER DYNAMIC CONDITIONS

Dovhyi I. I.¹, Bezhin N. A.², Yankovskaya V. S.³

¹*Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia*

²*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

³*Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Crimea and the federal city of Sevastopol, Sevastopol, Russia*

E-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru

Despite the efforts being made to localize radioactive substances, radionuclides enter the environment, significantly changing the natural radioactivity of soils, natural waters and bottom sediments. In this regard, the task of developing new methods for the selective extraction of radionuclides for the purpose of radioanalytical monitoring of environmental objects is urgent.

Natural waters differ significantly in their composition – pH value, content of micro- and macrocomponents. The problems of separation and concentration of radionuclides from natural waters can be solved using the sorption process.

Polyester macrocycles have a high complexing ability in relation to cations of radionuclides of alkali and alkaline earth metals. For their efficient extraction, it has long been proposed to use sorbents on the base of crown ethers, which are selective for certain metals. Their use greatly simplifies the analysis scheme and makes it possible to isolate an element from solutions of complex composition.

We have previously obtained and studied a series of impregnated type sorbents on the base of various supports (LPS-500, hydrophobized silica, Porolas T), crown ethers (di-(*tert*-butylbenzo)-18-crown-6, di-(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6, dibenzo-24-crown-8) and diluents (1-octanol, nitrobenzene, 1,1,7-trihydrododecafluoroheptanol, ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide) for selective sorption of metals (strontium, lead, cobalt, cesium).

This work presents the results of studying the sorption of metals under dynamic conditions, namely, strontium and lead by sorbents on the base of di-(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6 and 1,1,7-trihydrododecafluoroheptanol from nitric and hydrochloric acid solutions, di-(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6 and ionic liquid from neutral and weakly acidic solutions, cobalt by sorbents on the base of di-(*tert*-butylbenzo)-18-crown-6 and 1-octanol from thiocyanate solutions, cesium by sorbents on the base of dibenzo-24-crown-8 from picrate water-alcohol solutions.

The output curves of sorption, the values of the filtrate volumes by the time of the appearance of metal ions in it and by the time of equalization with the composition of the initial solution were obtained, the values of the dynamic exchange capacity and the total dynamic exchange capacity of the obtained sorbents were calculated.

The results obtained can be used to estimate the volume of the sample and the amount of sorbent required to concentrate the target radionuclide using a stable isotope as a tracer of radiochemical yield.

Keywords: sorption, dynamics, di-(*tert*-butylbenzo)-18-crown-6, di-(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6, dibenzo-24-crown-8, strontium, lead, cobalt, cesium.

References

1. Kremenchutskii D. A., Gurov K. I. Distribution of ^{137}Cs and ^{40}K in the Bottom Sediments of the Balaklava Bay (the Black Sea), *Physical Oceanology*, **28**, 2, 191 (2021).
2. Okamura Y., Fujiwara K., Ishihara R. [et al.] Cesium removal in fresh water using potassium cobalt hexacyanoferrate-impregnated fibers, *Radiation Physics and Chemistry*, **94**, 119 (2014).
3. Maxwell Sh. L., Culligan B. K., Hutchison J. B. [et al.], Rapid determination of actinides in seawater samples, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **300**, 1175 (2014).
4. Milyutin V. V., Nekrasova N. A., Kozlitsin E. A. Selective inorganic sorbents in modern applied radiochemistry, *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **5** (31), 418 (2015). (*in Russ.*).
5. Egorin A. M., Sokolnitskaya T. A., Tutov M. V. [et al.] Composite Selective Sorbents for Sea Water Decontamination from Cesium and Strontium Radionuclides, *Doklady Physical Chemistry*, **460**, 1, 10 (2015).
6. Milyutin V. V., Nekrasova N. A., Kharitonov O. V. [et al.] Sorption technologies in modern applied radiochemistry, *Sorption and chromatographic processes*, **16**, 3, 313 (2016). (*in Russ.*).
7. Bokor I., Sdraulig S., Jenkinson P. [et al.] Development and validation of an automated unit for the extraction of radiocesium from seawater, *Journal of Environmental Radioactivity*, **151**, 3, 530 (2016).
8. Egorin A., Sokolnitskaya T., Azarova Yu. [et al.] Investigation of Sr uptake by birnessite-type sorbents from seawater, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **317**, 243 (2018).
9. Voronina A. V., Noskova A. Yu., Semenishchev V. S. [et al.] Decontamination of seawater from ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides using inorganic sorbents, *Journal of Environmental Radioactivity*, **217**, 106210 (2020).
10. Betenekov N. D. Sorption of Radium from Tap Water with Inorganic Sorbents, *Radiochemistry*, **62**, 2, 198 (2020).
11. Ohara E., Soejima T., Ito S. Removal of low concentration Cs(I) from water using Prussian blue, *Inorganica Chimica Acta*, **514**, 120029 (2021).
12. Matskevich A. I., Tokar' E. A., Ivanov N. P. [et al.] Study on the adsorption of strontium on granular manganese oxide, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 327, 1005 (2021).
13. Nesterov S. V. Crown ethers in radiochemistry. Advances and prospects, *Russian Chemical Reviews*, **69**, 9, 769 (2000).
14. Yakshin V. V., Vilkova O. M., Tsarenko N. A. [et al.] Regularities of metal extraction from chloride and nitrate solutions with crown-containing sorbents, *Reports of the Academy of Sciences*, **323**, 2, 334 (1992). (*in Russ.*).
15. Horwitz E. Ph., Dietz M. L., Rhoads S. [et al.] A lead-selective extraction chromatographic resin and its application to the isolation of lead from geological samples, *Analytica Chimica Acta*, **292**, 263 (1994).
16. Dietz M. L., Dzielawa J. A., Laszak I. [et al.] Influence of solvent structural variations on the mechanism of facilitated ion transfer into room-temperature ionic liquids, *Green Chemistry*, **5**, 6, 682 (2003).
17. Wua Sh.-Ch., Sun Ch.-Y., Wang W.-N. [et al.] Separation of strontium from associated elements with selective specific resin and extraction chromatography, *Chinese Chemical Letters*, **24**, 633 (2013).
18. Surman J. J., Pates J. M., Zhang H. [et al.] Development and characterization of a new Sr selective resin for the rapid determination of ^{90}Sr in environmental water samples, *Talanta*, **129**, 623 (2014).
19. Villa-Alfageme M., Mas J. L., Hurtado-Bermudez S. [et al.] Rapid determination of ^{210}Pb and ^{210}Po in water and application to marine samples, *Talanta*, **160**, 28 (2016).
20. Momen Md. A., Dietz M. L. Extraction chromatographic materials based on polysulfone microcapsules for the sorption of strontium from aqueous solution, *Reactive and Functional Polymers*, **160**, 104829 (2021).
21. Bezhin N. A., Dovhyi I. I., Lyapunov A. Yu. Sorption of strontium by sorbents on the base of di-(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6 with use of various diluents, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **311**, 1, 317 (2017).

22. Bezhin N. A., Dovhyi I. I., Milyutin V. V. [et al.] Sorption of Strontium and Lead by Impregnated Sorbents Based on Di(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 and an Ionic Liquid, *Radiochemistry*, **61**, **6**, 700 (2019).
23. Bezhin N. A., Dovhyi I. I., Lyapunov A. Yu. [et al.] Impregnated type sorbents for Pb²⁺ recovery from neutral and acidic solutions, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, **64**, **9**, 1178 (2019).
24. Yankovskaya V. S., Dovhyi I. I., Milyutin V. V. [et al.] Separation of cobalt from thiocyanate solutions by crown ether-based impregnated sorbents, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **314**, **1**, 119 (2017).
25. Guba L. B., Dovhyi I. I., Lyapunov A. Yu. [et al.] Physicochemical characteristics of cesium recovery with a sorbent based on dibenzo-24-crown-8, *Radiochemistry*, **57**, **5**, 518 (2015).

УДК 546.562 + 547.785.51

**КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ МЕДИ(II) НА ОСНОВЕ
ГИДРАЗИДА И САЛИЦИЛИДЕНГИДРАЗОНА
[2-(γ -ГИДРОКСИПРОПИЛБЕНЗИМИДАЗОЛ-1-ИЛ)ЭТАНОВОЙ КИСЛОТЫ:
СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА**

Сарнит Е. А.¹, Баевский М. Ю.¹, Коновалов Б. М.¹, Мельникова Е. Д.²

¹*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

²*Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

E-mail: easarnit@mail.ru

Описаны методики синтеза гидразида и салицилиденгидразона [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты, которые выступили в качестве пролигандов для синтеза координационных соединений меди(II). Показано, что стандартные методики синтеза гидразидов и ацилгидразонов применимы и к производным бензимидазола. Органические соединения идентифицированы по данным элементного анализа, ПМР- и ИК-спектроскопии. Состав комплексов меди(II) установлен по данным элементного и термogrавиметрического анализов и отвечает соотношению металл/гидразид 1:2 и металл/ацилгидразон 1:1. Способ координации органических лигандов определен по данным инфракрасной спектроскопии: [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]ацетогидразид является одноосновным бидентатным лигандом, координируется через атомы кислорода и азота гидразидного фрагмента; салицилиденгидразон [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты является двухосновным тридентатным лигандом, координирован через атомы кислорода и азота гидразидного фрагмента, а также атом кислорода феноксидного фрагмента.

Ключевые слова: координационные соединения меди(II), бензимидазол, гидразид, основание Шиффа, ацилгидразон, салицилиденгидразон.

ВВЕДЕНИЕ

Производные бензимидазола вследствие структурной близости к пуринам обладают широким спектром биологической активности, что делает их весьма перспективными объектами для фармацевтической химии. Производные бензимидазола используются в многочисленных терапевтических препаратах, обладающих широким спектром биологического действия: противомикробные средства («Беномил», «Мебендазол», «Вермокс», «Вормин», «Гельминдазол»), противоопухолевые («Бисбензimid»), противовоспалительные («Опрен», «Орафлекс»), ингибиторы протонного насоса и препараты для лечения кислотозависимых заболеваний желудочно-кишечного тракта («Дибазол», «Альбендазол», «Омепразол»), антигипертензивные средства («Гипосард», «Атаканд», «Телпрес», «Телсартан», «Микардис»), антикоагулянты («Прадакса»),

антидиабетические средства («Флоризин») [1–4]. Система колец молекулы бензимидазола выступает как подходящая матрица для синтеза различных производных по месту NH- и CH- и группировок за счёт реакций алкилирования в положения 1 и 2 имидазольного кольца бензимидазола соответственно [5, 6].

Цель данной работы – показать, что стандартные методы получения гидразидов и ацилгидразонов применимы и к производным бензимидазола: синтезировать гидразид и получить на его основе салицилиденгидразон [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты и изучить комплексообразование полученных соединений с катионом меди(II), определить состав и строение полученных комплексов. Синтез комплексов меди(II) выбран по причине того, что согласно литературным данным, комплексообразование с медью(II) в большинстве случаев приводит к увеличению биологической активности гидразидов и ацилгидразонов [7, 8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Элементный анализ синтезированных соединений выполнен на элементном CHN-анализаторе «Euro EA Elemental Analyser» (кафедра общей и физической химии Таврической академии КФУ, г. Симферополь).

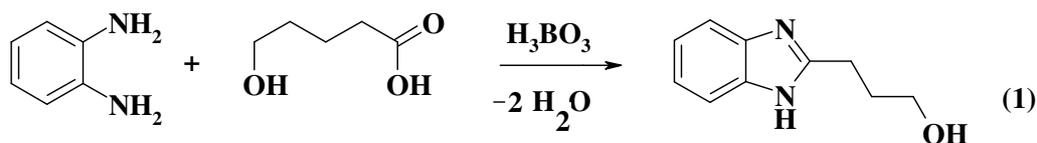
Термогравиметрические исследования синтезированных комплексов выполнены на термогравиметрическом дифференциальном термическом анализаторе «STA 6000» (кафедра общей и физической химии ТА КФУ).

Инфракрасные спектры поглощения зарегистрированы на ИК-Фурье спектрометре «Perkin Elmer» (кафедра общей и физической химии Таврической академии КФУ, г. Симферополь).

В работе использованы: *o*-фенилендиамин («х.ч»), 4-гидроксимасляная кислота («х.ч»), хлоруксусная кислота («х.ч»), пропанол-2 («х.ч»), гидразин-гидрат («х.ч»), борная кислота («х.ч»), салициловый альдегид («х.ч»), моногидрат ацетата меди(II) «х.ч», в качестве растворителя при синтезе комплексов использован этанол.

Получение [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]ацетогидразида (HL^1) и салицилиденгидразона на его основе (H_2L^2), используемых в дальнейшем в качестве лигандов, включает следующие стадии:

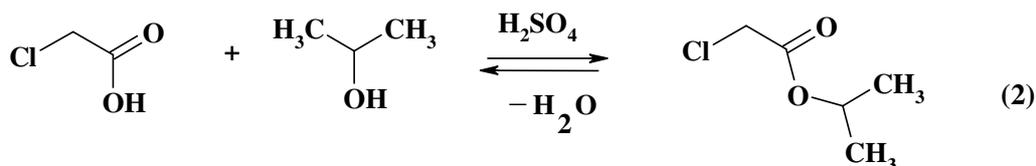
1) Синтез 2- γ -гидроксипропилбензимидазола (схема 1).



В химический стакан поместили 6,2 г (0,1 моль) борной кислоты, 10,8 г (0,1 моль) 1,2-фенилендиамина и 15,6 г (0,15 моль) γ -гидроксимасляной кислоты. Реакционную массу нагрели до начала интенсивной реакции (125–130 °С). После

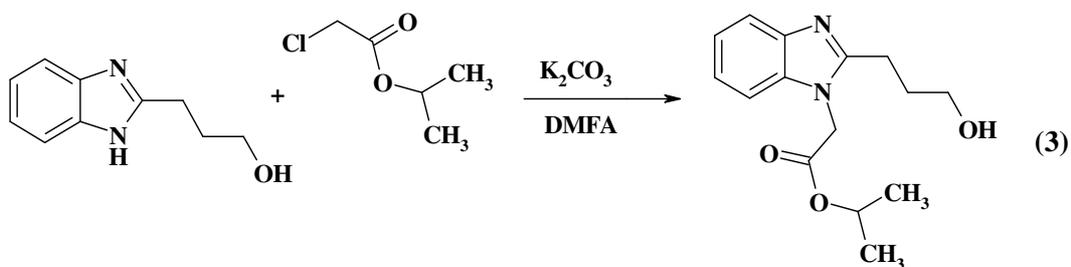
прекращения бурного выделения воды реакцию массу охладили до температуры 85–90 °С и к сплаву добавили 100 мл горячей воды (> 50 °С). Реактор нагрели до полного растворения сплава и добавили измельченный активированный уголь. Смесь прокипятили в течение 10 минут и отфильтровали уголь. Раствор охладили до комнатной температуры и нейтрализовали 25% водным раствором аммиака. Выпавший осадок бензимидазола отфильтровали и высушили на воздухе. Полученное соединение представляет собой кристаллическое вещество коричневого цвета, устойчивое на воздухе. Выход продукта – 83%.

2) Синтез *втор*-пропилового эфира хлоруксусной кислоты (схема 2).



В круглодонную колбу емкостью 1 л с делительной насадкой и обратным холодильником поместили 94,5 г (1 моль) хлоруксусной кислоты, 120 г (2 моль) пропанола-2, 270 мл (1 моль) бензола и 3,5 г концентрированной серной кислоты (96%). Содержимое колбы нагревали на плитке с асбестом в течение 12 часов. Смесь паров бензола, спирта и выделившейся во время реакции воды конденсировалась в обратном холодильнике. Конденсат собирался в делительной насадке. После 8 часов кипячения вода перестала отслаиваться. Общий объем водного слоя составил 24,5 мл. После 12 часов нагревания содержимое колбы охладили, отмыли водой три раза, и упарили. Остаток после упаривания перегнали в вакууме. Первую фракцию собирали при температуре от 28 °С до 57,5 °С и 17 мм рт. ст. После этого собрали главную фракцию в пределах 58 °С при 16 мм рт. ст. Полученное вещество – бесцветная жидкость. Выход продукта – 85%.

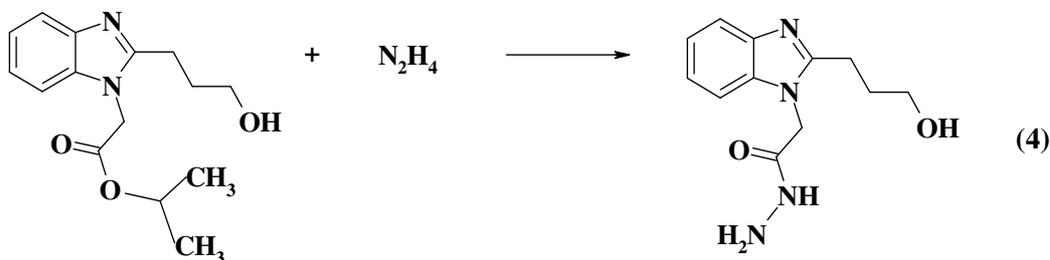
3) Синтез *втор*-пропилового эфира (2-γ-гидроксипропил-бензимидазол-1-ил)уксусной кислоты (схема 3).



При алкилировании в слабощелочной среде *втор*-пропиловым эфиром хлоруксусной кислоты 2-γ-гидроксипропилбензимидазола образуется *втор*-пропиловый эфир [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]уксусной кислоты. В колбу поместили 26,4 г (0,15 моль) 2-(γ-гидроксипропил)бензимидазола, 27,3 (0,2 моль) *втор*-пропилового эфира хлоруксусной кислоты, 27,6 г (0,2 моль) карбоната

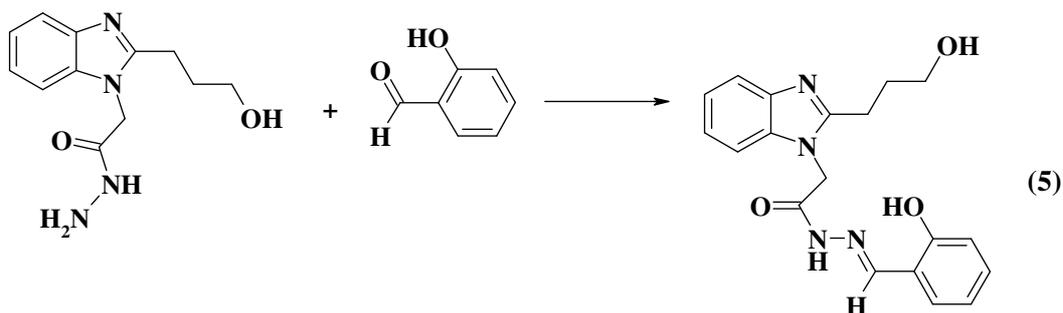
калия и 50 мл диметилформаида. Смесь поставили на нагрев при перемешивании на магнитной мешалке в течение 12 часов. После этого в смесь добавили ≈ 100 мл холодной воды. Полученное вещество отделили на делительной воронке, эфир бесцветная жидкость; выход продукта – 81%.

4) Синтез [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]ацетогидразида (схема 4).



В круглодонную колбу поместили *втор*-пропиловый эфир (2- γ -гидроксипропилбензимидазол-1-ил) уксусной кислоты, 50 мл пропанола-2 и 20 мл гидразин-гидрата (Схема 4). Смесь кипятили с воздушным холодильником в течение одного часа. Полученный осадок отфильтровали на воронке Бюхнера и высушили. Полученный гидразид – кристаллическое вещество белого цвета, выход продукта – 87%.

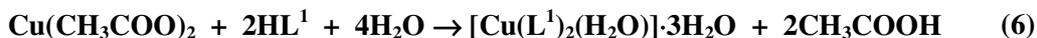
5) Синтез салицилиденгидразона [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты (схема 5).



Салицилиденгидразон получен в результате реакции синтезированного гидразида с избытком салицилового альдегида, катализатор – уксусная кислота. В коническую плоскодонную колбу поместили 12,4 г (0,05 моль) гидразида (2- γ -гидроксипропил-бензимидазол-1-ил)уксусной кислоты, 50 мл этанола (растворитель) и нагревали при перемешивании на магнитной мешалке до получения однородной суспензии, затем добавили и 8,3 мл (0,075 моль, 50 %-ный избыток) салицилового альдегида и 1 мл ледяной уксусной кислоты (катализатор). Смесь кипятили с обратным холодильником в течение 30 мин. Полученный осадок выдержали 1 сутки, затем отфильтровали на воронке Бюхнера и высушили на

воздухе. Полученный салицилиденгидразон представляет собой кристаллическое вещество светло-желтого цвета; получили 16,2 продукта (выход – 92 %).

6) Синтез координационного соединения меди(II) на основе гидразида [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты (HL¹) (схема 6).



Комплекс меди(II) получен при взаимодействии спиртовой суспензии гидразида с водным раствором кристаллогидрата ацетата меди(II) в соотношении 2 : 1 при 10 %-ном избытке соли. В плоскодонную колбу поместили 1,24 г (0,005 моль) гидразида [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты, добавили 50 мл водного этанола, нагревали и перемешивали до образования однородной суспензии, затем добавили 2,2 г (0,011 моль) моногидрата ацетата меди(II), продолжали нагрев и перемешивание в течение 1 часа. Выдержали осадок комплекса 1 сутки в маточном растворе, после чего осадок отфильтровали, промыли водой до удаления избытка соли меди(II), затем этанолом и высушили на воздухе, масса продукта 2,7 г (выход продукта – 86 %). Комплексы меди(II) представляют собой мелкокристаллические вещества светло-зеленого цвета, нерастворимые в воде, этаноле.

7) Синтез комплекса меди(II) на основе салицилиденгидразона [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты (H₂L²) (схема 7).



Комплекс меди(II) получен при взаимодействии спиртовой суспензии ацилгидразона с водным раствором кристаллогидрата ацетата меди(II) в соотношении 1 : 1 при 10 %-ном избытке соли. В плоскодонную колбу поместили 1,76 г (0,005 моль) салицилиденгидразона [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты, добавили 50 мл водного этанола, нагревали и перемешивали до образования однородной суспензии, затем добавили 1,1 г (0,0055 моль) моногидрата ацетата меди(II), продолжали нагрев и перемешивание в течение 1 часа. Выдержали осадок комплекса 1 сутки в маточном растворе, после чего осадок отфильтровали, промыли водой до удаления избытка соли меди(II), затем этанолом и высушили на воздухе, масса продукта 2,1 г (выход продукта – 86 %). Комплексы меди(II) представляют собой мелкокристаллические вещества светло-зеленого цвета, нерастворимые в воде, этаноле.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Идентификация гидразида и салицилиденгидразона

[2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты

По данным элементного анализа гидразида (HL¹): найдено, ω%: С – 58,12; Н – 6,53; N – 22,71; для C₁₂H₁₆N₄O₂ вычислено, ω%: С – 58,06; Н – 6,45; N – 22,58. Данные ЯМР-спектроскопии для HL¹: ¹H-ЯМР (600 МГц, DMSO-D₆): 7,6–7,7 дд (2H

аром. система); 7,3–7,4 дд (2H аром. система); 5,0 с (2H; (-CH₂-)); 3,5т (2H; (α-CH₂-)); 3,0 т (2H; (γ-CH₂-)); 1,9 к (2H(β-CH₂-)).

По данным элементного анализа салицилиденгидразона (H₂L²): найдено, ω%: С – 64,71; Н – 5,82; N – 16,02; для C₁₉H₂₀N₄O₃ вычислено, ω%: С – 64,77; Н – 5,68; N – 15,91. Данные ЯМР-спектроскопии для H₂L²: ¹H-ЯМР (600 МГц, DMSO-D₆): 8,1–8,3 дд (2H аром. система карбонильного фрагмента ацилгидразона); 7,8–7,6 дд (2H аром. система бензимидазольного фрагмента ацилгидразона); 7,3–7,4 дд (2H аром. система); 4,8 с (2H; (-CH₂-)); 3,7 т (2H; (α-CH₂-)); 3,1 т (2H; (γ-CH₂-)); 2,0 к (2H(β-CH₂-)).

Состав координационных соединений меди(II)

Комплексы меди(II) получены при взаимодействии спиртовой суспензии гидразида (в соотношении 1:1) или соответствующего ацилгидразона (в соотношении 2:1) с водным раствором кристаллогидрата ацетата меди(II) при 10%-ном избытке соли. Комплексы представляют собой мелкокристаллические вещества светло-зеленого цвета, нерастворимые в воде, этаноле.

Данные дифференциального термического и термогравиметрического анализа комплексов меди(II) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные дифференциального термического и термогравиметрического анализа комплексов меди(II) на основе гидразида (HL¹) и салицилиденгидразона (H₂L²) [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты.

Соединение (№)	Интервал температур по кривой ДТА, °С	Экстремум по кривой ДТА, °С	Δ m, % найдено/вычислено	Процесс
[Cu(L ¹) ₂ (H ₂ O)]·3H ₂ O (1)	70–100	95(-)	8,6 / 9,0	- 3H ₂ O
	100–140	120(-)	11,4 / 12,0	- H ₂ O
	140–290	210 (+)	32,0 / –	термоокислительная деструкция
	290–780	620 (+)	86,0 /	выгорание органического остатка
[Cu(L ²)(H ₂ O) ₂]·2H ₂ O (2)	90–110	100 (-)	8,0 / 7,4	- 2H ₂ O
	110–180	120(-)	15,0 / 14,8	- 2H ₂ O
	180–360	210 (+)	40,0 / –	термоокислительная деструкция
	360–720	620 (+)	81,0 / –	выгорание органического остатка

Данные инфракрасной спектроскопии и строение комплексов меди(II)

ИК-спектр HL^1 ($\bar{\nu}_{\max}$, cm^{-1}): 3300 $\nu(OH)$; 3260 $\nu_{as}(-NH_2)$; 3220 $\nu_s(-NH_2)$; 3065 $\nu(NH)$; 2965; 2940; 2855; 2725 $\nu(C_{ар.}-H)$; 1676 (амид-I); 1625 (амид-II); 1525; 1490; 1380 $\nu(C_{ар.}-C_{ар.})$; 1452 $\nu(C-N)$; 1141; 1099; 960 $\sigma(C_{ар.}-H)$; 1074 $\nu(N-N)$; 915; 865; 830; 788; 752; 670 $\gamma(C_{ар.}-H)$.

ИК-спектр H_2L^2 ($\bar{\nu}_{\max}$, cm^{-1}): 3250 $\nu(OH)$; 3065 $\nu(NH)$; 2967; 2936; 2856; 2730 $\nu(C_{ар.}-H)$; 1665 (амид-I); 1610 (амид-II); 1526; 1488 $\nu(C_{ар.}-C_{ар.})$; 1452 $\nu(C-N)$; 1377 $\sigma(C-OH)$; 1216 $\nu(C=N)$; 1295 $\nu(C-O)_{фен.}$; 1135; 1100; 957 $\sigma(C_{ар.}-H)$; 1071 $\nu(N-N)$; 912; 865; 831; 788; 752; 670; 656; 626 $\gamma(C_{ар.}-H)$.

С целью определения способа координации проведен сравнительный анализ ИК-спектров поглощения свободных и координированных лигандов. В табл. 2 приведены наиболее информативные полосы поглощения в ИК-спектре комплекса 1 в сравнении с полосами поглощения группировок, через которые возможна координация, в ИК-спектре гидразида [2-(γ -гидроксипропил)-бензимидазол-1-ил]этановой кислоты.

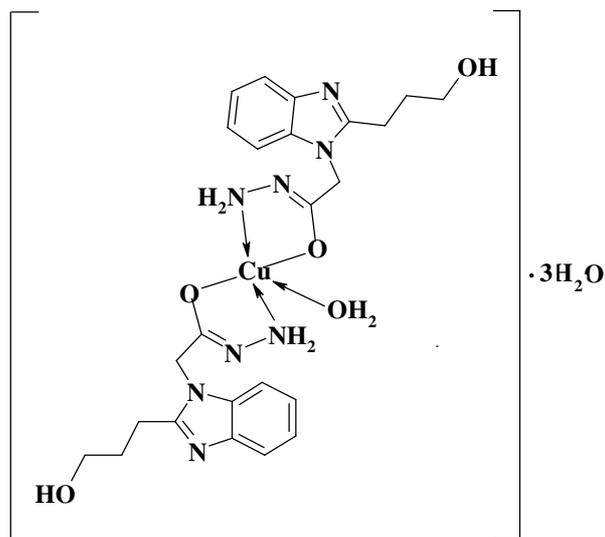
Таблица 2

**Основные полосы поглощения ($\bar{\nu}_{\max}$, cm^{-1})
в инфракрасном спектре комплекса меди(II) на основе гидразида
[2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты (HL^1)**

Соединение	$\nu(-OH)$	$\nu_{as}(-NH_2)$	$\nu_s(-NH_2)$	«Амид-I»	«Амид-II»	$\nu(C=N)$	ν 
HL^1	3300	3260	3220	1676 (с.)	1625 (с.)	–	–
Комплекс 1	3650–3100 (ш.)			–	–	1646	1600

На основании проведенных исследований комплексу на основе гидразида [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой можно приписать следующее строение: гидразид в $[Cu(L^1)_2(H_2O)] \cdot 3H_2O$ (**1**) координирован в однократно депротонированной форме с образованием устойчивого пятичленного хелатного цикла, координация осуществляется через атом кислорода и атом азота гидразидного фрагмента, о чем свидетельствует исчезновение в спектре комплекса полос поглощения, отвечающих колебаниям «амид-I» и «амид-II», и появление двух новых полос при 1646 и 1600 cm^{-1} , отвечающих колебаниям связи $C=N$ и группировки $-C(O)=N-$ соответственно, что подтверждает переход гидразида при координации в депротонированную оксиазинную форму. Гидроксогруппа 2-(γ -гидроксипропил)бензимидазольного фрагмента в координации не участвует, что связано с её достаточно удаленным расположением (полоса, отвечающая $\nu(C-O)$ в спектре комплекса реализована при 1144 cm^{-1} , а в спектре гидразида при 1140 cm^{-1}). На участие в составе комплекса координированных и кристаллизационных молекул

воды указывает уширение полосы валентных асимметричных и симметричных колебаний аминогруппы координированного гидразида до 3650–3100 см⁻¹.



[Cu(L¹)₂(H₂O)]·3H₂O (1)

В табл. 3 приведены наиболее информативные полосы поглощения в ИК-спектре комплекса **2** в сравнении с полосами поглощения группировок, через которые возможна координация, в ИК-спектре салицилиденгидразона [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты.

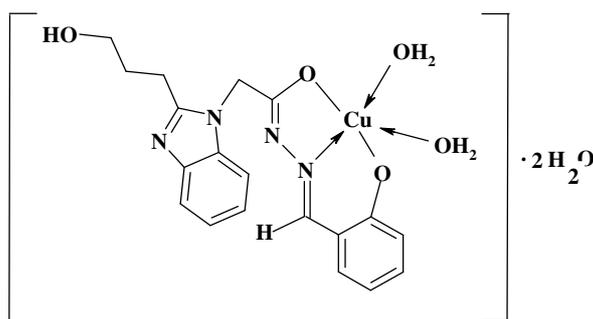
Таблица 3

Основные полосы поглощения ($\bar{\nu}$ max, см⁻¹) в инфракрасном спектре комплекса меди(II) на основе салицилиденгидразона [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты (H₂L²)

Соединение	ν(-OH) + ν(-NH)		«Амид-I»	«Амид-II»	ν(C-O)	ν (>C=N- N=C<)	ν 
H ₂ L ²	3350	3250	1665 (с.)	1640 (с.)	1295	–	–
Комплекс 2	3600–3100 (ш.)		–	–	1283	1634	1590

На основании проведенных исследований комплексу на основе салицилиденгидразона [2-(γ-гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой можно присписать следующее строение: салицилиденгидразон в [Cu(L²)(H₂O)₂]**2** также координирован с образованием устойчивых пятичленного и шестичленного хелатных циклов, координация осуществляется через атом кислорода и атом азота

гидразидного фрагмента, о чем свидетельствует исчезновение в спектре комплекса полос поглощения, отвечающих колебаниям «амид-I» и «амид-II» и появление двух новых полос при 1634 и 1590 см^{-1} , отвечающих колебаниям группировок $>\text{C}=\text{N}-\text{N}=\text{C}<$ и $-\text{C}(\text{O}^-)=\text{N}-$ соответственно, что подтверждает переход ацилгидразона при координации в депротонированную оксиазинную форму. На участие в составе комплекса молекул воды указывает широкая полоса поглощения при 3600–3100 см^{-1} , отвечающая валентным колебаниям связи $\text{O}-\text{H}$ кристаллизационных и координированных молекул воды. Гидроксогруппа 2-(γ -гидроксипропил)-бензимидазольного фрагмента в координации не участвует, что связано с её достаточно удаленным расположением: полоса, отвечающая $\nu(\text{C}-\text{O})$ в спектре комплекса реализована при 1152 см^{-1} , а в спектре ацилгидразона при 1143 см^{-1} .



$[\text{Cu}(\text{L}^2)(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (2)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате работы синтезированы и исследованы гидразид и салицилиденгидразон [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты; показано, что стандартные методики синтеза гидразидов и ацилгидразонов применимы и к производным бензимидазола.
2. Перевод гидразида в салицилиденгидразон приводит к повышению устойчивости соединения, так как хранение гидразида [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты на воздухе приводит к его окислению.
3. Показано, что гидразид [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты в комплексе $[\text{Cu}(\text{L}^1)_2(\text{H}_2\text{O})] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (**1**) является бидентатным лигандом: координирован в однократно депротонированной форме через атом кислорода и атом азота гидразидного фрагмента.
4. Установлено, что салицилиденгидразон [2-(γ -гидроксипропил)бензимидазол-1-ил]этановой кислоты в комплексе $[\text{Cu}(\text{L}^2)(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (**2**) является тридентатным лигандом: координирован с образованием устойчивых пяти- и шестичленного хелатных циклов через атом кислорода и атом азота гидразидного фрагмента, а также феноксидный атом кислорода карбонильного фрагмента ацилгидразона.

Список литературы

1. Машковский Д. М. Лекарственные средства / Д. М. Машковский; Изд. 16. – М.: Новая волна, 2020. – 1216 с.
2. Vekariya N. A. Synthesis of isoxazoles and quinoxalines as potential anticancer agents / N. A. Vekariya // Indian Journal of Chemistry. – 2003. – Vol. 42B. – P. 421–424.
3. Bansal Y. The therapeutic journey of benzimidazoles: A review / Y. Bansal, O. Silakari // Bioorganic & Medical Chemistry. – 2012. – Vol. 20, № 21. – P. 6208–6236.
4. Спасов А. А. Антисеротониновая активность производных трициклических бензимидазольных систем / А. А. Спасов, М. В. Черников, Д. С. Яковлев и др. // Хим.- фармац. журн.– 2006. – Т. 40, №11. – С.23–26.
5. Пожарский А. Ф. Синтез N-алкилбензимидазолов / А. Ф. Пожарский, А. Н. Симонов // Журн. общ. химии. – 1963. – Т. 33. – С. 2350–2358.
6. Джоул Дж. Химия гетероциклических соединений / Дж. Джоул, К. Миллс; пер с англ. Ф. В. Зайцева, А. В. Карчава. – М.: Мир, 2004. – С. 625–630.
7. Яцимирский К. Б. Биологические аспекты координационной химии / К. Б. Яцимирский. – К.: Наукова думка, 1977. – 367 с.
8. Пашевская Н. В. Влияние условий синтеза на состав и строение координационных соединений меди(II) с бензимидазолом / Н. В. Пашевская, М. А. Назаренко, С. Н. Болотин, А. И. Офлиди, В. Т. Панюшкин // Журн. неорганической химии. – 2010. – Т. 55, № 9. – С. 1510–1517.

COORDINATION COMPOUNDS OF COPPER(II) ON THE BASE OF HYDRAZIDE AND SALICYLIDENE HYDRAZONE OF [2-(γ -HYDROXYPROPYL)BENZIMIDAZOL-1-YL]ETHANOIC ACID: SYNTHESIS, STRUCTURE AND PROPERTIES

Sarnit E. A., Baevsky M. Yu., Konovalov B. M., Melnikova E. D.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: easarnit@mail.ru*

Methods for the synthesis of [2-(γ -hydroxypropyl)benzimidazol-1-yl]ethanoic acid hydrazide and [2-(γ -hydroxypropyl)benzimidazol-1-yl]ethanoic acid salicylidene hydrazone, which acted as proligands for the synthesis of copper(II) coordination compounds, are described. It was shown that standard methods for the synthesis of hydrazides and acyl hydrazones are applicable to benzimidazole derivatives. Organic compounds were identified by elemental analysis, PMR and IR spectroscopy.

Complexation with copper(II) cations was chosen due to the fact that, according to literature data, complexation with copper(II) salts in most cases leads to an increase in the biological activity of hydrazides and acyl hydrazones. The composition of the synthesized copper(II) complexes was determined according to the data of elemental and thermogravimetric analyzes and corresponds to the ratio metal/hydrazide 1:2 and metal/acylhydrazone 1:1.

[2-(γ -hydroxypropyl)benzimidazol-1-yl]ethanoic acid hydrazide (HL¹) in the [Cu(L¹)₂(H₂O)]·3H₂O (1) complex is coordinated in a single deprotonated form with the

formation of a stable five-membered chelate ring. Coordination is carried out through the oxygen atom and nitrogen atom of the hydrazide fragment.

[2-(γ -hydroxypropyl)benzimidazol-1-yl]ethanoic acid salicylidene hydrazone (H_2L^2) in the $[Cu(L^2)(H_2O)_2] \cdot 2H_2O$ (2) complex is also coordinated with the formation of stable five-membered and six-membered chelate rings. Coordination is carried out through the oxygen atom and nitrogen atom of the hydrazide fragment, as well as the oxygen atom of the phenoxide fragment of the acyl hydrazone. The hydroxyl group of the 2-(γ -hydroxypropyl)benzimidazole fragment does not participate in coordination, which is due to its rather distant location.

Keywords: coordination compounds of copper(II), benzimidazole, hydrazide, Schiff's base, acyl hydrazone, salicylidene hydrazone.

References

1. Mashkovsky D. M. (2020) *Lekarstvennye Sredstva (Drugs) 16th ed.* Moscow: Moscow: Novaya Volna (New Wave). (in Russ.)
2. Vekariya N. A. Synthesis of isoxazoles and quinoxalines as potential anticancer agents, *Indian Journal of Chemistry*, **42B**, 421, (2003).
3. Bansal Y. The therapeutic journey of benzimidazoles: A review, *Bioorganic & Medical Chemistry*, **20** (21), 6208 (2012).
4. Spasov A. A., Chernikov M. V., Yakovlev D. S. Antiserotonin activity of derivatives of tricyclic benzimidazole systems, *Chem.-pharmaceutical journal*, **40(11)**, 23,(2006). (in Russ.)
5. Pozharsky A. F., Simonov A. N. Synthesis of N-alkyl benzimidazoles, *Journal of General Chemistry*, **33**, 2350 (1963). (in Russ.)
6. Joule J. A., Mills K. (2004) *Heterocyclic chemistry*. Russ. ed.: F. V. Zaitseva, A. V. Karchava. Moscow: Mir publ., 2004. (in Russ.)
7. Yatsimirsky K. B. (1977) *Biological aspects of coordination chemistry*. Kiev: Naukova Dumka publ. 367 p. (in Russ.)
8. Pashchevskaya N. V., Pashchevskaya N. V., Nazarenko M. A., Bolotin S. N., Oflidi A. I., Panyushkin V. T. The influence of synthesis conditions on the composition and structure of copper (II) coordination compounds with benzimidazole, *Journal of Inorganic Chemistry*, **55** (9), 1510 (2010). (in Russ.)

УДК 547.917 + 542.97

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИСЛОТ ЛЬЮИСА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ФЕНИЛ-2-АЦЕТАМИДО-3,4,6-ТРИ-О-АЦЕТИЛ-2-ДЕЗОКСИ- α -D- ГЛЮКОПИРАНОЗИДА В КИПЯЩЕМ РАСТВОРИТЕЛЕ

Цикалова В. Н., Сарнит Е. А.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: vika.tim@list.ru*

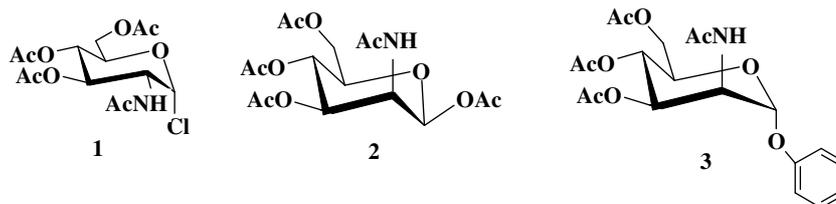
Проведено экспериментальное сравнение синтеза перацетата α -фенил-*N*-ацетил-D-глюкозамина в присутствии кислот Льюиса в кипящем растворителе. В качестве растворителей использовали нитрометан и 1,2-дихлорэтан. Синтезы проводились с использованием двух гликозил-доноров: перацетата α -D-глюкозаминилхлорида и β -пентаацетата D-глюкозамина. В качестве кислот Льюиса были использованы хлорид цинка и хлорид олова(IV). Гликозилирование фенола проводили с его 20-кратном мольным избытком в присутствии водоотнимающих средств – безводного сульфата меди(II) и полуводного сульфата кальция.

Ключевые слова: α -гликозиды *N*-ацетилглюкозамина, кислоты Льюиса, гликозилирование.

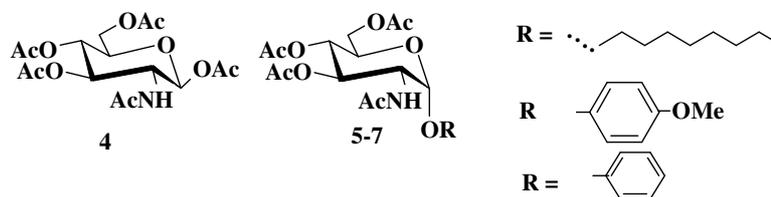
ВВЕДЕНИЕ

Кислоты Льюиса используют как эффективные катализаторы, промоторы или активаторы в органическом синтезе, в частности, в химии углеводов. Как правило, к этой группе веществ относятся апротонные кислоты Льюиса: галогениды, цианиды металлов, катионы которых имеют вакантные орбитали. Показано, что хлориды и бромиды алюминия, железа(II; III), цинка, олова(II; IV), сурьмы(V), ртути(II) достаточно давно и успешно используются в электрофильном катализе [1–3]. Но если вопрос по 1,2-*транс*-глюкозаминидированию в присутствии таких катализаторов успешно решается как для простых, так и сложных агликонов [4], то проблема направленного синтеза 1,2-*цис*-гликозидов для различных сахаров по-прежнему остается сложной синтетической задачей [5].

Для 1,2-*цис*-гликозидного синтеза используется два основных подхода. Во-первых, использование метода сплавления сполна ацетилированных сахаров **1**, **2** или их галогенидов с фенолами или спиртами при высоких температурах в присутствии кислот Льюиса. На примере сплавления пентаацетата маннозамина **2** с фенолом, которое проводили при катализе $ZnCl_2$ при температурах 150 °С, 125 °С и 100 °С или в присутствии *n*-толуолсульфокислоты (TsOH), было показано образование преимущественно 1,2-*цис*-аномера **3** и незначительное количество 1,2-*транс*-изомера [6].



Во-вторых, изучается получение гликозидов на основании тех же гликозил-доноров, гликозил-акцепторов и кислот Льюиса, но уже в среде растворителя либо при кипении, либо при комнатной температуре. В качестве растворителей использовались 1,2-дихлорэтан или нитрометан. Пример варианта получения α -гликозидов в кипящем растворителе описан в работе [7]. К раствору 2-ацетида-1,3,4,6-тетраацетил-2-дезоксид-D-глюкопиранозы в сухом 1,2-дихлорэтано добавляли каталитические количества безводного CaSO_4 , FeCl_3 и двукратный избыток фенола. После реакции и выделения конечных гликозидов **5–7** выходы составили соответственно 72 %, 75 %, 82 %.



Целью данной работы явилось экспериментальное сравнение выходов реакции образования фенил-2-ацетида-3,4,6-три-О-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозида в условиях кипения растворителя на основе двух исходных гликозил-доноров 2-ацетида-1,3,4,6-тетра-О-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозы и 2-ацетида-3,4,6-три-О-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозилхлорида. В качестве гликозил-акцептора использовалось одно соединение – фенол в 20-ти кратном мольном избытке по отношению к гликозил-донору. Для сравнения использовали два растворителя – нитрометан и дихлорэтан. В качестве катализаторов были использованы кислоты Льюиса – хлорид цинка и хлорид олова(IV), поскольку их действие в условиях кипения растворителя не было описано ранее. Дополнительно в реакционную смесь вводили безводный сульфат меди(II) или полуводный сульфат кальция.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы: фенол, хлорид олова(IV), хлорид цинка, сульфат меди(II), полуводный сульфат кальция, 2-ацетида-3,4,6-три-О-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозилхлорид [8], 2-ацетида-1,3,4,6-тетра-О-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозид [9].

Анализ состава реакционных смесей, чистоты синтезированных соединений, а также контроль хода реакций осуществляли методом тонкослойной хроматографии

(ТСХ) на пластинках Kieselgel 60-F254 (Merck) в системе растворителей бензол–пропан-2-ол, 10:1. Вещества обнаруживали визуально по люминесценции в УФ (254 нм) и 5 % раствором серной кислоты в этаноле с последующим нагреванием хроматограмм до 200–300 °С.

Препаративную колоночную хроматографию (КХ) проводили стандартно на силикагеле Merck 240–400 меш. Использовали колонку диаметром 14 мм и массу силикагеля 6,0 г. Смесь для разделения смешивали с 1 г силикагеля, упаривали и наносили на колонку сухим способом. Применяли градиентное элюирование: бензол → бензол–пропан-2-ол, 100:1 → 80:1 → 60:1 → 40:1 → 20:1.

Спектр ^1H ЯМР получен на приборе Varian VXR-400 (400 МГц) (Институт живых систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь), внутренний стандарт – тетраметилсилан, химические сдвиги приведены в δ -шкале.

Фенил-2-ацетиамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозид (8)

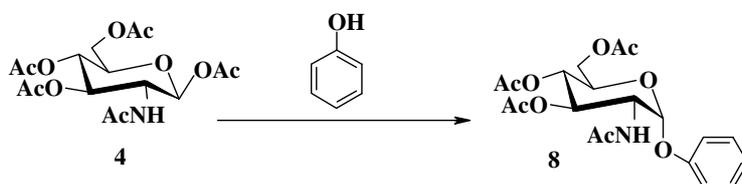


Рис. 1. Схема получения фенил-2-ацетиамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозид (8) на основе 2-ацетиамидо-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозид.

Метод 1. Получение 8 на основе 2-ацетиамидо-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозид (рис.1).

К раствору 500 мг (1,28 ммоль) 2-ацетиамидо-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозид 4 в 15 мл сухого растворителя добавляли 2,40 г (25,6 ммоль) фенола, 320 мг (2,0 ммоль) CuSO_4 и кислоту Льюиса, взятую в 1,2-кратном мольном избытке по отношению к гликозил-донору. Реакционную смесь перемешивали с добавлением 100 мг молекулярных сит 3 Å при температуре 90–100 °С в течение 4 часов. По окончании реакции (контроль ТСХ) реакционную смесь упаривали, растворяли в 20 мл хлороформа и отмывали 10 % раствором гидроксидом натрия. Органический слой осушали безводным Na_2SO_4 и упаривали. Остаток после упаривания очищали стандартно на силикагеле методом колоночной хроматографии (контроль ТСХ) с использованием градиентного элюирования вышеуказанной системой растворителей.

Вариант а. Синтез проводили аналогично общей методике в присутствии 15 мл сухого нитрометана и 209 мг (1,54 ммоль) хлорида цинка. Синтез протекал в течение 3 часов. Выход: 11 %, т. пл. 113–114 °С; $[\alpha]_{546}^{+169}$ (с 1,0; хлороформ). Лит. данные [10]: т. пл. 119,5–120 °С (пентан), $[\alpha]_{546}^{+150}$ (CHCl_3). Спектр ЯМР ^1H (400 МГц, CDCl_3 , КССВ J, Гц): 1,96 м.д., с (3H, NAc); 2,02 м.д., с; 2,04 м.д., с; 2,06 м.д., с (9H, 3OAc), 4,03 м.д., дд (1H, H-6a, $J_{5,6A}$ 2,4; J_{gem} 12,9); 4,52 м.д., дд (1H, H-5, $J_{4,5}$ 9,6;

$J_{5,6A}$ 2,4; $J_{5,6B}$ 4,8), 4,07 м.д., м (1H, H-2), 4,21 м.д., дд (1H, H-6B, $J_{5,6B}$ 4,8, J_{gem} 12,9), 5,57 м.д., д (1H, H-1, $J_{1,2}$ 3,6), 5,22 м.д., дд (1H, H-4, $J_{3,4}$ 9,6, $J_{4,5}$ 9,6), 5,44 м.д., дд(1H, H-3, $J_{2,3}$ 10,5; $J_{3,4}$ 9,6), 5,82 м.д., д (1H, NH $J_{2,NH}$ 9,3), 7,04–7,38 м.д., м (5H, Ph). Полученные данные по хим. сдвигам и КССВ полностью совпали с литературными данными [11].

Вариант б. Синтез проводили аналогично общей методики в присутствии 15 мл сухого нитрометана и 182 мкл (1,54 ммоль) хлорида олова(IV). По данным ТСХ в течение реакции не исчезало пятно исходного гликозил-донора и не наблюдалось образование нового вещества.

Вариант в. Синтез проводили аналогично общей методики в присутствии 15 мл 1,2-дихлорэтана и 209 мг (1,54 ммоль) хлорида цинка. Реакционную смесь перемешивали в течение 5 часов. Выход: 7,3 %.

Вариант г. Синтез проводили аналогично общей методики в присутствии 15 мл 1,2-дихлорэтана и 182 мкл (1,54 ммоль) хлорида олова(IV). Реакционную смесь перемешивали в течение 2 часов. По данным ТСХ в течение реакции не исчезало пятно исходного гликозил-донора и не наблюдалось образование нового вещества.

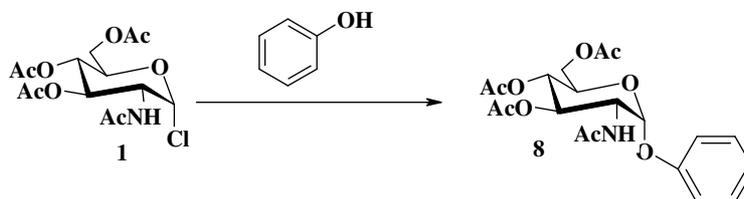


Рис. 2. Схема синтеза перацетата **8** на основе α -D-глюкопиранозилхлорида **1**.

Метод 2. Получение фенил-2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозид на основании 2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозилхлорида (рис. 2).

К раствору 500 мг (1,37 ммоль) 2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозилхлорида **1** в 15 мл сухого растворителя и 2,57 г (27,4 ммоль) фенола добавляли 320 мг (2,0 ммоль) $CuSO_4$, кислоту Льюиса, взятую в 1,2-кратном мольном избытке к гликозил-донору. Реакционную смесь перемешивали с добавлением 100 мг молекулярных сит 3 Å при температуре 90–100 °С в течение 4 часов. По окончании реакции (контроль ТСХ) реакционную смесь упаривали, растворяли в 20 мл хлороформа и отмывали 10 % раствором гидроксидом натрия. Органический слой сушили безводным Na_2SO_4 и упаривали. Остаток после упаривания очищали с использованием градиентного элюирования вышеуказанной системой растворителей.

Вариант а. Синтез проводили аналогично общей методике в присутствии 15 мл сухого нитрометана и 223 мг (1,64 ммоль) хлорида цинка. Реакционную смесь перемешивали в течение 2 часов. Выход: 19 %.

Вариант б. Синтез проводили аналогично общей методике в присутствии 15 мл сухого нитрометана и 194 мкл (1,64 ммоль) хлорида олова(IV). Реакционную смесь

перемешивали в течение 3 часов. По данным ТСХ в течение реакции не исчезало пятно исходного гликозил-донора и не наблюдалось образование нового вещества.

Вариант в. Синтез проводили аналогично общей методике в присутствии 15 мл 1,2-дихлорэтана и 223 мг (1,64 ммоль) хлорида цинка. Реакционную смесь перемешивали в течение 4 часов. Выход: 12 %.

Вариант г. Синтез проводили аналогично общей методике в присутствии 15 мл 1,2-дихлорэтана и 194 мкл (1,64 ммоль) хлорида олова(IV). Реакционную смесь перемешивали в течение 2,5 часов. Выход: 5,4 %.

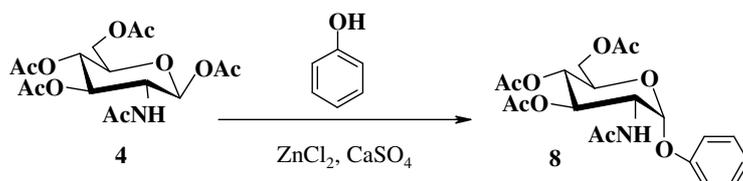


Рис. 3. Схема получения фенил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозида **8** на основе 2-ацетамидо-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозида в присутствии сульфата кальция.

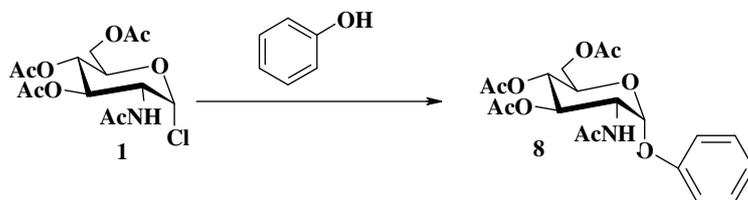


Рис. 4. Схема получения фенил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозида **8** на основе 2-ацетамидо-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозида в присутствии сульфата кальция.

Метод 3. Получение фенил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозида на основании 2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозилхлорида и 2-ацетамидо-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозида в присутствии полуводного сульфата кальция (рис. 3, 4).

Вариант а. К раствору 500 мг (1,28 ммоль) 2-ацетамидо-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозида **4** в 15 мл сухого нитрометана добавляли 209 мг (1,54 ммоль) хлорида цинка, 2,4 г (25,6 ммоль) фенола, 290 мг (2,0 ммоль) CaSO₄·0,5H₂O. Реакционную смесь перемешивали с добавлением 100 мг молекулярных сит 3 Å при температуре 90–100 °С в течение 4 часов. Полученный гликозид **8** выделяли по методу 1. Выход: 18 %.

Вариант б. К раствору 500 мг (1,37 ммоль) 2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозилхлорида **1** в 15 мл сухого нитрометана добавляли 223 мг (1,64 ммоль) хлорида цинка и 2,57 г (27,4 ммоль) фенола, 290 мг (2,0 ммоль) CaSO₄·0,5H₂O. Реакционную смесь перемешивали как в предыдущем варианте. Полученный гликозид **8** выделяли по методу 1. Выход: 28 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На примере синтеза модельного гликозида фенил-2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозид для сравнения были опробованы варианты получения гликозида в условиях кипения двух растворителей нитрометана и дихлорэтана. Структура полученного фенил-2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозид была подтверждена методом ПМР спектроскопии. В качестве гликозил-доноров были использованы 2-ацетида-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозид и 2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозидхлорид. В качестве гликозил-акцептора использовалось одно соединение – фенол, в 20-ти кратном избытке по отношению к гликозил-донору. В качестве кислот Льюиса было решено использовать хлорид цинка и хлорид олова(IV), поскольку их действие в условиях кипения растворителя не было описано ранее. Также по примеру научной работы [7] использовали безводный сульфат меди(II) и сульфат кальция. Конечные целевые гликозиды выделялись во всех экспериментах с использованием градиентного элюирования вышеуказанной системой растворителей.

В первой серии экспериментов синтеза протекали в кипящем нитрометане. В случае исходного вещества β -D-глюкозаминпентаацетата выход α -фенилгликозида составил 11 % в присутствии хлорида цинка, а в присутствии хлорида олова(IV) продукт реакции не образовывался. В случае исходного перацетилированного α -хлорида выход α -фенилгликозида составил 19 % в присутствии хлорида цинка и незначительные количества в присутствии хлорида олова(IV).

Для сравнения действия безводного сульфата меди и полуводного сульфата кальция был поставлен дополнительный эксперимент в условиях, давших наивысшие выходы. Получение фенил-2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозид осуществлялось на основании β -D-глюкозаминпентаацетата и перацетилированного α -хлорида глюкозамина только в опытах с хлоридом цинка в кипящем нитрометане. Выходы гликозида в присутствии полуводного сульфата кальция были соответственно выше выходов гликозида, полученного в присутствии безводного сульфата меди, и составили 18 % и 28 %.

В следующей серии экспериментов синтеза протекали в кипящем 1,2-дихлорэтано. На основе гликозил-донора β -D-глюкозаминпентаацетата выход фенилгликозида в присутствии $ZnCl_2$ составил 7 %, тогда как в присутствии $SnCl_4$ продукт реакции не образовывался. В случае использования в качестве гликозил-донора перацетилированного α -хлорида глюкозамина фенилгликозид образовывался в присутствии $ZnCl_2$ с выходом 12 %, а в присутствии $SnCl_4$ с выходом 5 %.

На основании результатов проделанной работы можно отметить следующее: выбранные в качестве катализаторов кислоты Льюиса $ZnCl_2$ и $SnCl_4$ в условиях кипения растворителей позволяют получить результаты реакции гликозилирования. Однако, гликозилирование в этих условиях требует дополнительного поиска условий или оптимизации соотношений исходных веществ и катализаторов. Также полученные данные полностью согласуются с классификацией использованных хлоридов металлов по теории «ЖМКО»: хлорид олова(IV) – «жесткая» кислота

Льюиса, хлорид цинка – «промежуточная» кислота Льюиса. Так как для кислот Льюиса типа галогенидов металлов кислотность снижается в следующем ряду: $BHal_3 > AlHal_3 > FeHal_3 > SbHal_5 > SnHal_4 > ZnHal_2$ [3], очевидно, что использование более жестких и сильных кислот Льюиса снижает выход целевого продукта. Также можно отметить, что в данных реакциях гликозилирования хлорид олова(IV) уступает как катализатор хлориду цинка и в присутствии различных водоулавливающих компонентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В представленных для сравнения методах синтеза фенил-2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозида наиболее эффективным катализатором, взятым в 1,2-кратном мольном избытке по отношению к гликозил-донору, выступает хлорид цинка по сравнению с хлоридом олова(IV).
2. Отмечено, что замена в эксперименте водоулавливающего компонента с безводного сульфата меди(II) на полуводный сульфат кальция существенно увеличивает выход продукта реакции (18 и 28 % соответственно).
3. Использование в реакциях гликозилирования в качестве катализаторов более «жестких» и сильных кислот Льюиса снижает выход α -фенилгликозида.

Список литературы

1. Днепроvский А. С. Теоретические основы органической химии / А. С. Днепроvский, Т. И. Темникова: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1991. – 560 с.
2. Реутов О. А. Органическая химия / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин: В 4 частях. Ч. 1: Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению и специальности «Химия» – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 567 с.
3. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. Пер. с англ. под ред. проф. Я. М. Варшавского. – М.: Химия, 1977. – 320 с.
4. Синтез гликозидов 2-ацетида-2-дезоксиглюкозы в присутствии HgI_2 / Земляков А. Е., Курьянов В. О., Сидорова Е. А. [и др.] // Биоорган. химия. – 1998. – Т. 24, № 8. – С. 623–630.
5. Земляков А. Е. Гликозилирование перацетатом α -D-глюкозаминилхлорида в присутствии кислот Льюиса / Земляков А. Е., Цикалова В. Н., Земляков С. А. [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия "Биология, химия". – 2010. – Т. 23(62), №2. – С. 225–231.
6. Bernard W. Preparation of 2-acetamido-2-deoxy- α -glycopyranosides / W. Bernard // Org. Chem. – 1970. – Vol. 35, №5. – P.1690–1691.
7. Wei G. $FeCl_3$ -catalyzed α -glycosidation of glycosamine pentaacetates / G. Wei, X. Lv, Y. Du // Carbohydrate Research. – 2008. – № 343. – P. 3096–3099.
8. Вейганд-Хильгетаг. Методы эксперимента в органической химии. – М.: Химия, 1969. – 944 с.
9. Cudic P. Synthesis of P(1)-Citronellyl-P(2)- α -D-pyranosyl pyrophosphates as potential substrates for the E. coli undecaprenyl-pyrophosphoryl-N-acetylglucoseaminyl transferase MurG / P. Cudic, D. C. Behenna, M. K. Yu [et al.] // Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters – 2001. – № 11(24). – P. 3107–3110.
10. Bernard W. Preparation of 2-acetamido-2-deoxy- α -glycopyranosides / W. Bernard // J. Org. Chem. – 1966. – Vol. 31, № 8. – P. 2505–2509.
11. Земляков А. Е. Синтез α -фенилгликозида N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина / А. Е. Земляков, В. Н. Цикалова, В. В. Цикалов // Химия природных соединений. – 2020. – № 2. – С. 173–176.

USE OF LEWIS ACIDS IN OBTAINING PHENYL-2-ACETAMIDO-3,4,6-TRI-O-ACETHYL-2-DESOXY- α -D-GLUCOPYRANOSIDE BY USE OF BOILING SOLVENT

Tsikalova V. N., Sarnit E. A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
E-mail: vika.tim@list.ru*

On the model synthesis of phenyl-2-acetamido-3,4,6-tri-*O*-acetyl-2-deoxy- α -D-glucopyranoside, for comparison, the variants of glycoside production were tested under boiling conditions of two solvents nitromethane and 1,2-dichloroethane. 2-Acetamido-1,3,4,6-tetra-*O*-acetyl-2-deoxy- β -D-glucopyranose and 2-acetamido-3,4,6-tri-*O*-acetyl-2-deoxy- α -D-glucopyranosyl chloride were used as glycosyl donors. As a glycosyl acceptor, we used one compound, phenol, in a 20-fold excess relative to the glycosyl donor. Zinc chloride and tin(IV) chloride were used as Lewis acids, since their action under solvent boiling conditions has not been studied earlier. We also used anhydrous copper(II) sulfate and calcium sulfate as water-trapping agents. The final target glycosides were isolated in all experiments by standard column chromatography.

In the first series of experiments, syntheses were carried out in boiling nitromethane. In the case of the glycosyl donor β -D-glucosamine pentaacetate, the yield of α -phenylglycoside was 11 %, while in the presence of zinc chloride, and in the presence of tin(IV) chloride, the reaction product was not formed. In the case of the initial peracetylated α -chloride, the yield of α -phenylglycoside was 19 % in the presence of zinc chloride and insignificant amounts in the presence of tin(IV) chloride. For a comparative analysis of anhydrous copper sulfate and calcium sulfate, an additional experiment was performed under conditions. The preparation of phenyl-2-acetamido-3,4,6-tri-*O*-acetyl-2-deoxy- α -D-glucopyranoside was carried out on the basis of β -D-glucosamine pentaacetate and peracetylated α -chloride only in experiments with zinc chloride in boiling nitromethane. The yields of the glycoside in the presence of hemihydrate calcium sulfate were, respectively, higher than the yields of the glycoside obtained in the presence of anhydrous copper sulfate, and amounted to 18 % and 28 %.

In the next series of experiments, the syntheses proceeded in boiling 1,2-dichloroethane. Based on the glycosyl donor β -D-glucosamine pentaacetate, the yield of phenylglycoside was also higher in the presence of $ZnCl_2$ and amounted to 7 %. In the presence of $SnCl_4$, no reaction product was formed. In the case of using peracetylated glucosamine α -chloride as a glycosyl donor, phenylglycoside was formed in the presence of $ZnCl_2$ with a yield of 12 %, and in the presence of $SnCl_4$ with a yield of 5 %. The structure of the obtained phenyl-2-acetamido-3,4,6-tri-*O*-acetyl-2-deoxy- α -D-glucopyranoside was confirmed by 1H -NMR spectroscopy. The signals of the carbohydrate fragment and the aryl fragment of aglycon were identified on the spectrum of this glycoside. A mass spectroscopy method was also used to identification of the same substance.

Keywords: α -glycosides of *N*-acetylglucosamine, Lewis acids, glycosylation.

References

1. Dneprovsky A. S., Temnikova T. I. (1991) *Theoretical foundations of organic chemistry*. Leningrad: Chemistry. (in Russ.)
2. Reutov O. A., Kurts A. L., Butin K. P. (2004) *Organic chemistry In 4 parts. Part 1*. Moscow: BINOM. Laboratory of Knowledge. (in Russ.)
3. Sykes P. (1977) *Mechanisms of reactions in organic chemistry*. Moscow: Chemistry. (in Russ.)
4. Zemlyakov A. E., Kuryanov V. O., Sidorova E. A., Chirva V. Ya. Synthesis of 2-acetamido-2-deoxyglucose glycosides in the presence of HgI₂, *Bioorgan. Chemistry*, **24(8)**, 623, (1998). (in Russ.)
5. Zemlyakov A. E., Tsikalova V. N., Zemlyakov S. A., Chirva V. Ya. Glycosylation of α -D-glucosaminyl chloride with peracetate in the presence of Lewis acids, *Scientific notes of the V. I. Vernadsky. Series "Biology, Chemistry"*, **23 (62), 2**, 225, (2010). (in Russ.)
6. Bernard W. Preparation of 2-acetamido-2-deoxy- α -glycopyranosides, *Org. Chem*, **35(5)**, 1690, (1970).
7. Wei G., Lv X., Du Y. FeCl₃-catalyzed α -glycosidation of glycosamine pentaacetates, *Carbohydrate Researche*, **343**, 3096, (2008).
8. Weigand-Khilgetag. (1969) *Experimental methods in organic chemistry*. Moscow: Chemistry. (in Russ.)
9. Cudic P., Behenna D. C., Yu M. K., Kruger R. G., Szwczuk L. M., McCafferty D. G. Synthesis of P(1)-Citronellyl-P(2)- α -D-pyranosyl pyrophosphates as potential substrates for the E. coli undecaprenyl-pyrophosphoryl-N-acetylglucoseaminyl transferase MurG, *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, **11(24)**, 3107, (2001).
10. Bernard W. Preparation of 2-acetamido-2-deoxy- α -glycopyranosides, *J. Org. Chem.*, **31(8)**, 2505, (1966).
11. Zemlyakov A. E., Tsikalova V. N., Tsikalov V. V. Synthesis of α -phenylglycoside N-acetylmuramoyl-L-alanyl-D-isoglutamine, *Chemistry of natural compounds*, **2**, 173, (2020). (in Russ.)

УДК 547.917 + 542.97

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА 2-АМИНОФЕНИЛГЛИКОЗИДА N-АЦЕТИЛГЛЮКОЗАМИНА

Чупахина Т. А.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: tachup@rambler.ru*

Осуществлен синтез 2-аминофенил-2-ацетида-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозидов в различных условиях. Были изучены два подхода: непосредственное гликозаминилирование *o*-аминофенола α-D-глюкозаминилхлоридом в условиях межфазного катализа с использованием катализатора 15-краун-5 и гликозаминилирование *o*-нитрофенола α-D-глюкозаминилхлоридом в аналогичных условиях с последующим восстановлением полученного 2-нитрофенил β-D-глюкопиранозидов над никелем Ренея. Строение замещенных β-D-арилгликозидов доказано методом ¹H ЯМР спектроскопии и масс-спектрометрии.

Ключевые слова: гликозаминилирование, 2-аминофенилгликозида *N*-ацетилглюкозамина, межфазный катализ, краун-эфир.

ВВЕДЕНИЕ

Ароматические гликозиды в настоящее время продолжают вызывать интерес исследователей в изучении их как потенциальных противовоспалительных [1], противовирусных средств [2–7], антидепрессантов [8]. Избирательной модификации полифункциональных ароматических соединений, создающей предпосылки для молекулярного дизайна биологически активных веществ, несущих различное число углеводных остатков, посвящено значительное число публикаций [9–11]. Авторами ряда работ показано различие в реакционной способности в реакциях гликозилирования гидроксильных групп ароматических соединений, различающихся кислотностью [12, 13]

Флуоресцентный метод анализа, широко применяемый в исследованиях биологических и химических объектов, не обходится без применения синтетических *O*-арилгликозидов с хромогенными или флуорогенными агликонами в качестве подходящих субстратов для изучения активности ферментов [14].

Несмотря на значительные достижения, достигнутые в области гликозидного синтеза, универсальных подходов к регио- и стереоселективному синтезу гликозидов определенного строения не существует, поэтому в реакциях аномального центра центральное место занимает развитие существующих и разработка новых селективных и эффективных методов построения гликозидной связи. Вплоть до шестидесятых годов прошлого века вся дальнейшая история развития методов гликозилирования есть по существу история изучения и применения реакции

Кенигса–Кнорра и её многочисленных модификаций [15–17]. Интерес к синтезу арилгликозидов объясняется тем, что легко депротонируемые в присутствии различных оснований фенолы являются удобными объектами исследования межфазных процессов гликозилирования [17–20].

Исследования, проведенные ранее, показали, что межфазная каталитическая система «твердый карбонат калия–органический растворитель» является удобным и эффективным инструментом построения *O*-, *S*- и *N*-1,2-*транс*-гликозидной связи в 2-ацетамидо-2-дезоксид- β -D-глюкозе [21–23].

В настоящей статье обсуждается получение 2-аминофенилгликозида *N*-ацетилглюкозамина непосредственно гликозилированием *o*-аминофенола α -D-глюкозаминилхлоридом в условиях межфазного катализа и восстановлением соответствующего нитропроизводного, полученного в аналогичных межфазных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы: 2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозилхлорид [24], *o*-аминофенол, *o*-нитрофенол, карбонат калия, 15-краун-5 (15K5), никель Ренея (Ni–Ренея).

Анализ состава реакционных смесей, чистоты синтезированных соединений, а также контроль протекания реакций осуществляли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках Kieselgel 60-F254 (Merck) в системе растворителей бензол–пропан-2-ол, 10:1 (А), хлороформ–пропан-2-ол, 15:1 (Б). Вещества обнаруживали визуально по люминесценции в УФ (254 нм), и 5 % раствором серной кислоты в этаноле с последующим нагреванием хроматограмм до 200–300 °С. Для разделения веществ колоночной хроматографией применяли силикагель Kieselgel 60 (0.063–0.200 мм, Merck).

Температуры плавления определяли на приборе ПТП-1, оптическое вращение (20–22 °С) – на поляриметре Polamat-A (длина волны λ , 546 нм). ^1H -ЯМР-спектры (δ , м.д.; КССВ, Гц) получены для растворов в DMSO- d_6 на приборе Varian Mercury-400 (400 МГц), внутренний стандарт – Me_4Si . ESI+-MS сняты на Thermo Scientific MS/MS TSQ Quantum Access MAX.

Подготовка растворителей и реактивов: ацетонитрил кипятили над оксидом фосфора(V), фракционировали, кипятили над свежепрокалённым карбонатом калия, перегоняли. Безводный K_2CO_3 получали прокаливанием (5 ч) при 340–360 °С, затем измельчали и фракционировали, используя сита с размером пор 140 мкм. Полученную фракцию применяли в межфазных процессах [25].

Метод 1. Получение арилгликозидов 2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозидов **4** и **5** в межфазной системе «твердый карбонат калия – безводный ацетонитрил» в присутствии 15K5 (рис. 1).

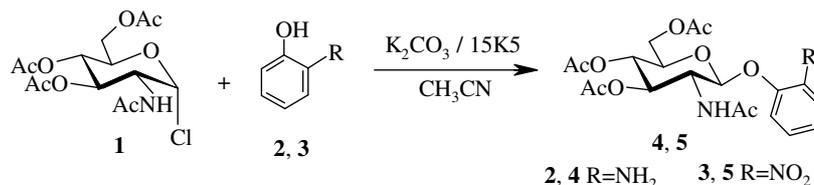


Рис. 1. Схема синтеза β-гликозидов **3**, **5** в условиях межфазного катализа.

2-Аминофенил-2-ацетидамо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид (4**).**

Смесь 400 мг (1,09 ммоль) 2-ацетидамо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-α-D-глюкопиранозилхлорида, 680 мг (4,93 ммоль) безводного карбоната калия, 119 мг (1,09 ммоль) 2-аминофенола (**2**) и 48 мг (0,22 ммоль) 15K5 в 12 мл сухого ацетонитрила перемешивали при 25 °С до полной конверсии гликозил-донора **1** (ТСХ, система А). Твердую фазу отделяли фильтрованием, осадок промывали на фильтре ацетонитрилом (2×5 мл), растворитель упаривали досуха при пониженном давлении. Выход продукта **4** после колоночной хроматографии (градиентное элюирование: хлороформ–изопропиловый спирт, 100:1 → хлороформ–изопропиловый спирт, 15:1) составил 114 мг (23%); т. пл. 191–195°С; [α]₅₄₆ –17° (с 1,0; хлороформ).

¹H ЯМР (DMSO-d₆): 1,81с (3H, NAc), 1,96с, 1,99с, 2,02с (9H, 3OAc), 4,07м (3H, H-2, H-5, H-6b), 4,23дд (1H, H-6a, *J*_{6a,6b} 12,0 Гц), 4,93с (2H, NH₂), 4,91дд (1H, H-4, *J*_{4,5} 9,0 Гц), 5,00 д (1H, H-1, *J*_{1,2} 8,0 Гц), 4,91дд (1H, H-3, *J*_{3,4} 10,0 Гц), 6,49 дд (1H, CH_{аром.}), 6,63 д (1H, CH_{аром.}), 6,77 дд (1H, CH_{аром.}), 6,92 д (1H, CH_{аром.}), 8,11д (1H, NH, *J*_{2,NH} 8,0 Гц). MS, m/z: 439 (438+1) [M+H]⁺.

2-Нитрофенил-2-ацетидамо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид (5**).**

Аналогично синтезу 2-аминофенилгликозида **4** из 300 мг (0,82 ммоль) α-хлорида **1**, 510 мг (3,7 ммоль) безводного карбоната калия, 114 мг (0,82 ммоль) *o*-нитрофенола (**3**) и 36 мг (0,16 ммоль) 15K5 с выходом 261 мг (69 %) получен 2-нитрофенилгликозида **5**; т. пл. 191–195 °С; [α]₅₄₆ –235° (с 1,0; хлороформ).

Метод 2. Восстановление 2-нитрофенил-2-ацетидамо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид **5** над Ni–Ренея (рис. 2).

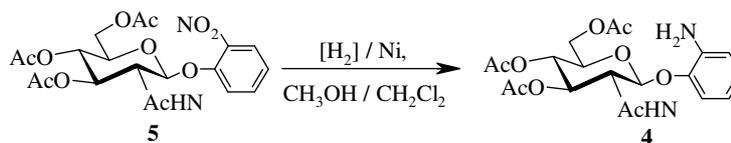


Рис. 2. Схема синтеза β-гликозида **5** методом восстановления.

2-Аминофенил-2-ацетидамо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид (4**).**

400 г (2,89 ммоль) *o*-нитрогликозид **5** подвергали гидрогенолизу над 1 г (1,7 ммоль) Ni-Ренея в 10 мл метанола. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 ч при комнатной температуре (контроль ТСХ, система А). После чего, отфильтровывали катализатор, растворитель отгоняли при пониженном давлении. Выход гликозида **4** после колоночной хроматографии (градиентное элюирование: хлороформ–изопропиловый спирт, 100:1 → хлороформ–изопропиловый спирт, 15:1) составил 146 мг (56 %); т. пл. 168–170 °С; $[\alpha]_{546} -43^\circ$ (с 1,0; хлороформ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Глюкозаминилирование *o*-аминофенола α -D-глюкозаминилхлоридом **1** проводилось в межфазной системе «твердый K_2CO_3 – безводный CH_3CN » с использованием 15K5 при комнатной температуре. Реакция протекала за 5 ч при эквимолярном соотношении гликозил-донора **1** и *o*-аминофенола (**2**), 20 моль % 15K5, 4,5-кратном избытке основания (по субстрату – α -хлориду **1**). Выход *o*-аминофенилгликозаминида **4** после колоночной хроматографии составил 23 %.

Строение целевого соединения доказано 1H ЯМР спектроскопией. Протекание реакции с участием фенольной гидроксильной группы с образованием *O*-гликозидной связи, а не аминогруппы фенола, доказывается наличием в 1H ЯМР спектре синглета протонов ароматической аминогруппы с ХС 4,63 м.д., а не сигнала свободной фенольной гидроксильной группы с ХС в более сильном поле (δ 10,00 м.д.). β -Конфигурация аномерного протона подтверждается наличием в спектре дублета аномерного протона с ХС 5,00 м.д. и величиной КССВ 8,0 Гц. Сигналы ароматических протонов агликона представлены в спектре с ХС в области 6,47–6,93 м.д. В спектре также идентифицированы сигналы скелетных протонов с ХС в области 4,00–5,23 м.д., сигналы протонов *O*- и *N*-ацетильных защитных групп углеводного остатка с ХС 1,81, 1,96, 1,99 и 2,02 м.д. Интенсивный пик молекулярного иона $[M+H]^+$ с m/z 439 в масс-спектре *o*-аминофенилгликозаминида **4** также подтверждает образование *o*-аминофенилгликозида *N*-ацетилгликозамина.

Альтернативный подход к синтезу *o*-аминофенилгликозаминида **4** заключался во взаимодействии α -D-глюкозаминилхлорида **1** с *o*-нитрофенолом (**3**) и последующем восстановлении гликозида **5**. Гликозилирование проводили, как и в случае с *o*-аминофенолом (**2**). Выход *o*-нитрофенилгликозаминида после колоночной хроматографии составили 69 %. Время реакции по данным ТСХ составило 6 ч. Ранее, сотрудниками кафедры был осуществлен синтез *o*-нитрофенилгликозаминида (**4**) в условиях МФК при эквимолярном соотношении α -хлорида **1**, *o*-нитрофенола (**2**), безводного карбоната калия и 20 моль % 15K5 при комнатной температуре. Выход гликозида **4** в этом случае составил 61 %, время реакции 9 ч. Таким образом, ещё раз показано, что наилучшие результаты гликозилирования различных замещенных фенолов достигаются при использовании 20 моль % 15K5 и 4,5-кратного избытка карбоната калия.

Нитрогруппа замещенного фенола **3**, относящаяся к сильным электронакцепторам, снижает электронную плотность ароматического кольца, что приводит к дезэкранированию ароматических протонов и смещению сигналов в сторону слабого поля (δ 7,17–7,81 м.д.). ХС как аномерного протона, так и протонов

углеводного остатка аналогично смещены в сторону слабого поля (δ 4,29–5,53 м.д.) по сравнению с ХС скелетных протонов *o*-аминофенилгликозида [12].

Далее в условиях каталитического восстановления *o*-нитрофенилгликозида **5** над Ni–Ренея в метаноле был получен *o*-аминофенилгликозид **4** с выходом 56 % после очистки с помощью колоночной хроматографии. Проведенное исследование показало, что выход *o*-аминофенилгликозида **4**, полученного межфазным гликозилированием *o*-нитрофенола с последующем его восстановлением, оказывается выше, чем прямое введение глюкозаминидного остатка в молекулу *o*-аминофенола (**2**) почти в два раза и составил 48 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показана возможность применения межфазной системы «твердый K_2CO_3 – безводный CH_3CN » с использованием катализатора 15K5 для реакции глюкозаминилирования бифункционального фенола.
2. В предложенном межфазном процессе гликозилирования не образуется *N*-гликозид, а наблюдается образование исключительно *O*- β -глюкозаминида *o*-аминофенола.
3. Показано, что наилучший выход *o*-аминофенилгликозида достигается при глюкозаминилировании *o*-нитрофенола с последующем восстановлением соответствующего гликозида.

Список литературы

1. Barker S. A. Aryl 2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucopyranosides – potential anti-inflammatory agents / S. A. Barker, R. G. Plevy, R. G. Simmonds [et al.] // Tetrahedron. – 1966. – Vol. 22, Suppl. № 8, Part 2. – P. 611–619.
2. Arita H. Studies of antiviral glycosides. Synthesis and biological evaluation of various phenyl glycosides / H. Arita, K. Sugita, A. Nomura [et al.] // Carbohydr. Res. – 1978. – Vol. 62, № 1. – P. 143–154.
3. Arita H. Studies on phenyl glycosides as inhibitors of D-glucose uptake by Rhesus monkey kidney cells / H. Arita, J. Kawanami // J. Biochem. – 1980. – Vol. 88, № 5. – P. 1399–1406.
4. Studies on antiviral glycosides. II. Mode of action for virucidal effects on Sendai virus / K. Sugita, H. Arita, K. Sato [et al.] // Biochim. Biophys. Acta. – 1979. – Vol. 552, № 3. – P. 404–412.
5. Sugita K. Studies on antiviral glycosides. 4. Inhibition of the multiplication of paramyxoviruses by phenyl-6-chloro-6-deoxy- β -D-glucopyranoside / K. Sugita, H. Arita, J. Kawanami [et al.] // J. Gen. Virol. – 1979. – Vol. 45, № 1. – P. 249–251.
6. Arita H. Studies on antiviral glycosides: V. Formation of incomplete Sendai virions in the presence of phenyl-6-chloro-6-deoxy- β -D-glucopyranoside / H. Arita, K. Sugita, K. Sato [et al.] // Chem. Pharm. Bull. – 1981. – Vol. 29, № 10. – P. 2928–2933.
7. Jizomoto H. Studies on antiviral glycosides. III. Chemical modification of the envelope of sendai virus / H. Jizomoto, H. Arita, K. Sugita [et al.] // J. Biochem. – 1980. – Vol. 88, № 4. – P. 995–999.
8. Boeckel C. A. A. The synthesis of glucuronides derived from antidepressant drugs mianserin and Org 3770 / C. A. A. Boeckel, L. P. C. Delbressine, F. M. Kaspersen [et al.] // Recl. Trav. Chim. Pays-Bas. – 1985. – Vol. 104, № 10. – P. 259–265.
9. Grabley S. Glycosylation of mycotoxins / S. Grabley, M. Garies, W. Böckers W. [et al.] // Synthesis. – 1992. – Vol. 27, № 11. – P. 1078–1080.
10. Rothermel J. Phase-transfer-catalyzed synthesis of aryl α -ketosides of *N*-acetylneuraminic acid. A 2-methylfluoran-6-yl glycoside of *N*-acetylneuraminic acid, 2-methyl-6-(5-acetamido-3,5-dideoxy- α -D-glycero-D-galacto-nonulopyranosyl-onic acid)xanthene-9-spiro-1'-isobenzofuran-3'-one, a new substrate for neuraminidase assay / J. Rothermel, H. Faillard // Carbohydr. Res. – 1990. – Vol. 196. – P. 29–40.

11. Hongu M. Solid-liquid phase transfer catalyzed novel glycosylation reaction of phenols / M. Hongu, K. Saito, K. Tsujihara // Synth. Comm. – 1999. – Vol. 29. – P. 2775–2781.
12. Demetzos C. Phase-transfer-catalyzed synthesis of flavonoid glycosides / C. Demetzos, A.-L. Skaltsounis, F. Tillequin [et al.] // Carbohydr. Res. – 1990. – Vol. 207. – P. 131–137.
13. Du Y. Total synthesis of quercetin 3-sophorotrioside / Y. Du, G. Wei, R. J. Linhardt // J. Org. Chem. – 2004. – Vol. 69. – P. 2206–2209.
14. Chang S.-S. A straightforward α -selective aromatic glycosylation and its application for stereospecific synthesis of 4-methylumbelliferyl α -T-antigen / S.-S. Chang, C.-C. Lin, Y.-K. Li [et al.] // Carbohydr. Res. – 2009. – Vol. 344. – P. 432–438.
15. Davis B. G. Synthesis of glycoproteins / B. G. Davis // Chem. Rev. – 2002. – Vol. 102. – P. 579–601.
16. Somsák L. Carbanionic reactivity of the anomeric center in carbohydrates / L. Somsák // Chem. Rev. – 2001. – Vol. 101. – P. 81–135.
17. Бочков А. Ф. Образование и расщепление гликозидных связей. / А. Ф. Бочков, В. А. Афанасьев, Г. Е. Заиков. – М.: Наука, 1978. – С. 180.
18. Osborn H. M. I. Carbohydrates. / H. M. I. Osborn. – Oxford: Academic Press, – 2003. – P. 430.
19. Jensen K. J. O-Glycosylations under neutral or basic conditions / K. J. Jensen // J. Chem. Soc., Perkin Trans. – 2002. – № 1. – P. 2219–2233.
20. Dess D. Phase-transfer catalyzed synthesis of acetylated aryl β -D-glucopyranosides and aryl β -D-galactopyranosides / D. Dess, H. Kleine, D. Weinderg [et al.] // Synthesis. – 1981. – № 11. – P. 883–885.
21. Курьянов В. О. Синтез гетероароматических S- и N- β -гликозидов N-ацетилглюкозамина в межфазных условиях / В. О. Курьянов, Т. А. Чупахина, В. Я. Чирва [и др.] // Биооргани. химия. – 2005. – Т. 31, № 5. – С. 511–518.
22. Курьянов В. О. Катализируемый краун-соединениями синтез β -арилгликозидов N-ацетилглюкозамина / В. О. Курьянов, А. Е. Земляков, Т. А. Чупахина [и др.] // Биооргани. химия. – 2001. – Т. 27, № 6. – С. 434–438.
23. Курьянов В. О. Синтез N-ацетилглюкозаминидов с кумариновыми и хромоновыми агликонами / В. О. Курьянов, А. Е. Земляков, Т. А. Чупахина [и др.] // Химия природных соединений. – 2002. – № 2. – С. 125–128.
24. Голодников Г. В. Практикум по органическому синтезу: Учебное пособие. / Г. В. Голодников, Т. В. Мандельштам. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1976. – С. 179.
25. Гордон А. Спутник химика. Физико-химические свойства, методики, библиография: Пер. с англ. / А. Гордон, Р. Форд – М.: Мир, 1976. – С. 275–306.

FEATURES OF THE SYNTHESIS OF 2-AMINOPHENYL GLYCOSIDE N-ACETYLGLUCOSAMINE

Chupakhina T. A.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
E-mail: tachup@rambler.ru*

This report discusses the preparation of 2-aminophenylglycoside of N-acetylglucosamine directly by glycosylation of o-aminophenol α -D-glucosaminyl chloride under phase transfer catalysis and reduction of the corresponding nitro derivative obtained under similar phase transfer conditions.

Glucosamylation of bifunctional o-aminophenol with α -D-glucosaminyl chloride was performed using anhydrous K_2CO_3 and acetonitrile at 20–22 °C. The interaction of equimolar amounts of α -chloride and o-aminophenol, 4,5-fold excess of the base in

anhydrous acetonitrile in the presence of 0,2 mol 15-crown-5 for 5 hours led to the formation of *o*-aminophenyl glucosaminide the yield was 23 %.

An alternative approach to the synthesis of *o*-aminophenylglucosaminide was the interaction of α -D-glucosaminyl chloride with *o*-nitrophenol and the subsequent reduction of the final glycoside. Glycosylation was performed, as in the case of *o*-aminophenol, under phase transfer catalysis using a 4,5-fold excess of the base and 0,2 mol 15-crown-5. The yield of *o*-nitrophenyl glucosaminide after column chromatography was 69 %. The reaction time according to TLC data was 6 hours.

Under conditions of catalytic reduction of *o*-nitrophenylglycoside over Renee nickel in methanol, *o*-aminophenylglycoside was obtained with a yield of 56 % after purification by column chromatography. The study showed that the yield of *o*-aminophenylglycoside, obtained by phase transfer glycosylation of *o*-nitrophenol with subsequent reduction, is almost twice higher than the direct introduction of the glucosaminide residue into the *o*-aminophenol molecule and amounted to 48%.

Reactions involving phenolic hydroxyl group with the formation of *O*-glycosidic bonds, but not amino phenol, proves the presence in the ¹H NMR spectra of singlet aromatic proton of the amino group 4.63 ppm. The 1,2-*trans*-configuration of the glycoside bond was confirmed by the presence in their ¹H NMR spectra of doublets of anomeric protons with chemical shifts at 5.00 ppm and spin-spin coupling constants of 8.0 Hz. The spectrum also identified signals of skeletal protons, signals of protons of *O*- and *N*-acetyl protective groups of the carbohydrate residue. The intense peak of the molecular ion [M+H]⁺ with m/z 439 in the mass spectrum of glucosaminide also confirms the formation of *o*-aminophenylglycoside *N*-acetylglucosamine.

Keywords: glycosylation, glucosaminide, phase transfer catalysis, *o*-aminophenol, crown ethers.

References

1. Barker S. A., Plevey R. G., Simmonds R. G., Stacey M. Aryl 2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucopyranosides – potential anti-inflammatory agents, *Tetrahedron*, **22(8)**, 611 (1966).
2. Arita H., Sugita K., Nomura A., Sato K., Kawanami J. Studies of antiviral glycosides. Synthesis and biological evaluation of various phenyl glycosides, *Carbohydr. Res.*, **62(1)**, 143 (1978).
3. Arita H., Kawanami J. Studies on phenyl glycosides as inhibitors of D-glucose uptake by Rhesus monkey kidney cells, *J. Biochem.*, **88(5)**, 1399 (1980).
4. Sugita K., Arita H., Sato K., Kawanami J. Studies on antiviral glycosides. II. Mode of action for virucidal effects on Sendai virus, *Biochim. Biophys. Acta*, **552(3)**, 404 (1979).
5. Sugita K., Arita H., Kawanami J., Sato K. Studies on antiviral glycosides. 4. Inhibition of the multiplication of paramyxoviruses by phenyl-6-chloro-6-deoxy- β -D-glucopyranoside, *J. Gen. Virol.*, **45(1)**, 249 (1979).
6. Arita H., Sugita K., Sato K., Amano Y., Kawanami J. Studies on antiviral glycosides: V. Formation of incomplete Sendai virions in the presence of phenyl-6-chloro-6-deoxy- β -D-glucopyranoside, *Chem. Pharm. Bull.*, **29(10)**, 2928 (1981).
7. Jizomoto H., Arita H., Sugita K., Kawanami J., Sato K., Kuriyama K. Studies on antiviral glycosides. III. Chemical modification of the envelope of sendai virus, *J. Biochem.*, **88(4)**, 995 (1980).
8. van Boeckel C. A. A., Delbressine L. P. C., Kaspersen F. M. The synthesis of glucuronides derived from antidepressant drugs mianserin and Org 3770, *Recl. Trav. Chim. Pays-Bas.*, **104(10)**, 259 (1985).
9. Grabley S., Garies M., Böckers W., Thiem J. Glycosylation of mycotoxins, *Synthesis*, **27(11)**, 1078 (1992).

10. Rothermel J., Faillard H. Phase-transfer-catalyzed synthesis of aryl α -ketosides of *N*-acetylneuraminic acid. A 2-methylfluoran-6-yl glycoside of *N*-acetylneuraminic acid, 2-methyl-6-(5-acetamido-3,5-dideoxy- α -D-glycero-D-galacto-nonulopyranosyl-onic acid)xanthene-9-spiro-1'-isobenzofuran-3'-one, a new substrate for neuraminidase assay, *Carbohydr. Res.*, **196**, 29, (1990).
11. Hongu M., Saito K., Tsujihara K. Solid-liquid phase transfer catalyzed novel glycosylation reaction of phenols, *Synth. Comm.*, **29**, 2775 (1999).
12. Demetzos C., Skaltsounis A. -L., Tillequin F., Koch M. Phase-transfer-catalyzed synthesis of flavonoid glycosides, *Carbohydr. Res.*, **207**, 131 (1990).
13. Du Y., Wei G., Linhardt R. J. Total synthesis of quercetin 3-sophorotrioside, *J. Org. Chem.*, **69**, 2206 (2004).
14. Chang S. -S., Lin C. -C., Li Y. -K., Mong K. -K. T. A straightforward α -selective aromatic glycosylation and its application for stereospecific synthesis of 4-methylumbelliferyl α -T-antigen, *Carbohydr. Res.*, **344**, 432 (2009).
15. Davis B. G. Synthesis of glycoproteins, *Chem. Rev.*, **102**, 579 (2002).
16. Somsák L. Carbanionic reactivity of the anomeric center in carbohydrates, *Chem. Rev.*, **101**, 81 (2001).
17. Bochkov A. F., Afanasyev V. A, Zaikov G. E. *Formation and cleavage of glycosidic bonds*. (Moscow: Science, 1978) (in Russ.)
18. Osborn H. M. I. *Carbohydrates*. (Oxford: Academic Press, 2003).
19. Jensen K. J. *O*-Glycosylations under neutral or basic conditions, *J. Chem. Soc., Perkin Trans.*, **1**, 2219 (2002).
20. Dess D., Kleine H., Weinderg D., Kaufmfn R., Sidhu R. Phase-transfer catalyzed synthesis of acetylated aryl β -D-glucopyranosides and aryl β -D-galactopyranosides, *Synthesis*, **11**, 883 (1981).
21. Kuryanov V. O., Zemlyakov A. E., Chirva V. Ya., Shishkin O. V., Shishkina S. V., Kotlyar S. A., Kamalov G. L. Synthesis of heteroaromatic S- and N-glycosides of *N*-acetylglucosamine under phase transfer conditions, *Bioorg.chemistry*, **31(5)**, 511 (2005). (in Russ.)
22. Kuryanov V. O., Zemlyakov A. E., Chupakhina T. A. Crown-compound catalyzed synthesis of arylglycosides N-acetylglucosamine, *Bioorg.chemistry*, **27(6)**, 434 (2001). (in Russ.)
23. Kuryanov V. O., Zemlyakov A. E., Chupakhina T. A. Synthesis of *N*-acetylglucosaminides with coumarin and chromone aglycones, *Chemistry of natural compounds*, **2**, 125 (2002). (in Russ.)
24. Golodnikov G. V., Mandelstam T. V. *Workshop on organic synthesis*. (Leningrad: Publishing House of the Leningrad University, 1976) (in Russ.)
25. Gordon A., Ford R. *The chemist's satellite. Physical and chemical properties, methods, bibliography*. (Moscow: World, 1976) (in Russ.)

УДК 539.194

О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЭФФЕКТОВ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ НА БАРЬЕРЫ ВНУТРЕННЕГО ВРАЩЕНИЯ В ПАРА-ЗАМЕЩЁННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА

Шейх-Заде М. И., Абхаирова С. В.

*ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: sysana70@gmail.com*

Рассчитаны приведённые моменты инерции фенола и его двенадцати пара-замещённых производных. Из решения уравнения Матье с использованием значений частот $\tau(OH)$ торсионных переходов $0 \rightarrow 1$ рассчитаны потенциальная функция внутреннего вращения $V(\alpha) = V_2 \cdot (1 - \cos 2\alpha) / 2$ и значения энергии торсионных уровней E_0, E_1 молекул указанных фенолов. Рассмотрено влияние электронных эффектов заместителей на величину барьера внутреннего вращения в этих молекулах.

Ключевые слова: фенолы, внутреннее вращение, потенциальная функция, заместители, электронные эффекты.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что физические и химические свойства любой молекулы зависят от природы составляющих её атомов и их взаимного расположения. Изменение взаимного расположения атомов в молекуле будет приводить к изменению указанных выше свойств. Частным случаем изменения взаимного расположения атомов в молекуле является поворот одной части молекулы относительно другой части молекулы вокруг химической связи между ними. Такое движение называют внутренним вращением в молекуле (в отличие от вращения молекулы как целого). Внутреннее вращение в большинстве случаев сопровождается изменением потенциальной энергии молекулы. Это означает, что внутреннее вращение не является свободным. В таком случае говорят о заторможенном внутреннем вращении.

При изучении внутреннего вращения одну часть молекулы рассматривают как волчок, а другую – как остов (в молекулах, имеющих один волчок). Так как внутреннее вращение представляет собой относительный поворот волчка и остова, то нет разницы, какую часть молекулы рассматривать как волчок, а какую – как остов. Обычно в качестве волчка выбирают более лёгкую часть, а в качестве остова – более тяжёлую часть молекулы. Зависимость потенциальной энергии молекулы от угла α поворота волчка относительно остова можно описать некоторой функцией $V(\alpha)$, которую обычно называют потенциальной функцией внутреннего вращения (ПФВВ).

Если в молекуле какой-либо атом заменить на другие атомы или атомные группировки, то физические и химические свойства молекул будут изменяться. Это можно показать, например, на изменении значений констант кислотности K_a фенола и его *пара*-замещённых производных. Для $X = \text{OCH}_3, \text{CH}_3, \text{H}, \text{OH}, \text{F}, \text{C}_6\text{H}_5, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}, \text{CN}, \text{NO}_2$ значения K_a равны $0,62 \cdot 10^{-10}; 0,72 \cdot 10^{-10}; 1,05 \cdot 10^{-10}; 1,10 \cdot 10^{-10}; 1,12 \cdot 10^{-10}; 2,82 \cdot 10^{-10}; 4,17 \cdot 10^{-10}; 4,37 \cdot 10^{-10}; 4,90 \cdot 10^{-10}; 110 \cdot 10^{-10}; 710 \cdot 10^{-10}$ соответственно. Значение K_a для $X = \text{OH}$ взято из [1], для остальных X – из [2]. Можно предположить, что параметры ПФВВ в 4- X -фенолах также будут изменяться в зависимости от свойств заместителя X . Эти изменения можно попытаться объяснить, сопоставляя их с какой-либо физической величиной, характеризующей количественно свойства заместителей. В качестве такой количественной характеристики можно выбрать, например, σ -константы заместителей.

Целью данной работы являлась оценка влияния электронных эффектов заместителей на ПФВВ и на значения энергии торсионных уровней E_0, E_1 в молекулах фенола и его 4- X -замещённых, где $X = \text{OH}, \text{OCH}_3, \text{CH}_3, \text{C}(\text{CH}_3)_3, \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}, \text{C}_6\text{H}_5, \text{CF}_3, \text{CN}, \text{NO}_2$.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приведённые моменты инерции I_{np} указанных выше молекул были рассчитаны по формулам, приведённым в [3] с использованием геометрических параметров молекул фенола, полученных в [4] микроволновым методом. Расстояния $\text{C}_4\text{-X}$ и геометрии заместителей были приняты:

- для $X = \text{OH}, \text{C}_6\text{H}_5$, как в феноле [4];
- для $X = \text{OCH}_3, \text{CH}_3, \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}, \text{CF}_3, \text{CN}$ как в метаноле, толуоле, моногалогензамещённых бензола, трифторметане, ацетонитриле соответственно [5];
- для $X = \text{C}(\text{CH}_3)_3$ расстояние $\text{C}_4\text{-C}$ как в толуоле, углы $\angle \text{CCC}, \angle \text{HCH}$ –

тетраэдрические ($109,47^\circ$), расстояния C-H как в метаноле [5];

- для $X = \text{NO}_2$ как в нитробензоле [6].

Необходимые для расчётов ПФВВ значения частот $\tau(\text{OH})$ торсионных переходов $0 \rightarrow 1$ были взяты из работы [7], в которой эти данные были получены методом ИК-спектроскопии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для расчета ПФВВ в рассматриваемых молекулах были сделаны следующие допущения: 1 – использовалась модель полужёсткой молекулы, когда жёсткий волчок совершает внутренне вращение относительно жёсткого остова; 2 – значение вращательной постоянной $F = h^2 / (8\pi^2 \cdot I_{np})$ предполагается не зависящим от угла внутреннего вращения α и от торсионного квантового числа ν . При этих

допущениях ПФВВ будет только функцией угла α и одномерное уравнение Шредингера для внутреннего вращения имеет вид:

$$F \cdot \frac{d^2\psi(\alpha)}{d\alpha^2} + [E - V(\alpha)] \cdot \psi(\alpha) = 0, \quad (1)$$

где E – энергия торсионных колебаний.

Если потребовать, чтобы выполнялось условие $V(0)=0$ и учесть, что остов (бензольное кольцо) обладает осью симметрии второго порядка C_2 , то $V(\alpha)$ можно представить в виде:

$$V(\alpha) = V_2 \cdot (1 - \cos 2\alpha) / 2, \quad (2)$$

Для молекул с относительно высоким двукратным барьером, ПФВВ (2) удовлетворительно описывает зависимость $V(\alpha)$ от α [8, 9]. Подставкой $2x=2\alpha+\pi$, $b=E/F$, $s=V_2/F$ уравнение (1) с ПФВВ (2) можно привести к уравнению Матье:

$$\frac{d^2 y(x)}{dx^2} + (b - s \cdot \cos^2 x) \cdot y(x) = 0, \quad (3)$$

решения которого известны и табулированы [10]. Используя значения частоты $\tau(OH)$ торсионного перехода $0 \rightarrow 1$ из [7] и таблицы [10] собственных значений уравнения Матье, были рассчитаны значения параметра V_2 ПФВВ для рассматриваемых молекул, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1
Рассчитанные (F , V_2 , E_0 , E_1 , ΔV_2) и литературные ($\Sigma\sigma$) данные для пара-замещённых производных фенола

№ п/п	X	F, см ⁻¹	V ₂ , см ⁻¹	E ₀ , см ⁻¹	E ₁ , см ⁻¹	ΔV ₂ , см ⁻¹	Σσ
1	-OH	22,53 ₃	937	139	405	-304	-0,92
2	-OCH ₃	22,50 ₁	958	141	410	-283	-0,80
3	-F	22,53 ₅	1029	146	426	-212	-0,07
4	-CH ₃	22,52 ₈	1154	155	453	-87	-0,32
5	-C(CH ₃) ₃	22,43 ₆	1179	157	458	-62	-0,22
6	-Br	22,53 ₅	1189	158	461	-52	+0,15
7	-Cl	22,53 ₅	1189	158	461	-52	+0,12
8	-C ₆ H ₅	22,43 ₉	1245	161	471	+4	-0,19
9	-H	22,53 ₅	1241	161	471	0	0
10	-I	22,53 ₅	1263	163	476	+22	+0,14
11	-CF ₃	22,43 ₉	1429	173	507	+188	+0,78
12	-CN	22,53 ₅	1496	178	521	+255	+1,03
13	-NO ₂	22,47 ₈	1557	181	531	+316	+1,26

В литературе, например [8, 9], барьером внутреннего вращения (БВВ) называют энергетическую разность между максимумом и соседним минимумом ПФВВ, поэтому параметр V_2 ПФВВ в данном случае можно рассматривать как величину БВВ.

В табл. 1 приведены также рассчитанные значения вращательной постоянной F . Как видно из этих данных, значения F (следовательно и I_{np}) малочувствительны к наличию заместителя в *para*-положении.

Для ПФВВ с двукратным БВВ решение уравнения (3) даёт для каждого торсионного числа ν два подуровня в соответствии со свойствами чётности функций Матье для этих подуровней. Расчёт расщепления ΔE_0 уровня E_0 и ΔE_1 уровня E_1 показал, что, например, для фенола $\Delta E_0 \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$, $\Delta E_1 \approx 0,1 \text{ см}^{-1}$. Для изученных *para*-замещённых фенолов значения ΔE_0 и ΔE_1 имеют такой же порядок величин. Поэтому расщепление торсионных уровней E_0 и E_1 не учитывалось и в табл. 1 приведены величины E_0 и E_1 , округлённые до ближайших целых значений.

В табл. 1 приведены также значения $\Delta V_2 = V_{2X} - V_{2H}$ изменения высоты БВВ в 4-Х-фенолах по сравнению с высотой БВВ в феноле. Изменение высоты БВВ в 4-Х-фенолах можно объяснить влиянием электронных эффектов заместителей на перераспределение электронной плотности связи С-О, вокруг которой происходит внутреннее вращение, как результат изменения степени перекрывания π -электронного облака бензольного кольца с p -электронным облаком неподелённой электронной пары атома кислорода ОН-группы. В результате изменяется степень частично двойного характера связи С-О в 4-Х-фенолах и, как следствие, изменяется высота БВВ. Подтверждением сказанного может служить работа [11], в которой методом МО ЛКАО был проведён расчёт изменения распределения электронной плотности связи С-О $\Delta\pi_{C-O} = \pi_{C-O}(X) - \pi_{C-O}(H)$ (здесь сохранены обозначения, использованные в [11]) в некоторых 4-Х-фенолах по сравнению с фенолом. На рис. 1 показана зависимость значений ΔV_2 , полученных в настоящей работе, от значений $\Delta\pi_{C-O}$, полученных в [11].

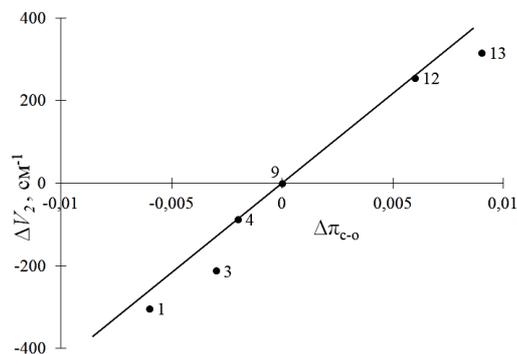


Рис. 1. Зависимость ΔV_2 от $\Delta\pi_{C-O}$. Числа около точек соответствуют номеру заместителя в табл. 1.

Аппроксимирующая функция, полученная методом наименьших квадратов (МНК), имеет вид $\Delta V_2 (\text{см}^{-1}) = 42217 \cdot \Delta\pi_{C-O}$, коэффициент детерминации $R^2=0,9437$. Из рис.1 видно, что имеется умеренно удовлетворительная зависимость между изменением распределения электронной плотности связи С-О и изменением высоты БВВ в 4-Х-фенолах.

Изменение распределения электронной плотности связи С-О и, как следствие этого, изменение БВВ можно оценить и с помощью σ -констант заместителей. Это следует как из принятых в органической химии представлений об электронных эффектах заместителей, так и из рис. 2, на котором представлена зависимость значений $\Delta\pi_{c-o}$ от алгебраической суммы $\sigma_F^o + \sigma_R = \Sigma\sigma$, где σ_F^o – «нулевая» константа, характеризующая индуктивное влияние фенильного радикала, имеющего соответствующий заместитель в пара-положении, σ_R – константа, характеризующая эффект сопряжения.

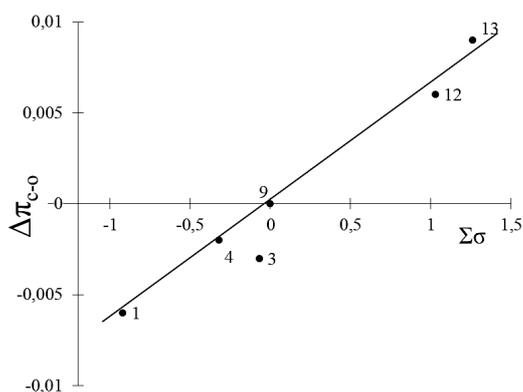


Рис. 2. Зависимость $\Delta\pi_{c-o}$ от $\Sigma\sigma$. Числа около точек соответствуют номеру заместителя в табл. 1.

Рассмотрение зависимости $\Delta\pi_{c-o}$ от алгебраической суммы $\sigma_F^o + \sigma_R$ означает, что используется аддитивная схема влияния индукционного эффекта и эффекта сопряжения на изменение высоты БВВ. Значения σ_F^o , σ_R взяты из [12]. Аппроксимирующая функция построена без учёта точки 3 и имеет вид $\Delta\pi_{c-o} = 6,52 \cdot 10^{-3} \cdot \Sigma\sigma$, коэффициент детерминации $R^2=0,9999$. Из рис. 2 можно видеть, что имеется удовлетворительная зависимость между $\Delta\pi_{c-o}$ и $\Sigma\sigma$. Это доказывает, что предположение о возможности использования σ -констант заместителей для оценки высоты БВВ в 4-Х-фенолах является правильной.

На рис. 3 приведена зависимость значений ΔV_2 от $\Sigma\sigma$.

Аппроксимирующая функция построена без учёта точки 3 и имеет вид $\Delta V_2 (\text{см}^{-1}) = 251 \cdot \Sigma\sigma$, коэффициент детерминации $R^2=0,9576$.

Из рисунков 2 и 3 видно, что точка 3, соответствующая X=F, заметно отклонена от линии регрессии на этих рисунках, а на рис. 1 отклонение точки 3 от линии регрессии не столь значительное. Если принять во внимание, что при построении рис.1 не используются σ -константы, а при построении рисунков 2 и 3 значения σ -констант используются непосредственно, то можно предположить, что заметное отклонение точки 3 на рисунках 2 и 3 от линий регрессии, возможно, обусловлены погрешностями в значениях σ_F^o , σ_R для X=F. Попытки объяснить столь заметное

отклонение точки 3 исходя из различных иных предположений не привели к разумной интерпретации и этот вопрос остаётся открытым.

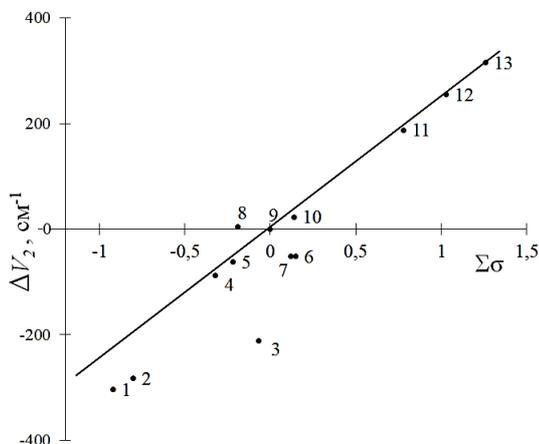


Рис 3. Зависимость ΔV_2 от $\Sigma\sigma$. Числа около точек соответствуют номеру заместителя в табл. 1.

Если отвлечься от точки 3, то из рис. 3 можно видеть, что имеется в достаточной мере удовлетворительная зависимость изменения БВВ в 4-Х-фенолах от аддитивного влияния электронных эффектов заместителей. При этом, как видно из рис. 3 и табл.1, заместитель, обладающий одновременно положительным индукционным эффектом (+I) и положительным эффектом сопряжения (+M), заметно понижает величину БВВ, а заместитель, обладающий одновременно -I и -M – эффектами, заметно повышает величину БВВ. Если у заместителя I- и M-эффекты имеют противоположные знаки, то влияние заместителя на изменение высоты БВВ имеет меньшую величину. Полученные результаты находятся в согласии с принятыми в органической химии представлениями о влиянии электронных эффектов заместителей на свойства молекул.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассчитаны приведённые моменты инерции, ПФВВ, значения торсионных уровней энергии E_0 , E_1 молекул фенола и двенадцати его *para*-замещённых производных.
2. Показано наличие зависимости между высотой БВВ и электронными эффектами заместителей в изученных *para*-замещённых производных фенола.

Список литературы

1. Рабинович В. А. Краткий химический справочник / В. А. Рабинович, З. Я. Хавин. – Л.: Химия, 1977. – С. 221.
2. Альберт А. Константы ионизации кислот и оснований / А. Альберт, Е. Сергент. – Л.: Химия, 1964. – 180 с.

3. Марголин Л. Н. Вычисление приведённых моментов инерции для внутреннего вращения в симметричных молекулах / Л. Н. Марголин, Ю. А. Пентин, В. И. Тюлин // Опт. и спектр. – 1973. – Т.35, №5. – С. 824–827.
4. Larsen N. W. Microwave spectra of the six mono-¹³C-substituted phenols and of some monodeuterated species of phenol. Complete substitution structure and absolute dipole moment / N. W. Larsen // J. Mol. Struct. – 1979. – Vol. 51, №2. – P. 175–190.
5. Свердлов Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – М.: Наука, 1970. – 560 с.
6. Вилков Л. В. Определение геометрического строения свободных молекул / Л. В. Вилков, В. С. Мاستрюков, Н. И. Садова. – Л.: Химия, 1978. – 224 с.
7. Fateley W. G. Phenolic-OH torsional frequency as a probe for studying π -electron distortions in aromatic systems / W. G. Fateley, G. L. Carlson, F. F. Bentley // J. Phys. Chem. – 1975. – Vol. 79, №3. – P. 199–204.
8. Финч А. Применение длинноволновой ИК-спектроскопии в химии / А. Финч, П. Гейтс, К. Редклиф [и др.]. – М.: Мир, 1973. – 284 с.
9. Внутреннее вращение молекул / Под ред. В. Дж. Орвилл-Томаса. – М.: Мир, 1977. – 510 с.
10. Таблицы для вычисления функций Матъе. – М.: ВЦ АН СССР, 1967. – С. 1–38.
11. Radom L. Torsional barriers in *para*-substituted phenols from *ab initio* molecular orbital theory and far infrared spectroscopy / L. Radom, W. J. Hehre, J. A. Pople [et al.]. // J. Chem. Soc. Chem. Comm. – 1972. – № 6. – P. 308–309.
12. Пальм В. А. Введение в теоретическую органическую химию / В. А. Пальм. – М.: Химия, 1974. – 446 с.

ABOUT INFLUENCE OF SUBSTITUENTS ELECTRONIC EFFECTS ON THE BARRIER OF INTERNAL ROTATION IN *para*-SUBSTITUTED PHENOLS

Sheikh-Zade M.-I., Abkhairova S. V.

*Fevzi Yakubov Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Crimea,
Russia Federation
E-mail: sysana70@gmail.com*

Using the geometrical data of phenol and twelve *para*-substituted phenol molecules, the reduced moment of inertia of this molecules relative the axis of internal rotation is calculated. In solving the problem of internal rotation in phenol and *para*-substituted phenols, the following assumption were made: 1- a semi-rigid molecule model was used, when a rigid top performs a retarded internal rotation relative to a rigid framework; 2- the value of the rotational constant $F=h^2/(8\pi^2 \cdot I_r)$ does not depend on the angle of the internal rotation α and on the torsional quantum number ν ; 3- torsional vibrations do not interact with other vibrations of the molecule. With these assumptions and using experimental data of frequency of the torsional transition $0 \rightarrow 1$, the potential function of the internal rotation $V(\alpha)=V_2 \cdot (1-\cos 2\alpha)/2$ for phenol and twelve *para*-substituted phenols and the values of the torsional energy levels E_0 and E_1 were calculated from solving the Mathieu equation. Value of the height of the barrier of internal rotation in this molecules where obtained.

This results shows, when substituted X is a electron donor the double bond character in the C-O bond decreases and the value of the barrier of internal rotation decreases. When

X is an electron acceptor the double character in the C–O bond increases and the value of the barrier of internal rotation also increases.

Keywords: phenol, substituents, electronic effects, potential function, barrier of internal rotation.

References

1. Rabinovich V. A., Xavin Z. Ya. *Brief chemical handbook*, 221 p. (Chemistry, Leningrad, 1977). (in Russ.).
2. Albert A., Serjeant E. P. *Ionization constants of acids and bases*, 180 p. (Chemistry, Leningrad, 1964). (in Russ.).
3. Margolin L. N., Pentin Yu. F., Tyulin V. I. Calculation of reduced moments of inertia for internal rotation in symmetric molecules, *Opt. and Spectr.*, **35** (5), 824 (1973). (in Russ.).
4. Larsen N. W. Microwave spectra of the six mono-¹³C-substituted phenols and of some monodeuterated species of phenol. Complete substitution structure and absolute dipole moment, *J. Mol. Struct.*, **51** (2), 175 (1979).
5. Sverdlov L. M., Kovner M. A., Krajinov E. P. *Vibrational spectra of polyatomic molecules*, 560 p. (Nauka, Moscow, 1970). (in Russ.).
6. Vilcov L. V., Mastryukov V. S., Sadova N. I. *Determine of geometrical structure free molecules*, 224 p. (Chemistry, Leningrad, 1978). (in Russ.).
7. Fateley W. G., Carlson G. L., Bentley F. F. Phenolic-OH torsional frequency as a probe for studying π -electron distortions in aromatic systems, *J. Phys. Chem.*, **79** (3), 199 (1975).
8. Finch A., Gates P. N., Radcliffe K., Dickson F. N., Bentley F. F. *Chemical applications of far infrared spectroscopy*, 284 p. (Mir, Moscow, 1973). (in Russ.).
9. *Tables relating to Mathieu functions*, 38 p. (CC AS USSR, Moscow, 1967). (in Russ.).
10. Radom L., Hehre W. J., Pople J. A. Torsional barriers in *para*-substituted phenols from *ab initio* molecular orbital theory and far infrared spectroscopy, *J. Chem. Soc. Chem. Comm.*, (6), 308 (1972).
11. Pal'm V. A. *Introduction in theoretical organic chemistry*, 446 p. (Chemistry, Moscow, 1974). (in Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Абрахманова
Ольга Игоревна** ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», магистрант 2 курса направления подготовки «Экология и природопользование», e-mail: abrahmanovaoi@studklg.ru
- Абхаирова
Сусана Велишаевна** ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», кандидат химических наук, доцент кафедры технологического образования, e-mail: sysana70@gmail.com
- Алексееенко
Арина Андреевна** Российский университет дружбы народов, экологический факультет, студент 2 года магистратуры кафедры экологического мониторинга и прогнозирования
- Архангельская
Елена Валерьяновна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры
- Багуль
Екатерина Андреевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», факультет биологии и химии, обучающаяся 4 курса
- Баевский
Михаил Юрьевич** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биологической химии факультета биологии и химии
- Батура
Инна Александровна** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фитореабилитации человека, e-mail: spreeker@mail.ru
- Бежин
Николай Алексеевич** ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химии и химических технологий
- Большакова
Анна Александровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», обучающаяся 2 курса магистратуры кафедры биохимии
- Боркута
Марина
Александровна** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», инженер-исследователь лаборатории фитореабилитации человека, e-mail: manuyalta@mail.ru

- Вахрушева Людмила Павловна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий факультета биологии и химии, e-mail: vakhl@inbox.ru
- Вяткина Оксана Валерьевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей и физической химии, e-mail: oksana_vyatkina@list.ru
- Герасимчук Владимир Николаевич** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», выпускник кафедры медико-биологических основ физической культуры
- Головин Михаил Сергеевич** ФГБОУ ВО "Новосибирский государственный педагогический университет", кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: golovin593@mail.ru
- Гостева Елена Владимировна** ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава РФ, кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней, e-mail: mdm112@mail.ru
- Григорьев Павел Евгеньевич** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории фитореабилитации человека, e-mail: mhnty@ya.ru
- Грузинов Евгений Николаевич** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», бакалавр кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Давыденко Наталья Михайловна** Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ, аспирантка
- Дерхо Марина Аркадьевна** ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой
- Довгий Илларион Игоревич** ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела биогеохимии моря

Евсеева Анна Александровна	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», доцент кафедры ботаники, микробиологии и экологии, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: annahabarova@yandex.ru
Елкина Наталья Маратовна	Медицинская академия им. С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, преподаватель подготовительных курсов
Елфимова Юлия Алексеевна	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко» Минздрава РФ, студент 3 курса лечебного факультета, e-mail: julia2209elfimova@gmail.com
Ершова Татьяна Сергеевна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кандидат биологических наук, доцент кафедры гидробиология и общая экология
Живетина Алена Владимировна	ФГБОУ ВО «Южно–Уральский государственный аграрный университет», аспирант
Заднепровская Елена Владимовна	ФГБУН Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), Инженер, аспирант
Зайцев Вячеслав Федорович	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой гидробиология и общая экология
Ибрагимова Эвелина Энверовна	ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биологии, экологии и безопасности жизнедеятельности
Иванисова Надежда Викторовна	Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ, кандидат биологических наук, профессор, доцент, e-mail: nadya80y@mail.ru
Изнайрова Мария Дмитриевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», факультет биологии и химии, обучающаяся 4 курса
Кайда Анна Ивановна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, младший научный сотрудник кафедры психологии и психофизиологии факультета психологии

- Калаев
Владислав Николаевич** ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», доктор биологических наук, профессор кафедры генетики, цитологии и биоинженерии, e-mail: dr_huixs@mail.ru
- Калаева
Елена Анатольевна** ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», кандидат биологических наук, доцент кафедры биофизики и биотехнологии, e-mail: kalaevae@gmail.com
- Калюжный
Евгений
Александрович** ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры нормальной физиологии им. Н. Ю. Беленкова, e-mail: eakmail@mail.ru
- Каширина
Алина Владимировна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», бакалавр кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Коваль
Елена Станиславовна** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», инженер-исследователь лаборатории фитореабилитации человека, e-mail: es_koval@mail.ru
- Козлова
Анна Павловна** ФГБОУ ВО "Новосибирский государственный педагогический университет", кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: anna-gajdarova@yandex.ru
- Колесников
Сергей Ильич** Академия биологии и биотехнологии, ФГАОУ ВО Южный федеральный университет, доктор с.-х. наук, профессор, заведующий кафедры экологии и природопользования, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru
- Коновалов
Борис Михайлович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающийся 1-го курса магистратуры направления подготовки 04.04.01 Химия
- Коношенко
Светлана
Владимировна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии
- Кузнецова
Анастасия
Александровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», бакалавр кафедры физиологии человека и животных и биофизики

Куринская Любовь Викторовна	Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: lyubov.kurinskay@mail.ru
Ластовецкий Альберт Генрихович	Федеральное государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры здравоохранения и общественного здоровья, медицинского страхования и государственного контроля в сфере здравоохранения
Мельникова Екатерина Дмитриевна	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры медицинской и фармацевтической химии
Минина Елена Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор медицинских наук, доцент кафедры теории и методики адаптивной физической культуры, физической реабилитации и оздоровительных технологий, e-mail: cere-el@yandex.ru
Михайлова Анна Андреевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», старший преподаватель кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: anna.kulenkova@gmail.com
Мухамедьярова Лилия Газинуровна	ФГБОУ ВО «Южно–Уральский государственный аграрный университет», кандидат биологических наук, доцент
Наговская Елена-Елизавета Владимировна	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», младший научный сотрудник лаборатории фитореабилитации человека, e-mail: lenalizanbs@mail.ru
Нечаева Марина Сергеевна	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава РФ, кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной физиологии, e-mail: m.s.nechayeva@vntngmu.ru
Нохрин Денис Юрьевич	ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет», кандидат биологических наук, доцент
Павленко Владимир Борисович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», заведующий кафедрой общей психологии и психофизиологии, e-mail: vpav55@gmail.com

- Попов
Максим Николаевич** Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского в г. Ялте, кандидат педагогических наук, доцент, заместитель директора
- Раваева
Марина Юрьевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Романчук
Роман Викторович** Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, аспирант кафедры экологии и природопользования; агроном испытательной лаборатории Ростовского филиала ФГБУ «ВНИИКР», e-mail: roma.romanchuk.95@bk.ru
- Сарнит
Елена Александровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей и физической химии факультета биологии и химии
- Соболев
Валерий Иванович** ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры здоровья и реабилитации, e-mail: v.sobolev@mail.ru
- Согников
Александр
Александрович** ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава, студент 3 курса лечебного факультета
- Стягина
Дарья Владимировна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», бакалавр кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Тонковцева
Валентина Валериевна** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фитореабилитации человека, e-mail: valyalta@rambler.ru
- Туманянц
Каринэ Николаевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com

Хадарцев Александр Агубечирович	ФГБУ ВО «Тульский государственный университет», доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки, эксперт РАН, директор медицинского института
Хромушин Виктор Александрович	ФГБУ ВО «Тульский государственный университет», доктор биологических наук, кандидат технических наук, заместитель директора медицинского института
Цикалова Виктория Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биологической химии факультета биологии и химии
Чаплыгин Владимир Александрович	Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО («КаспНИРХ»), кандидат биологических наук, заведующий лабораторией осетровых рыб
Черетаев Игорь Владимирович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Черный Сергей Васильевич	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры
Чупахина Татьяна Александровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биологической химии факультета биологии и химии
Чуян Елена Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Шабоянц Наталья Георгиевна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кандидат биологических наук, ассистент кафедры биологии и ботаники
Шейх-Заде Мамет-Исмет	ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры электромеханики и сварки

- Шехмамбетов Нариман Ревзетович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 года обучения кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Шушпанова Жемма Викторовна** Российский университет дружбы народов, старший преподаватель кафедры экологического мониторинга и прогнозирования, e-mail: jshoo@yandex.ru
- Эйсмонт Евгения Владимировна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Янковская Виктория Станиславовна** Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе» в городе федерального значения Севастополе, кандидат химических наук, начальник санитарно-гигиенической лаборатории
- Ярош Александр Михайлович** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», доктор медицинских наук, кандидат биологических наук, заведующий отделом технических культур и биологически активных веществ, e-mail: a888my@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Alekseenko A. A., Shushpanova D. V.**
PROCESSING OF WOOD WASTE FROM THE RUSSIAN TIMBER INDUSTRY
COMPLEX INTO SECONDARY PRODUCTS 3
- Герасимчук В. Н., Архангельская Е. В., Черный С. В., Туманянц К. Н.**
МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА СПОРТСМЕНОВ РАЗНЫХ ВИДОВ
СПОРТИВНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ 14
- Головин М. С., Козлова А. П.**
ИНТЕГРАЦИЯ ВЕГЕТАТИВНЫХ, ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И
ЛИЧНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ У ЮНОШЕЙ И ДЕВУШЕК РАЗНОГО УРОВНЯ
КРЕАТИВНОСТИ 25
- Евсеева А. А., Абрахманова О. И.**
МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА СРЕДЫ ГОРОДА КАЛУГИ МЕТОДОМ
БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ QUERCUS ROBUR L. 35
- Ершова Т. С., Зайцев В. Ф., Чаплыгин В. А., Шабоянц Н. Г.**
ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ 45
- Заднепровская Е. В., Вахрушева Л. П.**
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ВОЗРАСТНЫХ
СОСТОЯНИЙ *PTILOSTEMON ECHINOCERPHALUS* (WILLD.) GREUTER (*LAMYRA*
ECHINOCERPHALA (WILLD.) TAMAMSCH.) 58
- Ибрагимова Э. Э., Калюжный Е. А.**
ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ГЕМОДИНАМИКИ СОВРЕМЕННЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ
СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ И ЮГА РОССИИ..... 69
- Ivanisova N. V., Kurinskaya L. V., Kolesnikov S. I., Davydenko N. M.**
PHYTOMELIORATIVE ROLE OF SHRUB BELT IN ROADSIDE PLANTATIONS..... 80
- Коношенко С. В., Елкина Н. М., Большакова А. А.**
ПОКАЗАТЕЛИ ДЕСТРУКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭРИТРОЦИТАХ В УСЛОВИЯХ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА IN VITRO 87
- Михайлова А. А., Кайда А. И., Эйсмонт Е. В., Павленко В. Б.**
ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЕТА-РИТМОВ ЭЭГ У ДЕТЕЙ 4-15 ЛЕТ В
СОСТОЯНИИ УСТОЙЧИВОГО ЗРИТЕЛЬНОГО ВНИМАНИЯ 95
- Нечаева М. С., Калаев В. Н., Гостева Е. В., Калаева Е. А., Сотников А. А.,
Елфимова Ю. А.**
ДЕРМАТОГЛИФЫ ПАЦИЕНТОВ, СТРАДАЮЩИХ РЕВМАТИЧЕСКИМИ
БОЛЕЗНЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ..... 104
- Нохрин Д. Ю., Дерхо М. А., Мухамедьярова Л. Г., Живетина А. В.**
СТРУКТУРА ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ В
ВОДОХРАНИЛИЩЕ ОЗЕРНОГО ТИПА 117

Раваева М. Ю., Черетаев И. В., Чуюн Е. Н., Шехмамбетов Н. Р., Стягина Д. В., Грузинов Е. Н., Кузнецова А. А., Каширина А. В. ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛАТОВ CO^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Li^+ И Mg^{2+} НА БОЛЕВУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ САМЦОВ КРЫС	134
Романчук Р. В., Колесников С. И. СООБЩЕНИЕ О НАХОДКЕ <i>GARELLA MUSCULANA</i> (ERSCHOV, 1874) (LEPIDOPTERA: NOLIDAE) – НОВОГО ДЛЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ВИДА ФИТОФАГА-ВРЕДИТЕЛЯ ИЗ ООПТ «ЧУЛЕКСКАЯ БАЛКА»	145
Соболев В. И., Попов М. Н. К ВОПРОСУ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ «ВЫБОР СПОСОБА ДЕЙСТВИЯ» В СОСТАВЕ АУДИОМОТОРНОЙ РЕАКЦИИ «GO/GO»-ТИПА	158
Тонковцева В. В., Ярош А. М., Батура И. А., Наговская Е.-Е. В., Коваль Е. С., Боркута М. А., Григорьев П. Е. ВЛИЯНИЕ ЭФИРНОГО МАСЛА ИССОПА ЛЕКАРСТВЕННОГО НА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И УМСТВЕННУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ	167
Хадарцев А. А., Минина Е. Н., Ластовецкий А. Г., Хромушин В. А. МЕТОДОЛОГИЯ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РЕЗЕРВОМЕТРИИ В СПОРТЕ ВЫСШИХ ДОСТИЖЕНИЙ	179

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Вяткина О. В., Изнаунова М. Д., Багуль Е. А. ПЕРОКСИДАЗНОЕ ОКИСЛЕНИЕ КАК АНАЛИТИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕНОЛА В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ	191
Довгий И. И., Бежин Н. А., Янковская В. С. ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ КРАУН-ЭФИРОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	198
Сарнит Е. А., Баевский М. Ю., Коновалов Б. М., Мельникова Е. Д. КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ МЕДИ(II) НА ОСНОВЕ ГИДРАЗИДА И САЛИЦИЛИДЕНГИДРАЗОНА [2-(γ -ГИДРОКСИПРОПИЛБЕНЗИМИДАЗОЛ-1-ИЛ)ЭТАНОВОЙ КИСЛОТЫ: СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА	210
Цикалова В. Н., Сарнит Е. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИСЛОТ ЛЬЮИСА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ФЕНИЛ-2-АЦЕТАМИДО-3,4,6-ТРИ-О-АЦЕТИЛ-2-ДЕЗОКСИ- α -D-ГЛЮКОПИРАНОЗИДА В КИПЯЩЕМ РАСТВОРИТЕЛЕ	221
Чупахина Т. А. ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА 2-АМИНОФЕНИЛГЛИКОЗИДА N-АЦЕТИЛГЛЮКОЗАМИНА	230
Шейх-Заде М. И., Абхаирова С. В. О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЭФФЕКТОВ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ НА БАРЬЕРЫ ВНУТРЕННЕГО ВРАЩЕНИЯ В ЛАРА-ЗАМЕЩЕННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА	238
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	246
СОДЕРЖАНИЕ	254