



ISSN 2074-8566

ВЕСНІК

ВІЦЕБСКАГА ДЗЯРЖАЎНАГА ЎНІВЕРСІТЭТА

2025 № 4(129)

ВЕСНІК

ВІЦЕБСКАГА ДЗЯРЖАЎНАГА ЎНІВЕРСІТЭТА

НАВУКОВА-ПРАКТЫЧНЫ ЧАСОПІС

Выдаецца з верасня 1996 года
Выходзіць чатыры разы на год

2025
№ 4(129)

ЗАСНАВАЛЬНІК:

установа адукацыі “Віцебскі дзяржаўны
ўніверсітэт імя П.М. Машэрава”

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ:

В.В. Багатырова (галоўны рэдактар),
Я.Я. Аршанскі (нам. галоўнага рэдактара)

В.М. Балаева-Ціхамірава, А.А. Белавостаў, М.М. Вараб’ёў,
М.Ц. Вараб’ёў (адказны за раздзел “Матэматыка”),
Д.А. Венсковіч, А.М. Галкін, С.А. Ермачэнка, А.М. Залеская, Д.Д. Жарнасекаў,
З.С. Кунцэвіч, С.У. Нікалаенка, Н.А. Ракава (адказны за раздзел “Педагогіка”),
Г.Г. Сушко, Т.А. Талкачова (адказны за раздзел “Біялогія”), **А.А. Чыркін**

РЭДАКЦЫЙНЫ САВЕТ:

Т.А. Бараўскіх (Расія), **Ю.Ю. Гаўронская** (Расія),
Го Вэньбінь (Кітай), **В.І. Казарэнкаў** (Расія), **Ю.С. Харын** (Беларусь)

*Часопіс “Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта” ўключаны ў Пералік
навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў
дысертацыйных даследаванняў па біялагічных, педагогічных,
фізіка-матэматычных навуках*

Адрас рэдакцыі:

210038, г. Віцебск, Маскоўскі пр-т, 33, кабінет 115,
тэл. +375(33)398-50-51.
E-mail: nauka@vsu.by
<http://www.vsu.by>

Рэгістрацыйны № 750 ад 27.10.2009.

Падпісана ў друк 28.11.2025. Фармат 60×84 1/8. Папера друкарская.
Ум. друк. арк. 12,32. Ул.-выд. арк. 9,83. Тыраж 165 экз. Заказ 134.

© Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта, 2025

З М Е С Т

МАТЭМАТЫКА

- Иванова Ж.В., Перхальский А.В.** Качественное исследование одной автономной системы дифференциальных уравнений второго порядка с полиномиальными правыми частями 5
- Ломовцев Ф.Е.** Смешанная задача для модельного телеграфного уравнения с двумя скоростями $a_1(x,t)$ и $a_2(x,t)$ при нехарактеристической кривой производной на конце полуограниченной струны. I 13

БІЯЛОГІЯ

- Толкачёва Т.А., Кисилевская Н.С., Чиркин А.А., Кунцевич А.В.** Потенциальные источники антиоксидантов из биоресурсов Белорусского Поозерья 26
- Шикунец А.Б., Штепа В.Н., Жерносеков Д.Д.** Современные подходы к биологической очистке воды в установках замкнутого водоснабжения: проблемы и перспективы развития 34
- Белая Е.В.** Ассоциация генотипа по локусу rs2228570 гена *VDR* с результативностью корригирующих мероприятий при идиопатическом сколиозе у детей 42
- Савицкая К.Л.** Оценка сходства видового состава и экологической структуры парциальных флор разнотипных водных объектов Пуховичской равнины 47
- Феськова Е.В., Дайлид А.С., Нестер О.В., Леонтьев В.Н.** Компонентный состав и антимикробная активность эфирного масла некоторых видов *Thymus*, произрастающих на территории Республики Беларусь 57
- Держинский Е.А.** Распространение бражника слепого *Smerinthus caecus* Ménétrière, 1857 (Lepidoptera, Sphingidae) в Беларуси 64

ПЕДАГОГІКА

- Шарапова И.А.** Патриотизм как ценность и его воспитание как важнейшая педагогическая проблема 70
- Аржанович В.Ф., Шпак В.Г.** Физкультурно-оздоровительная деятельность детей школьного возраста в свободное время 75
- Лан Синьсинь.** Модернизация и реформирование системы высшего профессионального образования Китая 83
- Шаматульская Е.В., Дубинкина А.О.** Использование технологии CLIL на примере предметно-языкового интегрированного урока географии и английского языка 88
- Минина Н.В., Коханчик А.Н.** Особенности занятий по предмету «Физическая культура и здоровье» девушек музыкального колледжа 95

- ЗВЕСТКІ ПРА АЎТАРАЎ** 102

CONTENTS

M A T H E M A T I C S

Ivanova Zh.V., Perkhalsky A.V. Qualitative Study of One Autonomous System of Second-Order Differential Equations with Polynomial Right-Hand Sides	5
Lomovtsev F.E. Mixed Problem for a Model Telegraph Equation with Two Velocities $a_1(x,t)$ and $a_2(x,t)$ with a Noncharacteristic Oblique Derivative at the End of a Semibounded String. I	13

B I O L O G Y

Tolkacheva T.A., Kisilevskaya N.S., Chirkin A.A., Kuntsevich A.V. Potential Antioxidant Sources from Bio Resources of Belarusian Poozeriye (Lake District)	26
Shikunets A.B., Shtepa V.N., Zhernosekov D.D. Contemporary Approaches to Biological Water Treatment in Closed Water Supply Facilities Problems and Prospects of Developmen	34
Belaya E.V. Genotype Association of Locus rs2228570 Gene <i>VDR</i> with the Effectiveness of Corrective Events of Children with Idiopathic Scoliosis	42
Savitskaya K.L. Comparison of Species Composition and Ecological Structure of Parcial Floras of Different Types of Water Bodies Within the Pukhovichy Plain	47
Feskova E.V., Dailid A.S., Nester O.V., Leontiev V.N. Composition and Antimicrobial Activity of Some <i>Thymus</i> Species Essential Oil Growing in the Republic of Belarus	57
Derzhinsky Ye.A. Distribution of the Northern Eyed Hawkmoth <i>Smerinthus Caecus</i> Ménétrières, 1857 (Lepidoptera, Sphingidae) in Belarus	64

P E D A G O G Y

Sharapova I.A. Patriotism as a Value and Patriotic Education as a Crucial Pedagogical Problem	70
Arzhanovich V.F., Shpak V.G. Physical Education and Health Activities of School-Age Children in Their Free Time	75
Liang Xinxin. Modernization and Reform of the System China's Higher Vocational Education System	83
Shamatulskaya E.V., Dubinkina A.O. Using CLIL (Content and Language Integrated Learning) Technology in Geography and English Language Integrated Lesson	88
Minina N.V., Kokhanchik A.N. Features of Classes in the Subject "Physical Education and Health" for Girls of Music College	95
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	102



МАТЭМАТЫКА

УДК 519.632

КАЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЙ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ПОЛИНОМИАЛЬНЫМИ ПРАВЫМИ ЧАСТЯМИ

Ж.В. Иванова, А.В. Перхальский

*Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»*

К рассмотрению автономных систем дифференциальных уравнений приводят многие задачи астрономии, физики, химии и других областей естествознания, в которых требуется изучить развитие того или иного процесса во времени. При этом полезно выяснить особенности решений таких систем — поведение интегральных кривых в окрестности состояний равновесия, устойчивость состояний равновесия, влияние параметров, что позволяет глубже понять динамику данных процессов.

Цель статьи — качественное исследование системы дифференциальных уравнений с квадратичными правыми частями: нахождение состояний равновесия системы, определение их характера в зависимости от значений параметра α , построение качественной картины поведения интегральных кривых в круге Пуанкаре.

Материал и методы. Авторами использованы методы, разработанные А. Пуанкаре и А.М. Ляпуновым для определения характера состояний равновесия и поведения траекторий систем дифференциальных уравнений.

Результаты и их обсуждение. Рассматривается система дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = 2y + \frac{4}{3}x^2 + 2xy = P(x, y), \\ \dot{y} = \alpha x + y + \frac{2}{3}(3\alpha - 2)x^2 + 2xy + 3y^2 = Q(x, y), \end{cases} \quad (1)$$

Проводится качественное исследование данной системы.

Заключение. В работе найдены состояния равновесия системы (1) в конечной части плоскости и на бесконечности, определен их тип для значений параметра $\alpha > \frac{13}{18}$. Для указанных значений параметра проведено полное качественное исследование.

Ключевые слова: качественное исследование, автономная система, траектории, состояния равновесия, характер состояний равновесия.

QUALITATIVE STUDY OF ONE AUTONOMOUS SYSTEM OF SECOND-ORDER DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH POLYNOMIAL RIGHT-HAND SIDES

Zh.V. Ivanova, A.V. Perkhalsky

Education Establishment "Vitebsk State P.M. Masherov University"

Many problems in astronomy, physics, chemistry, and other areas of natural science in which it is necessary to study the development of a particular process over time lead to the consideration of autonomous systems of differential equations. In this case, it is often useful to find out the features of the solutions of such systems: the behavior of integral curves in the vicinity of equilibrium states, the stability of equilibrium states, the influence of parameters, which allows a deeper understanding of the dynamics of the processes under study.

The purpose of the article is a qualitative study of a system of differential equations with quadratic right-hand sides: finding the equilibrium states of the system, identifying their nature depending on the values of the parameter α , constructing a qualitative picture of the behavior of integral curves in the Poincaré circle.

Material and methods. The work used methods developed by A. Poincaré and A.M. Lyapunov to determine the nature of equilibrium states and the behavior of trajectories of systems of differential equations.

Findings and their discussion. A system of differential equations is considered

$$\begin{cases} \dot{x} = 2y + \frac{4}{3}x^2 + 2xy = P(x, y), \\ \dot{y} = \alpha x + y + \frac{2}{3}(3\alpha - 2)x^2 + 2xy + 3y^2 = Q(x, y), \end{cases} \quad (1)$$

A qualitative study of this system is carried out.

Conclusion. In the work, the equilibrium states of system (1) in the finite part of the plane and at infinity are found, their type is determined for the parameter values $\alpha > \frac{13}{18}$. A full qualitative study was carried out for the specified parameter values.

Key words: qualitative research, autonomous system, trajectories, equilibrium states, nature of equilibrium states.

В данной работе проводится качественное исследование системы дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = 2y + \frac{4}{3}x^2 + 2xy = P(x, y), \\ \dot{y} = \alpha x + y + \frac{2}{3}(3\alpha - 2)x^2 + 2xy + 3y^2 = Q(x, y), \end{cases} \quad (1)$$

где α — произвольный действительный параметр, $x = x(t)$, $y = y(t)$. Так как правая часть системы (1) не зависит явно от t , то такая система является автономной.

К рассмотрению автономных систем приводят многие задачи астрономии, физики, химии и других областей естествознания, в которых требуется изучить развитие того или иного процесса во времени. Нахождение решений данных систем в виде элементарных функций или в квадратурах в большинстве случаев невозможно. Многие численные методы позволяют найти решение с любой степенью точности в течение конечного промежутка времени. Однако для прикладных задач часто важно знать поведение решений на неограниченных временных интервалах. Например, необходимо определить, в каком направлении происходит движение материальной точки на плоскости или в пространстве, останется ли данная точка с течением времени в конечной части плоскости или уйдет в бесконечность. Такими вопросами занимается качественная теория дифференциальных уравнений. Первые работы в области качественного исследования принадлежат А. Пуанкаре. Дальнейшее развитие идеи Пуанкаре получили в работах Дж.Д. Биркгофа, И. Бендиксона, А.М. Ляпунова, Л.С. Понтрягина и др.

Цель статьи — качественное исследование системы (1): нахождение состояний равновесия системы в конечной части плоскости и на бесконечности, определение их характера в зависимости от значений параметра α , построение качественной картины поведения интегральных кривых в круге Пуанкаре.

Материал и методы. В работе использованы методы, разработанные А. Пуанкаре и А.М. Ляпуновым для определения характера состояний равновесия и поведения траекторий систем дифференциальных уравнений.

Результаты и их обсуждение. Проведем качественное исследование системы (1). Для определения координат состояний равновесия этой системы найдем решения системы уравнений

$$\begin{cases} 2y + \frac{4}{3}x^2 + 2xy = 0, \\ \alpha x + y + \frac{2}{3}(3\alpha - 2)x^2 + 2xy + 3y^2 = 0, \end{cases} \quad (2)$$

или

$$\begin{cases} y = -\frac{2x^2}{3(x+1)}, \\ \frac{x(1+2x)((3\alpha-2)x^2 + 6(\alpha-1)x + 3\alpha)}{3(x+1)^2} = 0. \end{cases}$$

При $\alpha \neq \frac{2}{3}$ получим следующие решения системы (2):

$$\begin{aligned} x_1 = 0, \quad y_1 = 0; \quad x_2 = -\frac{1}{2}, \quad y_2 = -\frac{1}{3}; \\ x_3 = -\frac{3(\alpha-1) + \sqrt{3(3-4\alpha)}}{3\alpha-2}, \quad y_3 = \frac{7\alpha-6 - (\alpha-2)\sqrt{3(3-4\alpha)}}{2(3\alpha-2)}; \\ x_4 = -\frac{3(\alpha-1) - \sqrt{3(3-4\alpha)}}{3\alpha-2}, \quad y_4 = \frac{7\alpha-6 + (\alpha-2)\sqrt{3(3-4\alpha)}}{2(3\alpha-2)}. \end{aligned}$$

Количество состояний равновесия системы (1) зависит от значений параметра α :

при $\alpha > \frac{3}{4}$ система имеет два состояния равновесия: точку $O(0, 0)$ и точку $A_1\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}\right)$;

при $\alpha < \frac{3}{4}$, $\alpha \neq \frac{2}{3}$, $\alpha \neq 0$, $\alpha \neq -3\frac{1}{3}$ — четыре состояния равновесия: точку $O(0, 0)$, точку

$$A_1\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}\right), \text{ точки } A_{2,3} = \left(-\frac{3(\alpha-1) \pm \sqrt{3(3-4\alpha)}}{3\alpha-2}, \frac{(7\alpha-6) \mp (\alpha-2)\sqrt{3(3-4\alpha)}}{2(3\alpha-2)}\right).$$

Значения $\alpha = \frac{3}{4}$, $\alpha = 0$, $\alpha = -3\frac{1}{3}$ бифуркационные. При $\alpha = \frac{3}{4}$ происходит слияние точек A_2 и A_3 ,

поэтому система (1) имеет три состояния равновесия: точку $O(0, 0)$, точку $A_1\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}\right)$, точку

$A_2\left(3, -\frac{3}{2}\right)$. При $\alpha = 0$ точка O совпадает с точкой A_2 . В этом случае состояниями равновесия системы (1)

являются точки $O(0, 0)$, $A_1\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}\right)$, $A_3(-3, 3)$. При $\alpha = -3\frac{1}{3}$ точка A_1 совпадает с точкой A_2 . Следова-

тельно, у системы (1) три состояния равновесия: $O(0, 0)$, $A_1\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}\right)$, $A_3\left(-\frac{5}{3}, \frac{25}{9}\right)$.

Найдем состояния равновесия системы (1) на бесконечности. Для этого с помощью преобразований Пуанкаре $x = \frac{1}{z}$, $y = \frac{u}{z}$, $t = z \cdot \tau$ приведем данную систему к виду

$$\begin{cases} \frac{dz}{d\tau} = -\frac{4}{3}z - 2uz - 2uz^2, \\ \frac{du}{d\tau} = \frac{2}{3}(3\alpha - 2) + \frac{2}{3}u + \alpha z + u^2 + uz - 2u^2z. \end{cases} \quad (3)$$

При $z = 0$ получаем следующие решения системы (3): $u_1 = \frac{-1 + \sqrt{13 - 18\alpha}}{3}$, $u_2 = \frac{-1 - \sqrt{13 - 18\alpha}}{3}$.

Очевидно, что на оси $z = 0$ при $\alpha < \frac{13}{18}$ у системы (3) есть два состояния равновесия: точки $M\left(0, \frac{-1 + \sqrt{13 - 18\alpha}}{3}\right)$ и $N\left(0, \frac{-1 - \sqrt{13 - 18\alpha}}{3}\right)$. В случае $\alpha = \frac{13}{18}$ точка $M\left(0, -\frac{1}{3}\right)$ — единственное состояние равновесия системы (3), которое получается при слиянии точек M и N . При $\alpha > \frac{13}{18}$ на оси $z = 0$ у системы (3) нет точек покоя.

С помощью преобразований $x = \frac{v}{z}$, $y = \frac{1}{z}$, $t = z \cdot \tau$ исследуем поведение траекторий системы (1) на положительном конце оси OY . В этом случае система (1) приводится к виду

$$\begin{cases} \frac{dz}{d\tau} = -3z - z^2 - 2vz - \alpha vz^2 - \frac{2}{3}(3\alpha - 2)v^2z, \\ \frac{du}{d\tau} = 2z - 2v - \frac{2}{3}v^2 - vz - \alpha v^2z - \frac{4}{3}(3\alpha - 2)v^3. \end{cases} \quad (4)$$

Очевидно, что точка $D(0, 0)$ есть состояние равновесия системы (4).

При этом будем считать, что если системы (3) или (4), а следовательно, и система (1), имеют бесконечно удаленное состояние равновесия на конце какой-либо полупрямой $y = kx$ ($x > 0$), то на конце полупрямой $y = kx$ ($x < 0$) также есть состояние равновесия данной системы. Кроме того, так как правые части данных систем являются многочленами второго порядка, то состояния равновесия, лежащие на противоположных концах прямой $y = kx$, имеют один и тот же характер, но направление траекторий в их окрестности будет противоположным [1].

Таким образом, бесконечно удаленными состояниями равновесия системы (1)

при $\alpha < \frac{13}{18}$ являются точки M_1 и M_2 , лежащие на концах прямой $y = u_1x$, где $u_1 = \frac{-1 + \sqrt{13 - 18\alpha}}{3}$;

N_1 и N_2 , лежащие на концах прямой $y = u_2x$, где $u_2 = \frac{-1 - \sqrt{13 - 18\alpha}}{3}$; D_1 и D_2 , лежащие на концах оси OY ;

при $\alpha = \frac{13}{18}$ точки M_1 и M_1 — на концах прямой $y = -\frac{1}{3}x$, D_1 и D_2 — на концах оси OY ;

при $\alpha > \frac{13}{18}$ точки D_1 и D_2 , расположенные на концах оси OY .

Кроме того в [2] доказано, что данная система имеет частный алгебраический интеграл вида

$$4(3\alpha - 2)x^3 + 18y^2 + 9(3\alpha - 2)x - 12y - 3\alpha = 0.$$

В приложениях часто возникает вопрос: как меняется поведение интегральных кривых при изменении параметров системы? Для системы (1) рассмотрим этот вопрос в случае $\alpha \in \left(\frac{13}{18}, +\infty\right)$, когда у системы есть только две бесконечно удаленные точки покоя D_1 и D_2 , лежащие на диаметрально противоположных концах оси OY .

Тип точек D_1 и D_2 определяется из системы (4) с помощью характеристического уравнения

$$\begin{vmatrix} -3-\lambda & 0 \\ 2 & -2-\lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Так как корни данного уравнения $\lambda_1 = -3$, $\lambda_2 = -2$, то система (4), а значит, и система (1), на положительном конце оси OY имеет устойчивый узел D_1 . Соответственно на отрицательном конце этой оси система (1) имеет неустойчивый узел D_2 .

Пусть $\alpha \in \left(\frac{13}{18}, \frac{3}{4}\right)$, $\alpha = \frac{37}{50}$. Тогда точки $O(0, 0)$, $A_1\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}\right)$, $A_2\left(\frac{39-10\sqrt{3}}{11}, \frac{-205+63\sqrt{3}}{110}\right)$, $A_3\left(\frac{39+10\sqrt{3}}{11}, \frac{-205-63\sqrt{3}}{110}\right)$ — состояния равновесия системы (1) в конечной части плоскости.

Тип этих точек определяется с помощью характеристического уравнения

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial P}{\partial x} - \lambda & \frac{\partial Q}{\partial y} \\ \frac{\partial Q}{\partial x} & \frac{\partial Q}{\partial y} - \lambda \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

где $\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{8}{3}x + 2y$, $\frac{\partial P}{\partial y} = 2 + 2y$, $\frac{\partial Q}{\partial x} = \alpha x + \frac{4}{3}(3\alpha - 2)x + 2y$, $\frac{\partial Q}{\partial y} = 1 + 2x + 6y$. Частные производные функций $P(x, y)$ и $Q(x, y)$ находятся в исследуемых точках.

В точке O корни уравнения (5): $\lambda_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1+8\alpha}}{2}$. Так как при $\alpha = \frac{37}{50}$ корни уравнения (5) действительные и имеют разные знаки, то точка O является седлом.

В точке A_1 : $\lambda_{1,2} = -2 \pm \sqrt{\frac{2-3\alpha}{3}}$. Очевидно, что в точке A_1 корни характеристического уравнения (5) комплексные и имеют отрицательную действительную часть. Следовательно, точка A_1 — устойчивый фокус. В точке A_2 : $\lambda_1 \approx 0,96$; $\lambda_2 \approx 2,57$. Так как оба корня положительные, то точка A_2 есть неустойчивый узел. В точке A_3 : $\lambda_1 \approx 3,44$; $\lambda_2 \approx -1,38$. Корни имеют разные знаки, следовательно, точка A_3 — седло.

Угловые коэффициенты касательных к сепаратрисам седла O в бесконечно малой окрестности этого состояния равновесия находятся из уравнения $2k^2 - k - 0,74 = 0$. Тогда $k_1 = \frac{5 - \sqrt{173}}{10}$,

$k_2 = \frac{5 + \sqrt{173}}{10}$. Для ω -сепаратрис данного седла имеются следующие возможности. Одна из них может выходить только из бесконечно удаленного неустойчивого узла D_2 . Вторая сепаратриса может стремиться к точке O , выходя из неустойчивого узла A_2 или из седла A_3 , являясь его α -сепаратрисой, но в последнем случае она пересекала бы траектории системы, выходящие из узла A_2 , что невозможно. Анализируя поле направлений системы (1), приходим к выводу, что ω -сепаратрисы седла O стремятся к началу координат под углами $\arctg k_1$ и $\pi + \arctg k_1$, где $k_1 = \frac{5 - \sqrt{173}}{10}$, и выходят из неустойчивых узлов D_2 и A_2 . α -сепаратрисы выходят из начала координат под углами $\arctg k_2$ и $\pi + \arctg k_2$, где $k_2 = \frac{5 + \sqrt{173}}{10}$. При этом одна α -сепаратриса стремится к бесконечно удаленному устойчивому узлу D_1 , вторая — к устойчивому фокусу A_1 .

В этом случае поведение сепаратрис седла A_3 определяется однозначно. Одна из α -сепаратрис данного седла стремится к устойчивому фокусу A_1 , вторая — к устойчивому узлу D_1 , ω -сепаратрисы стремятся к A_3 , выходя из неустойчивых узлов D_2 и A_2 .

Качественная картина поведения траекторий системы (1) в круге Пуанкаре топологически эквивалентна картине, изображенной на рис. 1.

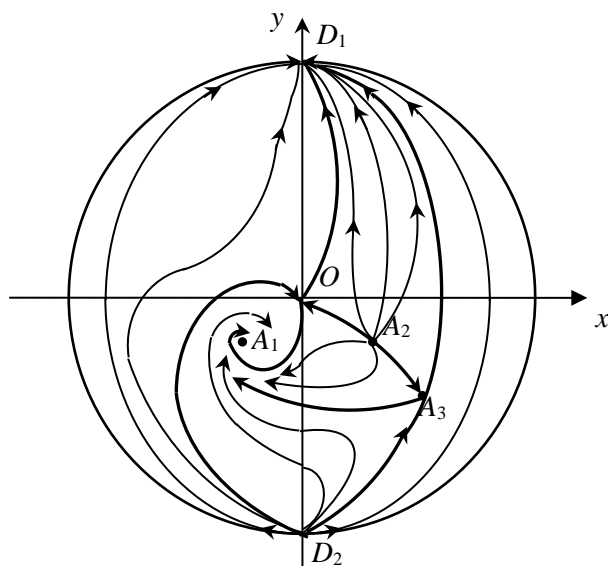


Рис. 1. Поведение траекторий системы (1) в круге Пуанкаре при $\alpha = \frac{37}{50}$

Пусть $\alpha = \frac{3}{4}$. В этом случае на бесконечности система (1) имеет устойчивый узел D_1 на положительном конце оси OY и неустойчивый узел D_2 на отрицательном конце этой оси.

В конечной части плоскости у системы три состояния равновесия, характер которых определяется из уравнения (5). Так же как и в предыдущем случае, точка $O(0, 0)$ является седлом, точка $A_1\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}\right)$ — устойчивым фокусом. Точка $A_2\left(3, -\frac{3}{2}\right)$ — сложным состоянием равновесия, так как для этой точки один из корней уравнения (5) равен нулю: $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 0$.

Определим характер сложного состояния равновесия A_2 методом, изложенным в [1]. Для этого с помощью преобразований $\omega = 2x + 8y + 6, \nu = 5x + 8y - 3$ приведем систему (1) к каноническому виду

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{7}{72}\omega^2 + \frac{43}{18}\omega\nu + \frac{1}{18}\nu^2 = \bar{P}_2(\omega, \nu), \\ \frac{d\nu}{dt} = 3\nu + \frac{1}{8}\omega^2 + \frac{1}{24}\omega\nu + \frac{1}{3}\nu^2 = 3\nu + \bar{Q}_2(\omega, \nu). \end{cases} \quad (6)$$

Данное преобразование переводит точку A_2 в точку $\bar{O}(0, 0)$ — сложное состояние равновесия системы (6), при этом точка A_2 того же типа, что и точка \bar{O} .

Так как при $\omega = 0, \nu = 0$ функция $3\nu + \bar{Q}_2(\omega, \nu) \equiv 0$, а $\frac{\partial}{\partial \eta}(3\nu + \bar{Q}_2(\omega, \nu)) = 3 \neq 0$, то существует функция $\nu = \nu(\omega)$, не равная тождественно нулю, которая является решением уравнения

$$3\nu + \bar{Q}_2(\omega, \nu) = 0. \quad (7)$$

Пусть функция $v(\omega) = \alpha_0 + \alpha_1\omega + \alpha_2\omega^2 + \alpha_3\omega^3 + \dots$. Так как $v(0) = 0$, $v'(0) = 0$, то для данного ряда $\alpha_0 = \alpha_1 = 0$. Подставим $v(\omega)$ в уравнение (7), получим

$$v(\omega) = -\frac{1}{24}\omega^2 + \frac{1}{1728}\omega^3 + \dots \quad (8)$$

Рассмотрим функцию $\psi(\omega) = \bar{P}_2(\omega, v(\omega)) = \frac{7}{72}\omega^2 - \frac{43}{432}\omega^3 + \dots$. По теореме 2 [1, гл. 4, с. 87]

состояние равновесия \bar{O} системы (6) является седло-узлом. Окрестность такого состояния равновесия делится на три сектора. Один из секторов имеет бесконечное число траекторий, выходящих из точки \bar{O} (или входящих в точку \bar{O}), и называется узловым или параболическим. Траектории двух других секторов гиперболического вида. Эти сектора называются седловыми или гиперболическими. Из данной теоремы также следует, что параболический сектор является неустойчивым. Поведение траекторий системы (1) в окрестности точки A_2 будет аналогично поведению траекторий системы (6) в окрестности точки \bar{O} . Эта точка получается в случае слияния неустойчивого узла A_2 и седла A_3 при $\alpha \rightarrow \frac{3}{4}$ слева.

Одна из α -сепаратрис точки A_2 , отделяющих узловый сектор, входит в устойчивый узел D_1 , лежащий на положительном конце оси OY . Для второй α -сепаратрисы имеется две возможности: она или стремится к устойчивому фокусу A_1 , или к седлу O и является ω -сепаратрисой этого состояния равновесия. Рассматривая поле направлений системы в окрестности точки A_2 , приходим к выводу, что имеет место первый случай. ω -сепаратриса точки A_2 может выходить только из неустойчивого узла D_2 .

Поведение сепаратрис седла O определяется однозначно: ω -сепаратрисы седла O стремятся к началу координат под углами $\arctg k_1$ и $\pi + \arctg k_1$, где $k_1 = \frac{1-\sqrt{7}}{4}$ и выходят из неустойчивых узлов

D_2 и A_2 ; α -сепаратрисы выходят из начала координат под углами $\arctg k_2$ и $\pi + \arctg k_2$, где $k_2 = \frac{1+\sqrt{7}}{4}$ и одна из них стремится к устойчивому фокусу A_1 , вторая — к устойчивому узлу D_1 .

Качественная картина поведения траекторий системы (1) в круге Пуанкаре топологически эквивалентна картине, изображенной на рис. 2.

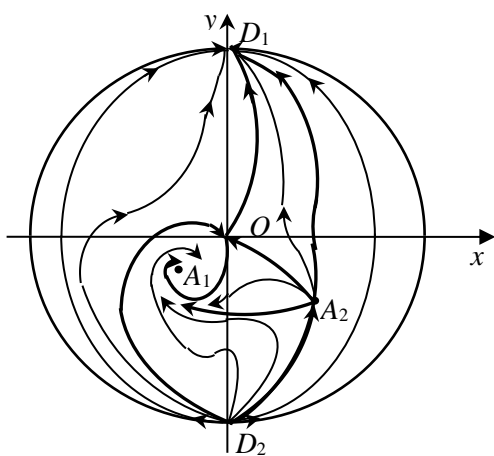


Рис. 2. Поведение траекторий системы (1) в круге Пуанкаре при $\alpha = \frac{3}{4}$

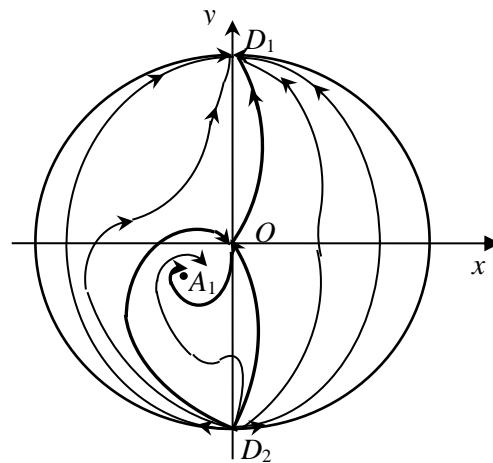


Рис. 3. Поведение траекторий системы (1) в круге Пуанкаре при $\alpha > \frac{3}{4}$

Пусть $\alpha > \frac{3}{4}$. Тогда система (1) в конечной части плоскости имеет два состояния равновесия: $O(0, 0)$ и $A_1\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}\right)$.

В точке O корни уравнения (5): $\lambda_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1+8\alpha}}{2}$. Так как $\alpha > \frac{3}{4}$, то $\lambda_1 > 0$, $\lambda_2 < 0$, следовательно, точка O — седло. В точке A_1 : $\lambda_{1,2} = -2 \pm \sqrt{\frac{2-3\alpha}{3}}$. Очевидно, что в точке A_1 корни характеристического уравнения (5) комплексные, следовательно, точка A_1 — устойчивый фокус.

В бесконечной части плоскости система (1) имеет две точки покоя на диаметрально противоположных концах оси OY : устойчивый узел D_1 и неустойчивый узел D_2 .

Угловые коэффициенты касательных к сепаратрисам седла O находим из уравнения $2k^2 - k - \alpha = 0$. Получаем: $k_1 = \frac{1 + \sqrt{1+8\alpha}}{4}$, $k_2 = \frac{1 - \sqrt{1+8\alpha}}{4}$. ω -сепаратрисы седла O могут выходить только из неустойчивого бесконечно удаленного узла D_2 , α -сепаратрисы седла стремятся к устойчивому фокусу A_1 и устойчивому бесконечно удаленному узлу D_1 . Рассматривая поле направлений системы на координатных осях и на прямых $y = -\frac{1}{3}$, $x = -\frac{1}{2}$, заключаем, что ω -сепаратрисы в окрестности точки O лежат во второй и четвертой координатных четвертях, а α -сепаратрисы — в первой и третьей координатных четвертях. Поведение интегральных кривых системы (1) в круге Пуанкаре определяется однозначно. Качественная картина поведения траекторий системы в круге Пуанкаре топологически эквивалентна картине, изображенной на рис. 3.

Заключение. В работе рассмотрена автономная система второго порядка, с квадратичными частями, зависящими от действительного параметра α . Найдены состояния равновесия данной системы в конечной части плоскости и на бесконечности, определен их тип для значений параметра $\alpha > \frac{13}{18}$. Для указанных значений параметра проведено полное качественное исследование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баутин, Н.Н. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости / Н.Н. Баутин, Е.А. Леонтович. — Москва: Наука, 1990. — 486 с.
2. Перхальский, А.В. Исследование решений динамических систем второго порядка при наличии частного алгебраического интеграла / А.В. Перхальский. — Текст: электронный // Репозиторий ВГУ имени П.М. Машерова. — URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/47236> (дата обращения: 10.06.2025). — Электрон. версия ст. из: Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, Витебск, 25 апр. 2025 г.: в 2 т. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: Е.Я. Аршанский (гл. ред.) [и др.]. — Витебск, 2025. — Т. 1. — С. 52–53.

REFERENCES

1. Bautin N.N., Leontovich E.A. *Metody i priemy kachestvennogo issledovaniya dinamicheskikh sistem na ploskosti* [Methods and Techniques of Quality Research into Dynamic Systems on the Plane], Moscow: Nauka, 1990, 486 p.
2. Perkhalsky A.V. *Issledovaniye resheni dinamicheskikh sistem vtorogo poriadka pri nalichii chastnogo algebraicheskogo integrala* [Research into Second Order Dynamic Systems Solutions with the Presence of a Private Algebraic Integral], VSU Repository. — URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/47236> (Accessed: 10.06.2025).

Поступила в редакцию 13.06.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: ivanovaZhV@gmail.com — Иванова Ж.В.

СМЕШАННАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ МОДЕЛЬНОГО ТЕЛЕГРАФНОГО УРАВНЕНИЯ С ДВУМЯ СКОРОСТЯМИ $a_1(x,t)$ И $a_2(x,t)$ ПРИ НЕХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ КОСОЙ ПРОИЗВОДНОЙ НА КОНЦЕ ПОЛУОГРАНИЧЕННОЙ СТРУНЫ. I

Ф.Е. Ломовцев

Белорусский государственный университет

Исследуется корректность по Адамару и находятся формулы классических (дважды непрерывно дифференцируемых) решений смешанной задачи впервые для двухскоростного неоднородного модельного телеграфного уравнения при нехарактеристической нестационарной косою производной на конце полуограниченной струны.

Цель статьи — разработка метода неявных характеристик для вывода полного, окончательного и неулучшаемого критерия корректности по Адамару и вычисления явных формул классических решений нехарактеристической смешанной задачи в случае неоднородного модельного телеграфного уравнения с двумя переменными скоростями волн.

Материал и методы. Материалом служит линейная смешанная задача для двухскоростного неоднородного модельного телеграфного уравнения колебаний полуограниченной струны при зависящих от времени коэффициентах нехарактеристических первых частных производных в граничном режиме. Разработан метод неявных характеристик.

Результаты и их обсуждение. В двух частях настоящего исследования доказана глобальная теорема корректности смешанной задачи для двухскоростного модельного телеграфного уравнения с переменными коэффициентами при начальных условиях и нехарактеристической косою производной граничного режима в первой четверти плоскости. Глобальной теоремой корректности называются теоремы, содержащие необходимые и достаточные условия на данные смешанной задачи для однозначной и устойчивой всюду ее разрешимости во множестве дважды непрерывно дифференцируемых функций. В первой части статьи вычислены ее явные решения, доказана их дважды непрерывная дифференцируемость вне критической характеристики и непрерывная дифференцируемость на критической характеристике.

Во второй части исследования будет доказана непрерывность их вторых производных на критической характеристике.

Заключение. Таким образом, автором установлены критерий корректности и всюду, кроме критической характеристики, дважды непрерывная дифференцируемость решений смешанной задачи при нехарактеристической нестационарной косою производной на конце полуограниченной струны.

Ключевые слова: двухскоростное модельное телеграфное уравнение, переменные коэффициенты, метод неявных характеристик, нехарактеристическая косою производная, критерий корректности.

MIXED PROBLEM FOR A MODEL TELEGRAPH EQUATION WITH TWO VELOCITIES $a_1(x,t)$ AND $a_2(x,t)$ WITH A NONCHARACTERISTIC OBLIQUE DERIVATIVE AT THE END OF A SEMIBOUNDED STRING. I

F.E. Lomovtsev

Belarusian State University

For the first time, Hadamard correctness is investigated and formulas for classical (twice continuously differentiable) solutions of a mixed problem for a two-velocity inhomogeneous model telegraph equation with a noncharacteristic non-stationary oblique derivative at the end of a semi-bounded string are sought.

The aim of the work is to develop an implicit characteristics method for deriving a complete, final and unimprovable criterion for Hadamard correctness and calculating explicit formulas for classical solutions of a noncharacteristic mixed problem in the case of an inhomogeneous model telegraph equation with two variable wave velocities.

Material and methods. The material is a linear mixed problem for a two-velocity inhomogeneous model telegraph equation of a semi-bounded string oscillations with time-dependent coefficients of noncharacteristic first partial derivatives in the boundary regime. An implicit characteristics method is developed.

Findings and their discussion. In the two parts of the paper, a global correctness theorem is proved for a mixed problem for a two-speed model telegraph equation with variable coefficients at initial conditions and a non-characteristic oblique derivative of the boundary regime in the first quadrant of the plane. By a global correctness theorem, we mean theorems containing necessary and sufficient conditions on the data of a mixed problem for its denotable and everywhere stable solvability in the set of twice continuously differentiable functions. In the first part of the paper, its explicit solutions are calculated, their twice continuous differentiability outside the critical characteristic and continuous differentiability on the critical characteristic are proved. In the second part of the paper, the continuity of their second derivatives on the critical characteristic will be proved.

Conclusion. In the first part of the article, a correctness criterion and everywhere, except for the critical characteristic, twice continuous differentiability of solutions to the mixed problem with a noncharacteristic nonstationary oblique derivative at the end of a semibounded string are established.

Key words: two-velocity model telegraph equation, variable coefficients, implicit characteristics method, noncharacteristic oblique derivative, correctness criterion.

В первой части настоящей статьи для завершения доказательства глобальной теоремы корректности нехарактеристической смешанной задачи для неоднородного модельного телеграфного уравнения со специальными переменными коэффициентами в первой четверти плоскости остается обосновать только непрерывность вторых частных производных ее решений на критической характеристике телеграфного уравнения. Новым методом неявных характеристик выводятся формулы ее единственных и устойчивых классических (дважды непрерывно дифференцируемых) решений и установлен критерий корректности по Адамару для однозначной и устойчивой везде разрешимости. Нехарактеристичность косої производной граничного режима на конце полуограниченной струны означает, что в каждый момент времени колебаний направление косої производной граничного условия не совпадает с направлением критической характеристики, т.е. проходящей через начало координат и строго возрастающей характеристики модельного телеграфного уравнения. Критерий корректности состоит из требований гладкости на правую часть уравнения, начальные данные и граничное данное и двух условий согласования граничного режима с начальными условиями и правой частью уравнения. Необходимость интегральных требований гладкости на непрерывную правую часть двухскоростного модельного телеграфного уравнения обоснована методом неявных характеристик и методом корректировки пробных решений в классические решения с помощью корректирующей задачи Гурса в [1]. Метод неявных характеристик для модельного двухскоростного телеграфного уравнения основан на двенадцати тождествах обращения двух неявных функций характеристик модельного телеграфного уравнения и их четырех обратных функций. Впервые метод неявных характеристик был предложен в [2] для односкоростного модельного телеграфного уравнения. В [3] этим методом был вычислен общий интеграл классических решений неоднородного односкоростного модельного телеграфного уравнения в первой четверти плоскости. Единственность классических решений обеспечена способом их поиска методом неявных характеристик из всех дважды непрерывно дифференцируемых решений уравнения. Устойчивость классических решений вытекает из формул этих решений.

Всюду разрешимость первой смешанной задачи для односкоростного общего телеграфного уравнения в первой четверти плоскости была установлена обобщением известного метода продолжения по параметру Шаудера и теорем повышения гладкости сильных решений из глобальной теоремы корректности для односкоростного модельного телеграфного уравнения в первой четверти плоскости. Методом неявных характеристик также были вычислены явные формулы классических решений первой смешанной задачи для односкоростного модельного телеграфного уравнения в первой четверти плоскости и потом методом вспомогательных смешанных задач для полуограниченной струны из [4] были получены явные формулы единственных и устойчивых классических решений и критерий корректности по Адамару первой смешанной задачи для этого уравнения в полуполосе плоскости в [5]. Сначала методом компенсации граничного режима правой частью волнового уравнения выведены обобщенные формулы Римана единственных и устойчивых классических решений первой смешанной задачи для односкоростного общего телеграфного уравнения в первой четверти плоскости [6]. Необходимость интегральных требований гладкости на непрерывную правую часть односкоростного общего телеграфного уравнения также доказывается методом неявных характеристик и методом корректировки пробных решений в классические решения с помощью корректирующей задачи Гурса.

В случае односкоростного неоднородного модельного телеграфного уравнения его пробное решение с модулем пространственной переменной в правой части уравнения под двойным интегралом является классическим и поэтому может не корректироваться. Затем *методом вспомогательных смешанных задач для полуограниченной струны* получены обобщенные формулы Римана единственных и устойчивых классических решений и критерий корректности по Адамару первой смешанной задачи для односкоростного общего телеграфного уравнения в полуполосе плоскости в [7]. В [8; 9] и заключительном отчете [10] аналогично решена и изучена корректность второй смешанной задачи для односкоростных модельного и общего телеграфных уравнений в четверти и полуполосе плоскости.

Результаты настоящей работы будут использованы для вывода явных формул и формул Римана классических решений и доказательства теорем корректности аналогичной нехарактеристической смешанной задачи соответственно для двухскоростных модельного и общего телеграфных уравнений в полуполосе плоскости *методом вспомогательных смешанных задач для полуограниченной струны*. В нашей теореме 1 формула решения (15) задачи Коши для модельного телеграфного уравнения не является формулой Даламбера. В отечественной и зарубежной литературе нет других работ с явными классическими решениями и критериями корректности первой, второй и нашей нехарактеристической смешанной задачи для двухскоростного общего телеграфного уравнения с переменными коэффициентами. Невозможно построить теорию корректной разрешимости с необходимыми и достаточными условиями гладкости и согласования входных данных всех смешанных задач для волновых уравнений и, в частности, нашей смешанной задачи их сведением к интегральным уравнениям аналогично задачам Дирихле и Неймана для уравнения Лапласа.

Материал и методы. В четверти плоскости $G_\infty = [0, +\infty[\times [0, +\infty[$ решается смешанная задача

$$\mathcal{L}(t)u \equiv u_{tt}(x, t) + (a_1(x, t) - a_2(x, t))u_{xt}(x, t) - a_1(x, t)a_2(x, t)u_{xx}(x, t) - a_2^{-1}(x, t)(a_2)_t(x, t)u_t(x, t) - a_1(x, t)(a_2)_x(x, t)u_x(x, t) = f(x, t), \quad (x, t) \in G_\infty, \quad (1)$$

$$l_0 u \equiv u(x, 0) = \varphi(x), \quad l_1 u \equiv u_t(x, 0) = \psi(x), \quad x > 0, \quad (2)$$

$$\Gamma(t)u \equiv [\alpha(t)u_t(x, t) + \beta(t)u_x(x, t) + \gamma(t)u(x, t)]|_{x=0} = \mu(t), \quad t > 0, \quad (3)$$

где исходные данные смешанной задачи f, φ, ψ, μ — заданные вещественные функции своих переменных x и t , коэффициенты уравнения $a_{3-i}(x, t) \geq a_{3-i}^{(0)} > 0, (x, t) \in G_\infty = [0, +\infty[\times [0, +\infty[, a_{3-i} \in C^2(G_\infty), i = 1, 2$, — заданные вещественные функции переменных x и t , коэффициенты граничного условия α, β, γ — заданные вещественные функции переменной t . Независимые переменные x, t и количество этих переменных в нижних индексах функций обозначают соответствующие частные производные и порядки этих частных производных.

Двухскоростное телеграфное уравнение $u_{tt}(x, t) + (a_1 - a_2)u_{xt}(x, t) - a_1 a_2 u_{xx}(x, t) = 0$ с постоянными коэффициентами $a_1 > 0, a_2 > 0$ моделирует волновые процессы в движущейся среде, которая оказывает сопротивление распространению волн. С помощью физико-геометрической интерпретации из учебника [11, глава II, параграф 2, раздел 2, с. 57–58] показывается, что результатом служит суперпозиция двух встречных волн, распространяющихся со скоростями a_1 и a_2 .

Пусть $C^k(\Omega)$ — множество k раз непрерывно дифференцируемых функций на подмножестве $\Omega \subset R^2, R =]-\infty, +\infty[,$ и $C^0(\Omega) = C(\Omega)$. Уравнение (1) имеет характеристические уравнения [1]

$$dx = (-1)^i a_{3-i}(x, t) dt, \quad i = 1, 2, t \geq 0, \quad (4)$$

и общие интегралы $g_i(x, t) = C_i, C_i \in R, i = 1, 2$.

Если коэффициенты a_{3-i} строго положительны, т.е. $a_{3-i}(x, t) \geq a_{3-i}^{(0)} > 0, (x, t) \in G_\infty$, то переменная t на характеристиках $g_1(x, t) = C_1, C_1 \in R$, строго убывает, а на характеристиках $g_2(x, t) = C_2, C_2 \in R$, строго возрастает вместе с ростом x . Поэтому неявные функции $y_i = g_i(x, t) = C_i, x \geq 0, t \geq 0$, обладают строго монотонными неявными обратными функциями $x = h_i\{y_i, t\}, t \geq 0, t = h^{(i)}[x, y_i], x \geq 0, i = 1, 2$. По определению обратных отображений на G_∞ верны тождества обращения [1]:

$$g_i(h_i\{y_i, t\}, t) = y_i, \quad t \geq 0, \quad h_i\{g_i(x, t), t\} = x, \quad x \in R, \quad i = 1, 2, \quad (5)$$

$$g_i(x, h^{(i)}[x, y_i]) = y_i, \quad x \in R, \quad h^{(i)}[x, g_i(x, t)] = t, \quad t \geq 0, \quad i = 1, 2, \quad (6)$$

$$h_i\{y_i, h^{(i)}[x, y_i]\} = x, \quad x \in R, \quad h^{(i)}[h_i\{y_i, t\}, y_i] = t, \quad t \geq 0, \quad i = 1, 2. \quad (7)$$

В правых частях тождеств (5)–(7) вместе с взаимнообратными функциями исключаются переменные, повторяющиеся дважды в левых частях, если даже в левых частях этих тождеств повторяется дважды лишь одно из возможных значений этих переменных. Если коэффициенты $a_{3-i}(x, t) \geq a_{3-i}^{(0)} > 0$, $(x, t) \in G_\infty$, $a_{3-i} \in C^2(G_\infty)$, то функции $g_i, h_i, h^{(i)}$ дважды непрерывно дифференцируемы по x, t, y_i , $i = 1, 2$, на \dot{G}_∞ [1].

Определение 1. Классическим решением смешанной задачи (1)–(3) называется функция $u \in C^2(G_\infty)$, удовлетворяющая уравнению (1) в обычном смысле на \dot{G}_∞ , а начальным условиям (2) и граничному режиму (3) в смысле значений пределов соответствующих дифференциальных выражений от функции $u(\dot{x}, \dot{t})$ во внутренних точках $(\dot{x}, \dot{t}) \in \dot{G}_\infty$, стремящихся к граничным точкам (x, t) из (2) и (3) при $\dot{x} \rightarrow x, \dot{t} \rightarrow t$.

Благодаря модулю переменной $|x|$ правой части f и коэффициентов a_1, a_2 двухскоростного модельного телеграфного уравнения (1) под двойным интегралом в его пробном обобщенном решении из [1; формула (8)] в формулах (4)–(7) эти и другие функции можно продолжить четно по x с положительных $x > 0$ на отрицательные $x < 0$ согласно нашему определению 1. По определению 1 классические решения удовлетворяют уравнению во внутренних точках, а начальным и граничным условиям в смысле соответствующих пределов внутренних точек $(\dot{x}, \dot{t}) \in \dot{G}_\infty$.

Найти классические решения и критерий (необходимые и достаточные условия) корректности по Адамару (существования, единственности решения и его устойчивости по исходным данным f, φ, ψ, μ) смешанной задачи (1)–(3) в G_∞ с нехарактеристической косою производной.

Определение 2. Косая производная граничного условия (3) для $t \geq 0$ и смешанная задача (1)–(3) в G_∞ соответственно называются нехарактеристическими, если $a_1(0, t)\alpha(t) \neq \beta(t), t \geq 0$, в граничном режиме (3). Характеристика $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$ называется критической уравнения (1) в первой четверти плоскости \dot{G}_∞ .

Из определения 1 классических решений смешанной задачи (1)–(3) в G_∞ и ее постановки непосредственно вытекают очевидные необходимые (обязательные) требования гладкости

$$f \in C(G_\infty), \quad \varphi \in C^2[0, +\infty[, \quad \psi \in C^1[0, +\infty[, \quad \mu \in C^1[0, +\infty[. \quad (8)$$

Ниже будут установлены дополнительные необходимые и достаточные требования гладкости на f . Положив $t = 0$ в граничном режиме (3), в силу начальных условий (2) при $x = 0$ находим необходимое первое условие согласования:

$$\alpha(0)\psi(0) + \beta(0)\varphi'(0) + \gamma(0)\varphi(0) = \mu(0). \quad (9)$$

В первой производной по t от граничного режима (3) полагаем $t = 0$ и в силу начальных условий (2) при $x = 0$ находим необходимое второе условие согласования

$$\begin{aligned} & \alpha'(0)\psi(0) + \beta'(0)\varphi'(0) + \gamma'(0)\varphi(0) + \alpha(0)u_{tt}|_{x=0}|_{t=0} + \beta(0)\psi'(0) + \gamma(0)\psi(0) = \\ & = \alpha'(0)\psi(0) + \beta'(0)\varphi'(0) + \gamma'(0)\varphi(0) + \beta(0)\psi'(0) + \gamma(0)\psi(0) + \alpha(0)[f(0, 0) + (a_2(0, 0) - a_1(0, 0))\psi'(0) + \\ & + a_1(0, 0)a_2(0, 0)\varphi''(0) + ((a_2)_t(0, 0)/a_2(0, 0))\psi(0) + a_1(0, 0)(a_2)_x(0, 0)\varphi'(0)] = \mu'(0), \end{aligned} \quad (10)$$

так как из уравнения (1) мы имеем

$$\begin{aligned} u_{tt}|_{x=0}|_{t=0} = u_{tt}|_{t=0}|_{x=0} = & f(0, 0) + (a_2(0, 0) - a_1(0, 0))\psi'(0) + a_1(0, 0)a_2(0, 0)\varphi''(0) + \\ & + ((a_2)_t(0, 0)/a_2(0, 0))\psi(0) + a_1(0, 0)(a_2)_x(0, 0)\varphi'(0). \end{aligned}$$

Мы обозначаем количеством штрихов над функциями одной переменной соответствующие порядки их обыкновенных производных по этим переменным.

Критическая характеристика $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$ делит четверть плоскости G_∞ на два множества

$$G_- = \{(x, t) \in G_\infty : g_2(x, t) > g_2(0, 0)\}, \quad G_+ = \{(x, t) \in G_\infty : g_2(x, t) \leq g_2(0, 0)\}.$$

Ниже теорема 1 использует вычисленные методом корректировки в [1] классические решения

$$F_i(x, t) = \int_0^{g_2(x, t)} \int_{h_1\{g_1(x, t), \tau\}}^{h_1\{g_1(x, t), \tau\}} \left[\frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \exp \left\{ \int_{g_1(\delta, \tau)}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} \right] d\delta d\tau +$$

$$+ \int_{g_2(x, t)}^t \int_{h_2\{g_2(x, t), \tau\}}^{h_2\{g_2(x, t), \tau\}} \left[\frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \exp \left\{ \int_{g_1(\delta, \tau)}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} \right] d\delta d\tau, \quad i=1, 2, \quad (11)$$

где с подынтегральной функцией по длине ds дуги в показателе экспоненты

$$E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) = \frac{a_2^2(a_1/a_2)_{\tilde{\delta}} - a_2(a_1/a_2)_{\tilde{\tau}}}{[a_1(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) + a_2(\tilde{\delta}, \tilde{\tau})]^2 (g_1(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}))_{\tilde{\delta}}}$$

интегралы не берутся от функций $f(x, t), a_1(x, t), a_2(x, t)$ для $x < 0$. Для непрерывной правой части $f \in C(G_\infty)$ неоднородное уравнение (1) имеет частное классическое решение (11) на G_∞ из [1], равное F_1 при $i=1$ в G_- и F_2 при $i=2$ в G_+ с необходимой и достаточной гладкостью (13), (14) следующей теоремы 1 в силу следствия 3 статьи [1] при $\tilde{\varepsilon}=0$ и $\tilde{\vartheta}=2$, т.е. при $\varepsilon=\vartheta=1$.

Результаты и их обсуждение. Новым методом неявных характеристик доказана следующая

Теорема 1. Пусть коэффициенты $a_{3-i}(x, t) \geq a_{3-i}^{(0)} > 0$, $(x, t) \in G_\infty = [0, +\infty[\times [0, +\infty[$, $a_{3-i} \in C^2(G_\infty)$, $i=1, 2$, $\alpha, \beta, \gamma \in C^1[0, +\infty[$, $a_1(0, t)\alpha(t) \neq \beta(t)$, $t \geq 0$, а также коэффициент $\alpha(0) = 0$ в (3) или

$$a_1(0, 0) = a_2(0, 0), \quad (a_1)_t(0, 0) = (a_2)_t(0, 0), \quad (a_1)_x(0, 0) = (a_2)_x(0, 0). \quad (12)$$

Тогда для существования единственных и устойчивых классических решений $u \in C^2(G_\infty)$ смешанной задачи (1)–(3) в \dot{G}_∞ необходимо и достаточно гладкости (8),

$$1 \quad \int_0^t f(|h_i\{g_i(x, t), \tau\}|, \tau) d\tau \in C^1(G_\infty), \quad i=1, 2, \quad (13)$$

$$\int_{(-1)^{i+1}g_2(x, t)}^{h_2\{g_2(x, t), g_2(x, t)\}} f(\delta, g_2(x, t)) d\delta - \int_{g_2(x, t)}^t f(h_2\{g_2(x, t), \tau\}, \tau) d\tau -$$

$$- \int_0^{g_2(x, t)} f\left(h_1\left\{g_1\left((-1)^{i+1}g_2(x, t), g_2(x, t)\right), \tau\right\}, \tau\right) d\tau \in C^1(G_\infty), \quad i=1, 2, \quad (14)$$

и условий согласования (9), (10). Классическими решениями $u \in C^2(G_\infty)$ задачи (1)–(3) являются

$$u_-(x, t) = \varphi(h_2\{g_2(x, t), 0\}) - F_1(h_2\{g_2(x, t), 0\}, 0) +$$

$$+ \int_{h_2\{g_2(x, t), 0\}}^{h_1\{g_1(x, t), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_t(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv + F_1(x, t), \quad (x, t) \in G_-, \quad (15)$$

$$u_+(x, t) = \varphi(0) - F_1(0, 0) + F_1(x, t) +$$

$$+ \int_0^{h_1\{g_1(x, t), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_t(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv +$$

$$+ \frac{1}{\eta(h^{(2)}[0, g_2(x, t)])} \int_0^{h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \eta(\rho) \left\{ \frac{a_1(0, \rho)\mu(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \times \right.$$

$$\times \left[\frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_t(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \right]_{v=h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \hat{F}_1'(\rho) \Bigg] -$$

$$- \frac{a_1(0, \rho)\gamma(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \left[\varphi(0) + \int_0^{h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_t(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv + \right.$$

$$+ F_2(0, \rho) - F_1(0, 0) - \hat{F}_1(\rho) \Bigg] - (F_2)_\rho(0, \rho) - \frac{[a_1(0, \rho) + a_2(0, \rho)]\beta(\rho)}{a_2(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \hat{F}_2(\rho) \Bigg\} d\rho, \quad (x, t) \in G_+, \quad (16)$$

где функции $\hat{F}_1(\rho)$, $\hat{F}_2(\rho)$ взяты из (37), интегралы $A_k(x, t)$, $k = \overline{1, 8}$, в сумме (32) являются слагаемыми первой частной производной $(F_2)_t$ по t от F_2 из (30) и интегрирующий множитель

$$\eta(t) = \exp \left\{ \int_0^t \frac{a_1(0, \tilde{\rho}) \gamma(\tilde{\rho})}{a_1(0, \tilde{\rho}) \alpha(\tilde{\rho}) - \beta(\tilde{\rho})} d\tilde{\rho} \right\} \text{ уравнения (34) из доказательства теоремы 1.}$$

Доказательство. Необходимость. Обязательность требований гладкости (8) и условий согласования (9), (10) на входные данные f , φ , ψ , μ установлена нами перед формулировкой теоремы 1. Там же говорится, что обязательность гладкости (13), (14) доказана методом корректировки пробных решений в классические решения в теоремах 1 и 3 статьи [1].

Достаточность. Наличие частного классического решения (11) на G_∞ неоднородного уравнения (1) сводит вычисление общего интеграла всех классических решений уравнения (1) к вычислению общего интеграла классических решений однородного уравнения (1) на G_∞ . Отсюда на G_∞ легко находим общий интеграл неоднородного уравнения (1)

$$u(x, t) = \tilde{f}_1(g_1(x, t)) + \tilde{f}_2(g_2(x, t)) + F(x, t), \quad (x, t) \in G_\infty, \quad (17)$$

где функция $F = F_1$ на G_- , $F = F_2$ на G_+ и \tilde{f}_1 , \tilde{f}_2 — любые дважды непрерывно дифференцируемые вещественные функции переменных z , y вида

$$\tilde{f}_1(z) = f_1(z) + f_2(g_2(0, 0)), \quad \tilde{f}_2(y) = f_2(y) - f_2(g_2(0, 0)). \quad (18)$$

В действительности множество классических решений на G_∞ в общем интеграле (17) не меняется, потому что после подстановки функций (18) в (17) постоянная $f_2(g_2(0, 0))$ сокращается. В статье [12, формула (16)] этот простой и эффективный прием, существенно упрощающий вычисление решений систем дифференциальных уравнений, назван *методом включения значений решений* в общие интегралы уравнений с частными производными.

Сначала мы найдем выражение формального решения u_- на G_- смешанной задачи (1)–(3) на G_- . Решением этой задачи (1)–(3) на G_- является решение задачи Коши (1), (2) на G_- . Подставляем общий интеграл (17) на G_- в начальные условия (2) и для $x \geq 0$ получаем систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} u(x, 0) &= \tilde{f}_1(g_1(x, 0)) + \tilde{f}_2(g_2(x, 0)) + F_1(x, 0) = \varphi(x), \\ u_t(x, 0) &= \left(\frac{\partial \tilde{f}_1(g_1(x, t))}{\partial g_1} (g_1)_t \right) \Big|_{t=0} + \left(\frac{\partial \tilde{f}_2(g_2(x, t))}{\partial g_2} (g_2)_t \right) \Big|_{t=0} + (F_1)_t(x, 0) = \psi(x). \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

В этой системе делаем невырожденную замену переменных

$$\xi = g_1(x, t), \quad \eta = g_2(x, t) \quad (20)$$

с якобианом $J(x, t) = \xi_x \eta_t - \xi_t \eta_x \neq 0$ в G_∞ , так как $a_{3-i}(x, t) \geq a_{3-i}^{(0)} > 0$, $i = 1, 2$, в G_∞ . Полные дифференциалы от характеристик $g_i(x, t) = C_i$, $C_i \in R$, $i = 1, 2$, равны нулю. Поэтому из равенств (4) имеем

$$dg_i = (g_i)_x dx + (g_i)_t dt = [(g_i)_t + (-1)^i a_{3-i}(x, t)(g_i)_x] dt \equiv 0, \quad (x, t) \in G, \quad i = 1, 2,$$

и, следовательно,

$$(g_i)_t = (-1)^{i+1} a_{3-i}(x, t)(g_i)_x, \quad (x, t) \in G, \quad i = 1, 2. \quad (21)$$

Первое уравнение системы (19) дифференцируем по x , с помощью равенств (21) производные по x преобразуем в производные по t , делаем замену переменных (20) и в силу коммутативности операции дифференцирования по x и взятия следа при $t = 0$ получаем эквивалентную систему

$$\left. \begin{aligned} \left[\left(\tilde{f}_1(\xi) \right)_x + \left(\tilde{f}_2(\eta) \right)_x \right] \Big|_{t=0} &= \varphi'(x) - (F_1)_x(x, 0), \\ \left[a_2 \left(\tilde{f}_1(\xi) \right)_x - a_1 \left(\tilde{f}_2(\eta) \right)_x \right] \Big|_{t=0} &= \psi(x) - (F_1)_t(x, 0). \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Первое уравнение этой системы, умноженное на $a_1(x, 0)$, суммируем со вторым уравнением, полученную сумму делим на $a_1(x, 0) + a_2(x, 0)$, результат интегрируем по x от 0 до x и находим

$$\tilde{f}_1(g_1(x, 0)) = \int_0^x \frac{a_1(v, 0) \varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_t(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv + \tilde{C}_1, \quad \tilde{C}_1 \in R. \quad (23)$$

Из интеграла (23) при $y_1 = g_1(x, 0)$ и, следовательно, при $x = h_1\{y_1, 0\}$ в силу существования обратной функции к функции g_1 и первого тождества обращения из (5) при $i = 1$, $t = 0$ для системы уравнений (22) мы имеем одно из ее решений

$$\tilde{f}_1(y_1) = \int_0^{h_1\{y_1, 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_i(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv + \tilde{C}_1. \quad (24)$$

Тогда из первого уравнения системы (19) для системы (22) легко находим второе решение

$$\tilde{f}_2(g_2(x, 0)) = \varphi(x) - F_1(x, 0) - \int_0^x \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_i(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv - \tilde{C}_1.$$

В нем делаем замену переменной $y_2 = g_2(x, 0)$ и в силу существования обратной функции $x = h_2\{y_2, 0\}$ к функции g_2 и первого тождества обращения из (5) при $i = 2$, $t = 0$ для системы уравнений (22) выводим второе ее решение

$$\begin{aligned} \tilde{f}_2(y_2) = & \varphi(h_2\{y_2, 0\}) - F_1(h_2\{y_2, 0\}, 0) - \\ & - \int_0^{h_2\{y_2, 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_i(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv. \end{aligned} \quad (25)$$

Подставляем формальные решения (24) и (25) системы (22) соответственно при $y_i = g_i(x, t)$, $i = 1, 2$, в общий интеграл (17) и получаем формальное решение (15) смешанной задачи (1)–(3) на G_- из теоремы 1.

Теперь мы будем искать формальное решение u_+ смешанной задачи (1)–(3) на G_+ как решение задачи Пикара для уравнения (1) с равенством функций (17) и (15) на критической характеристике $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$ и граничным режимом (3) при $x = 0$.

У неявной функции $y_2 = g_2(x, t)$ при $y_2 = g_2(0, 0)$ очевидно существует обратная функция $x = h_2\{g_2(0, 0), t\}$. Разность общего интеграла (17) из G_+ и уже известного решения (15) из замыкания $\overline{G_-}$ на пересечении $G_+ \cap \overline{G_-}$, т.е. на характеристике $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$, должна быть нулевой

$$\begin{aligned} [u - u_-]_{g_2(x, t) = g_2(0, 0)} = & \tilde{f}_1(g_1(x, t))|_{x=h_2\{g_2(0, 0), t\}} + \tilde{f}_2(g_2(0, 0)) - \varphi(h_2\{g_2(0, 0), 0\}) + \\ & + F_1(h_2\{g_2(0, 0), 0\}, 0) + [F_2(x, t) - F_1(x, t)]|_{x=h_2\{g_2(0, 0), t\}} - \\ & - \int_{h_2\{g_2(0, 0), 0\}}^{h_1\{g_1(h_2\{g_2(0, 0), t\}, t), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_i(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv = \\ = & \tilde{f}_1(g_1(h_2\{g_2(0, 0), t\}, t)) - \varphi(0) + F_1(0, 0) + [F_2(x, t) - F_1(x, t)]|_{x=h_2\{g_2(0, 0), t\}} - \\ & - \int_0^{h_1\{g_1(h_2\{g_2(0, 0), t\}, t), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_i(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv = 0, \end{aligned}$$

потому что $\tilde{f}_2(g_2(0, 0)) = 0$ ввиду (18) и $h_2\{g_2(0, 0), 0\} = 0$ в силу второго тождества обращения из (5) при $i = 2$, $x = 0$. Отсюда выражаем функцию

$$\begin{aligned} \tilde{f}_1(g_1(h_2\{g_2(0, 0), t\}, t)) = & \varphi(0) - F_1(0, 0) - [F_2(x, t) - F_1(x, t)]|_{x=h_2\{g_2(0, 0), t\}} + \\ & + \int_0^{h_1\{g_1(h_2\{g_2(0, 0), t\}, t), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_i(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv, \end{aligned} \quad (26)$$

где слагаемые

$$\begin{aligned} F_1(0, 0) = & \int_0^{g_2(0, 0)} \int_{h_1\{g_1(g_2(0, 0), g_2(0, 0), \tau)\}}^{h_2\{g_2(0, 0), \tau\}} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \exp\left\{\int_{g_1(\delta, \tau)}^{g_1(0, 0)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds\right\} d\delta d\tau, \\ & [F_2(x, t) - F_1(x, t)]|_{x=h_2\{g_2(0, 0), t\}} = \end{aligned} \quad (27)$$

$$= \int_0^{g_2(0,0)} \int_{h_1\{g_1(-g_2(0,0), g_2(0,0)), \tau\}}^{h_1\{g_1(g_2(0,0), g_2(0,0)), \tau\}} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \exp \left\{ \int_{g_1(\delta, \tau)}^{g_1(h_2\{g_2(0,0), t\}, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} d\delta d\tau. \quad (28)$$

В разности $F_2(x, t) - F_1(x, t)$ сокращаются вторые интегралы частных решений F_1 и F_2 из (11).

Для общего интеграла (17) из (26) при $z_1 = g_1(h_2\{g_2(0,0), t\}, t)$ находим первую функцию

$$\begin{aligned} \tilde{f}_1(z_1) = & \varphi(0) - F_1(0,0) - [F_2(x, t) - F_1(x, t)]|_{x=h_1\{z_1, t\}} + \\ & + \int_0^{h_1\{z_1, 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v, 0)(F_1)_v(v, 0) - (F_1)_t(v, 0)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv, \end{aligned} \quad (29)$$

потому что $h_1\{z_1, t\} = h_1\{g_1(h_2\{g_2(0,0), t\}, t), t\} = h_2\{g_2(0,0), t\}$ по второму тождеству из (5) при $i = 1$.

Вычисляем первые частные производные функции F_2 из (11) на G_+ соответственно по t и x :

$$\begin{aligned} (F_2)_t(x, t) = & \int_{-g_2(x, t)}^{h_1\{g_1(x, t), g_2(x, t)\}} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\tau=g_2(x, t)} \exp \left\{ \int_{g_1(\delta, g_2(x, t))}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} d\delta (g_2)_t(x, t) + \\ & + \int_0^{g_2(x, t)} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\delta=h_1\{g_1(x, t), \tau\}} \frac{\partial h_1\{g_1(x, t), \tau\}}{\partial t} d\tau - \\ & - \int_0^{g_2(x, t)} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\delta=h_1\{g_1(-g_2(x, t), g_2(x, t)), \tau\}} \exp \left\{ \int_{g_1(-g_2(x, t), g_2(x, t))}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} \times \\ & \times \frac{\partial h_1\{g_1(-g_2(x, t), g_2(x, t)), \tau\}}{\partial t} d\tau - \\ & - \int_0^{g_2(x, t)} \int_{h_1\{g_1(-g_2(x, t), g_2(x, t)), \tau\}}^{h_1\{g_1(x, t), \tau\}} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \exp \left\{ \int_{g_1(\delta, \tau)}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} d\delta d\tau E(x, t)(g_1)_t(x, t) - \\ & - \int_{h_2\{g_2(x, t), \tau\}}^{h_1\{g_1(x, t), \tau\}} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\tau=g_2(x, t)} \exp \left\{ \int_{g_1(\delta, g_2(x, t))}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} d\delta (g_2)_t(x, t) + \\ & + \int_{g_2(x, t)}^t \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\delta=h_1\{g_1(x, t), \tau\}} \frac{\partial h_1\{g_1(x, t), \tau\}}{\partial t} d\tau - \\ & - \int_{g_2(x, t)}^t \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\delta=h_2\{g_2(x, t), \tau\}} \exp \left\{ \int_{g_1(h_2\{g_2(x, t), \tau\}, \tau)}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} \frac{\partial h_2\{g_2(x, t), \tau\}}{\partial t} d\tau - \\ & - \int_{g_2(x, t)}^t \int_{h_2\{g_2(x, t), \tau\}}^{h_1\{g_1(x, t), \tau\}} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \exp \left\{ \int_{g_1(\delta, \tau)}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} d\delta d\tau E(x, t)(g_1)_t(x, t), \quad (x, t) \in G_+, \quad (30) \\ (F_2)_x(x, t) = & \frac{-1}{a_1(x, t)} \int_{-g_2(x, t)}^{h_1\{g_1(x, t), g_2(x, t)\}} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\tau=g_2(x, t)} \times \\ & \times \exp \left\{ \int_{g_1(\delta, g_2(x, t))}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} d\delta (g_2)_t(x, t) + \\ & + \frac{1}{a_2(x, t)} \int_0^{g_2(x, t)} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\delta=h_1\{g_1(x, t), \tau\}} \frac{\partial h_1\{g_1(x, t), \tau\}}{\partial t} d\tau + \\ & + \frac{1}{a_1(x, t)} \int_0^{g_2(x, t)} \frac{f(\delta, \tau)}{a_1(\delta, \tau) + a_2(\delta, \tau)} \Big|_{\delta=h_1\{g_1(-g_2(x, t), g_2(x, t)), \tau\}} \times \\ & \times \exp \left\{ \int_{g_1(-g_2(x, t), g_2(x, t))}^{g_1(x, t)} E(\tilde{\delta}, \tilde{\tau}) ds \right\} \frac{\partial h_1\{g_1(-g_2(x, t), g_2(x, t)), \tau\}}{\partial t} d\tau - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{a_2(x,t)} \int_0^{g_2(x,t)} \int_{h_1\{g_1(-g_2(x,t),g_2(x,t)),\tau\}}^{h_1\{g_1(x,t),\tau\}} \frac{f(\delta,\tau)}{a_1(\delta,\tau)+a_2(\delta,\tau)} \exp\left\{\int_{g_1(\delta,\tau)}^{g_1(x,t)} E(\tilde{\delta},\tilde{\tau})ds\right\} d\delta d\tau E(x,t)(g_1)_t(x,t) + \\
& + \frac{1}{a_2(x,t)} \int_{g_2(x,t)}^t \frac{f(\delta,\tau)}{a_1(\delta,\tau)+a_2(\delta,\tau)} \Big|_{\delta=h_1\{g_1(x,t),\tau\}} \frac{\partial h_1\{g_1(x,t),\tau\}}{\partial t} d\tau + \\
& + \frac{1}{a_1(x,t)} \int_{g_2(x,t)}^t \frac{f(\delta,\tau)}{a_1(\delta,\tau)+a_2(\delta,\tau)} \Big|_{\delta=h_2\{g_2(x,t),\tau\}} \exp\left\{\int_{g_1(h_2\{g_2(x,t),\tau\},\tau)}^{g_1(x,t)} E(\tilde{\delta},\tilde{\tau})ds\right\} \frac{\partial h_2\{g_2(x,t),\tau\}}{\partial t} d\tau - \\
& - \frac{1}{a_2(x,t)} \int_{g_2(x,t)}^t \int_{h_2\{g_2(x,t),\tau\}}^{h_1\{g_1(x,t),\tau\}} \frac{f(\delta,\tau)}{a_1(\delta,\tau)+a_2(\delta,\tau)} \exp\left\{\int_{g_1(\delta,\tau)}^{g_1(x,t)} E(\tilde{\delta},\tilde{\tau})ds\right\} d\delta d\tau E(x,t)(g_1)_t(x,t), (x,t) \in G_+, \quad (31)
\end{aligned}$$

так как $h_1\{g_1(-g_2(x,t),g_2(x,t)),g_2(x,t)\} = -g_2(x,t)$, $g_1(\delta,\tau) = g_1(h_1\{g_1(x,t),\tau\},\tau) = g_1(x,t)$ и $g_1(\delta,\tau) = g_1(h_1\{g_1(-g_2(x,t),g_2(x,t)),\tau\},\tau) = g_1(-g_2(x,t),g_2(x,t))$ по второму тождеству обращения из (5) при $i=1$ соответственно в нижних пределах интегрирования от функций $f(\delta,\tau)$ и $E(\tilde{\delta},\tilde{\tau})$.

Чтобы применить коммутруемость дифференцирования F_2 по t и взятия следа при $x=0$ на G_+ , мы выразим первую производную по x от решения F_2 из (11) через производную по t от F_2 и сумму слагаемых четного порядка следования в этой производной $(F_2)_t$ на G_+ .

Первую частную производную $(F_2)_t$ по t от F_2 на G_+ из (30) условно запишем в виде суммы

$$(F_2)_t(x,t) = A_1(x,t) + A_2(x,t) - A_3(x,t) - A_4(x,t) - A_5(x,t) + A_6(x,t) - A_7(x,t) - A_8(x,t), \quad (32)$$

где $A_k(x,t)$, $k=1,8$, — интегралы этой производной, перед которыми знаки соответствуют знакам интегралов в (30). Первая производная $(F_2)_x$ по x от F_2 на G_+ из (31) условно записывается в виде

$$\begin{aligned}
(F_2)_x(x,t) = & \frac{-1}{a_1(x,t)} A_1(x,t) + \frac{1}{a_2(x,t)} A_2(x,t) + \frac{1}{a_1(x,t)} A_3(x,t) - \frac{1}{a_2(x,t)} A_4(x,t) + \\
& + \frac{1}{a_1(x,t)} A_5(x,t) + \frac{1}{a_2(x,t)} A_6(x,t) + \frac{1}{a_1(x,t)} A_7(x,t) - \frac{1}{a_2(x,t)} A_8(x,t).
\end{aligned}$$

Тогда справедливо тождество

$$(F_2)_t(x,t) + a_1(x,t)(F_2)_x(x,t) = \left(1 + \frac{a_1(x,t)}{a_2(x,t)}\right) [A_2(x,t) - A_4(x,t) + A_6(x,t) - A_8(x,t)], (x,t) \in G_+,$$

в правой части которого сократились слагаемые нечетного порядка следования из $(F_2)_x$. Отсюда легко выводится представление производной $(F_2)_x$ по x через производную $(F_2)_t$ по t

$$(F_2)_x(x,t) = \frac{-1}{a_1(x,t)} (F_2)_t(x,t) + \frac{a_1(x,t) + a_2(x,t)}{a_1(x,t)a_2(x,t)} [A_2(x,t) - A_4(x,t) + A_6(x,t) - A_8(x,t)], (x,t) \in G_+. \quad (33)$$

Итак, подставляем общий интеграл (17) с функциями \tilde{f}_1 и \tilde{f}_2 из (18) в граничный режим (3), преобразуя производные $\partial \tilde{f}_i(g_i(x,t))/\partial x$ в производные $\partial \tilde{f}_i(g_i(x,t))/\partial t$, $i=1,2$, с помощью равенств $(g_i)_x \equiv (-1)^{i+1}(g_i)_t / a_{3-i}(x,t)$, $i=1,2$, из (21) и используя запись (33), получаем тождество

$$\begin{aligned}
\Gamma(t)u \equiv & \left(\alpha(t) - \frac{\beta(t)}{a_1(0,t)}\right) \frac{\partial \tilde{f}_2(g_2(0,t))}{\partial t} + \gamma(t) [\tilde{f}_2(g_2(0,t)) + F_2(0,t)] + \left(\alpha(t) + \frac{\beta(t)}{a_2(0,t)}\right) \frac{\partial \tilde{f}_1(g_1(0,t))}{\partial t} + \\
& + \frac{1}{a_1(x,t)} \int_{h_2\{g_2(x,t),\tau\}}^{h_1\{g_1(x,t),\tau\}} \frac{f(\delta,\tau)}{a_1(\delta,\tau)+a_2(\delta,\tau)} \Big|_{\tau=g_2(x,t)} \exp\left\{\int_{g_1(\delta,g_2(x,t))}^{g_1(x,t)} E(\tilde{\delta},\tilde{\tau})ds\right\} d\delta (g_2)_t(x,t) + \\
& + \gamma(t) \tilde{f}_1(g_1(0,t)) + \left(\alpha(t) - \frac{\beta(t)}{a_1(0,t)}\right) (F_2)_t(0,t) + \beta(t) \left(1 + \frac{a_1(x,t)}{a_2(x,t)}\right) [A_2 - A_4 + A_6 - A_8](0,t) = \mu(t), t \geq 0.
\end{aligned}$$

После деления этого тождества на коэффициент $[a_1(0,t)\alpha(t) - \beta(t)]/a_1(0,t)$ для функции $\tilde{f}_2(g_2(0,t))$ мы выводим обыкновенное дифференциальное уравнение

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{f}_2(g_2(0,t))}{\partial t} + \frac{a_1(0,t)\gamma(t)}{a_1(0,t)\alpha(t) - \beta(t)} \tilde{f}_2(g_2(0,t)) &= \frac{a_1(0,t)\mu(t)}{a_1(0,t)\alpha(t) - \beta(t)} - \\ - \frac{a_1(0,t)[a_1(0,t)\alpha(t) + \beta(t)]}{a_2(0,t)[a_1(0,t)\alpha(t) - \beta(t)]} \frac{\partial \tilde{f}_1(g_1(0,t))}{\partial t} - \frac{a_1(0,t)\gamma(t)}{a_1(0,t)\alpha(t) - \beta(t)} [\tilde{f}_1(g_1(0,t)) + F_2(0,t)] - (F_2)_t(0,t) - \\ - \frac{[a_1(0,t) + a_2(0,t)]\beta(t)}{a_2(0,t)[a_1(0,t)\alpha(t) - \beta(t)]} [A_2 - A_4 + A_6 - A_8](0,t), \end{aligned} \quad (34)$$

в правой части которого функция $\tilde{f}_1(g_1(0,t))$ известна в (29). Умножаем это дифференциальное уравнение на интегрирующий множитель $\eta(t) = \exp \left\{ \int_0^t \frac{a_1(0,\tilde{\rho})\gamma(\tilde{\rho})}{a_1(0,\tilde{\rho})\alpha(\tilde{\rho}) - \beta(\tilde{\rho})} d\tilde{\rho} \right\}$, интегрируем результат умножения по t от 0 до t и после деления на $\eta(t)$ для уравнения (34) имеем решение

$$\begin{aligned} \tilde{f}_2(g_2(0,t)) &= \frac{1}{\eta(t)} \int_0^t \eta(\rho) \left\{ \frac{a_1(0,\rho)\mu(\rho)}{a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \frac{\partial \tilde{f}_1(g_1(0,\rho))}{\partial \rho} - \right. \\ &\quad - \frac{a_1(0,\rho)\gamma(\rho)}{a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} [\tilde{f}_1(g_1(0,\rho)) + F_2(0,\rho)] - (F_2)_\rho(0,\rho) - \\ &\quad \left. - \frac{[a_1(0,\rho) + a_2(0,\rho)]\beta(\rho)}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} [A_2 - A_4 + A_6 - A_8](0,\rho) \right\} d\rho + \frac{\tilde{C}_2}{\eta(t)}, \quad \tilde{C}_2 \in R, \end{aligned} \quad (35)$$

где постоянная $\tilde{C}_2 = 0$ в силу второго равенства из (18) при $t=0$.

Здесь полагаем $z_2 = g_2(0,t)$ и, тем самым, $t = h^{(2)}[0, z_2] = g_2(0,t)$ и находим для общего интеграла (17) вторую функцию

$$\begin{aligned} \tilde{f}_2(z_2) &= \frac{1}{\eta(h^{(2)}[0, z_2])} \int_0^{h^{(2)}[0, z_2]} \eta(\rho) \left\{ \frac{a_1(0,\rho)\mu(\rho)}{a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \times \right. \\ &\quad \times \frac{\partial \tilde{f}_1(g_1(0,\rho))}{\partial \rho} - \frac{a_1(0,\rho)\gamma(\rho)}{a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} [\tilde{f}_1(g_1(0,\rho)) + F_2(0,\rho)] - (F_2)_\rho(0,\rho) - \\ &\quad \left. - \frac{[a_1(0,\rho) + a_2(0,\rho)]\beta(\rho)}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \tilde{F}_2(\rho) \right\} d\rho, \end{aligned} \quad (36)$$

в которой согласно формуле (29) функции

$$\begin{aligned} \tilde{f}_1(g_1(0,\rho)) &= \varphi(0) - F_1(0,0) - [F_2(x,\rho) - F_1(x,\rho)] \Big|_{x=h_1\{g_1(0,\rho),\rho\}=0} + \\ &\quad + \int_0^{h_1\{g_1(0,\rho),0\}} \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v,0)(F_1)_v(v,0) - (F_1)_t(v,0)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} dv, \\ \frac{\partial \tilde{f}_1(g_1(0,\rho))}{\partial \rho} &= \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v,0)(F_1)_v(v,0) - (F_1)_t(v,0)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \Big|_{v=h_1\{g_1(0,\rho),0\}} - \frac{\partial h_1(g_1(0,\rho),0)}{\partial \rho} - \\ &\quad - \hat{F}_1'(\rho), \quad \hat{F}_1(\rho) = F_2(0,\rho) - F_1(0,\rho), \quad \hat{F}_2(\rho) = [A_2 - A_4 + A_6 - A_8](0,\rho). \end{aligned} \quad (37)$$

Подставляем функции (29) при $z_1 = g_1(x,t)$ и (36) при $z_2 = g_2(x,t)$ в общий интеграл (17) и получаем формальное решение u_+ вида (16) на G_+ из теоремы 1. После этих подстановок функций (29) и (36) в (17) функция F_2 из (17) сокращается с F_2 из разности $F_1(x,t) - F_2(x,t)$ при $x = h_1\{z_1, t\}$ и $z_1 = g_1(x,t)$ в (29), так как $h_1\{g_1(x,t), t\} = x$ по второму тождеству обращения из (5) при $i=1$.

Убедимся в дважды непрерывной дифференцируемости функций u_- на G_- и u_+ на G_+ . Гладкости коэффициентов $a_{3-i} \in C^2(G_\infty)$, $i=1, 2$, $\alpha, \beta, \gamma \in C^1[0, +\infty[$, характеристических функций $g_i, h_i, h^{(i)} \in C^2$, $i=1, 2$, и данных φ, ψ, μ из (8), очевидно, достаточно для дважды непрерывной дифференцируемости всех слагаемых, которые их содержат в функциях (15) на G_- и (16) на G_+ . В силу теорем 1 и 3 работы [1] гладкости $f \in C(G_\infty)$ из (8) и гладкости (13), (14) также достаточно для дважды

непрерывной дифференцируемости остальных слагаемых функций (15) на G_- и (16) на G_+ . Дважды непрерывно дифференцируемые функции (15) и (16), очевидно, поточечно удовлетворяют неоднородному уравнению (1) соответственно в G_- и G_+ , так как они имеют структуру общего интеграла (17) его классических решений.

Для $f \in C(G_\infty)$ с гладкостью (13), (14) дважды непрерывная дифференцируемость решений F_1 и F_2 из (11) неоднородного уравнения (1) не только, соответственно, в G_- и G_+ , а также на критической характеристике $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$ вытекает из следствия 3 работы [1] методом корректировки и их дважды непрерывно дифференцируемой стыковки на характеристике $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$. Поэтому остается проверить дважды непрерывную дифференцируемость на характеристике $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$ решений u_- при $F_1 = 0$ и u_+ при $F_2 = 0$, т.е. решений u_- из (15) и u_+ из (16) однородного уравнения (1) при $f(x, t) = 0$ в G_∞ .

Вычисляем первую производную по t разности функций (15) в $\overline{G_-}$ и (16) в G_+ при $f = 0$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_-}{\partial t} - \frac{\partial u_+}{\partial t} = & \frac{d\varphi(h_2\{g_2(x, t), 0\})}{dh_2} \frac{\partial h_2\{g_2(x, t), 0\}}{\partial t} - \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \Big|_{v=h_2\{g_2(x, t), 0\}} \frac{\partial h_2\{g_2(x, t), 0\}}{\partial t} - \\ & - \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{1}{\eta(h^{(2)}[0, g_2(x, t)])} \int_0^{h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \eta(\rho) \left[\frac{a_1(0, \rho)\mu(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0, \rho)[a_2(0, \rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \times \right. \right. \\ & \times \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \Big|_{v=h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \\ & \left. \left. - \frac{a_1(0, \rho)\gamma(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \left(\varphi(0) + \int_0^{h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv \right) \right] d\rho \right\}, \quad x, t \geq 0. \end{aligned} \quad (38)$$

Дифференцируя один раз по t как сложную функцию, используем дифференциальные уравнения характеристик (21) и находим тождества

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial t} = & \frac{\partial h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial g_i} (g_i)_t = (-1)^{i+1} a_{3-i}(x, t) \frac{\partial h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial g_i} (g_i)_x = \\ = & (-1)^{i+1} a_{3-i}(x, t) \frac{\partial h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial x}, \quad x, t \geq 0, \quad i = 1, 2. \end{aligned} \quad (39)$$

В силу вторых формул обращения из (5) при $i = 1, 2, t = 0$ получаем значение производной

$$\frac{\partial h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial x} \Big|_{t=0} = 1, \quad x \geq 0, \quad i = 1, 2, \quad (40)$$

и, следовательно, из (39) имеем тождества

$$\frac{\partial h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial t} \Big|_{t=0} = (-1)^{i+1} a_{3-i}(x, 0), \quad x \geq 0, \quad i = 1, 2, \quad (41)$$

так как в правых частях тождеств (39) взятие следа при $t = 0$ перестановочно с дифференцированием по x . Ввиду второй формулы обращения из (6) при $i = 2, x = 0$ из $h^{(2)}[0, g_2(0, t)] = t$ выводим

$$\frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} \Big|_{x=0} = 1, \quad t \geq 0, \quad (42)$$

потому что здесь взятие следа при $x = 0$ перестановочно с дифференцированием по t .

В тождестве (38) полагаем $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$, т.е. $x = t = 0$, и на основе тождеств (41) при $i = 1, 2, x = 0$, значения (42) при $t = 0$ и первого условия согласования (9) приходим к равенствам

$$\left[\frac{\partial u_-}{\partial t} - \frac{\partial u_+}{\partial t} \right]_{g_2(x, t) = g_2(0, 0)} = -a_1(0, 0)\varphi'(0) + a_1(0, 0) \frac{a_1(0, 0)\varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0, 0) + a_2(0, 0)} - \left\{ \frac{a_1(0, 0)\mu(0)}{a_1(0, 0)\alpha(0) - \beta(0)} - \right.$$

$$\left. -\frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0)+\beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0)-\beta(0)} \frac{a_1(0,0)\varphi'(0)+\psi(0)}{a_1(0,0)+a_2(0,0)} - \frac{a_1(0,0)\gamma(0)}{a_1(0,0)\alpha(0)-\beta(0)} \varphi(0) \right\} \times \\ \times \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} \Big|_{g_2(x, t)=g_2(0, 0)} = \frac{a_1(0, 0)}{a_1(0, 0)\alpha(0)-\beta(0)} [\alpha(0)\psi(0) + \beta(0)\varphi'(0) + \gamma(0)\varphi(0) - \mu(0)] = 0, \quad (43)$$

так как $h_i\{g_i(0, 0), 0\} = 0$ ввиду вторых формул обращения из (5) для $i = 1, 2, x = t = 0$, $t = h^{(2)}[0, g_2(0, 0)] = 0$ в силу вторых формул обращения из (6) для $i = 2, x = t = 0$ и интегрирующий множитель $\eta(0) = 1$.

Находим первую производную по x разности функций (15) в $\overline{G_-}$ и (16) в G_+ при $f = 0$

$$\frac{\partial u_-}{\partial x} - \frac{\partial u_+}{\partial x} = \frac{d\varphi(h_2\{g_2(x, t), 0\})}{dh_2} \frac{\partial h_2\{g_2(x, t), 0\}}{\partial x} - \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \Big|_{v=h_2\{g_2(x, t), 0\}} \frac{\partial h_2\{g_2(x, t), 0\}}{\partial x} - \\ - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{1}{\eta(h^{(2)}[0, g_2(x, t)])} \int_0^{h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \eta(\rho) \left[\frac{a_1(0, \rho)\mu(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0, \rho)[a_2(0, \rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \times \right. \right. \\ \times \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \Big|_{v=h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \\ \left. \left. - \frac{a_1(0, \rho)\gamma(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \left(\varphi(0) + \int_0^{h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv \right) \right] d\rho \right\}, \quad x, t \geq 0. \quad (44)$$

Дифференцируем один раз по x и ввиду уравнений (21) при $i = 2$ приходим к равенствам

$$\frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x} = \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial g_2} (g_2)_x = \\ = - \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial g_2} \frac{(g_2)_t}{a_1(x, t)} = - \frac{1}{a_1(x, t)} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t}, \quad x, t \geq 0. \quad (45)$$

Согласно значению (42) из равенств (45) находим значения производной

$$\frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x} \Big|_{x=0} = - \frac{1}{a_1(0, t)}, \quad t \geq 0. \quad (46)$$

Из значения (40) при $i = 2, x = 0$, тождества (41) при $i = 1, x = 0$, значения (46) при $t = 0$ и первого условия согласования (9) из тождества (44) при $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$, т.е. $x = t = 0$, имеем равенства

$$\left[\frac{\partial u_-}{\partial x} - \frac{\partial u_+}{\partial x} \right]_{g_2(x, t)=g_2(0, 0)} = \varphi'(0) - \frac{a_1(0, 0)\varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0, 0) + a_2(0, 0)} - \left\{ \frac{a_1(0, 0)\mu(0)}{a_1(0, 0)\alpha(0) - \beta(0)} - \right. \\ \left. - \frac{a_1(0, 0)[a_2(0, 0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0, 0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0, 0)\varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0, 0) + a_2(0, 0)} - \frac{a_1(0, 0)\gamma(0)}{a_1(0, 0)\alpha(0) - \beta(0)} \varphi(0) \right\} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x} \Big|_{g_2(x, t)=g_2(0, 0)} = \\ = \frac{1}{a_1(0, 0)\alpha(0) - \beta(0)} [\mu(0) - \alpha(0)\psi(0) - \beta(0)\varphi'(0) - \gamma(0)\varphi(0)] = 0. \quad (47)$$

Во второй части настоящей статьи для завершения доказательства теоремы 1 остается только убедиться в непрерывности вторых частных производных от решений (15) и (16) на критической характеристике $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$. Доказательство теоремы 1 будет завершено в следующей статье.

Заключение. В данной работе установлен критерий корректности, найдены явные единственные устойчивые решения и доказана их дважды непрерывная дифференцируемость вне критической характеристики и непрерывная дифференцируемость на критической характеристике. Критерий корректности состоит из необходимых и достаточных требований гладкости и двух условий согласования начальных данных, граничного данного и правой части уравнения. Устойчивость классических

решений по начальным данным, граничному данному и правой части уравнения следует из выведенных формул. Разработан метод неявных характеристик вывода критериев корректности по Адамару с вычислением явных формул классических решений нехарактеристической смешанной задачи для двухскоростного модельного телеграфного уравнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломовцев, Ф.Е. Метод корректировки пробных в классические решения модельного волнового уравнения с переменными скоростями $a_1(x,t)$ и $a_2(x,t)$ в первой четверти плоскости / Ф.Е. Ломовцев // Вестник Фонда фундаментальных исследований. — 2023. — № 4. — С. 53–83.
2. Ломовцев, Ф.Е. Первая смешанная задача для общего телеграфного уравнения с переменными коэффициентами на полупрямой / Ф.Е. Ломовцев // Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика. — 2021. — № 1. — С. 18–38.
3. Ломовцев, Ф.Е. The Smoothness Criterion for the Classical Solution to Inhomogeneous Model Telegraph Equation at the Rate $a(x,t)$ on the Half-Line / F.E. Lomovtsev // Труды 10-го международного научного семинара AMADE–2021. — БГУ: ИВЦ Минфина, 2022. — С. 43–53.
4. Ломовцев, Ф.Е. Метод вспомогательных смешанных задач для полуограниченной струны / Ф.Е. Ломовцев // Шестые Богдановские чтения по обыкновенным дифференциальным уравнениям: материалы междунар. матем. конф., Минск, 7–10 дек. 2015 г.: в 2 ч. / Ин-т математики Нац. акад. наук Беларуси; ред. С.Г. Красовский. — Минск: ИМ НАН Беларуси, 2015. — Ч. 2. — С. 74–75.
5. Lomovtsev, F.E. Global Correctness Theorem of the First Mixed Problem for the Model Telegraph Equation at the Rate $a(x,t)$ in the Half-Strip of the Plane / F.E. Lomovtsev // Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2, Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. — 2021. — Т. 11, № 3. — С. 13–26.
6. Ломовцев, Ф.Е. Формулы Римана первой смешанной задачи для общего телеграфного уравнения с переменными коэффициентами в первой четверти плоскости. I / Ф.Е. Ломовцев // Вестник Магілёўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.А. Куляшова. Серыя В, Прыродазнаўчыя навукі (матэматыка, фізіка, біялогія). — 2023. — № 2(62). — С. 16–31.
7. Lomovtsev, F.E. Global Correctness Theorem to the First Mixed Problem for the General Telegraph Equation with Variable Coefficients on the Segment / F.E. Lomovtsev // Problems of physics, mathematics and technology. — 2022. — № 1(50). — P. 62–73. — DOI: https://doi.org/10.54341/20778708_2022_1_50_62.
8. Ломовцев, Ф.Е. Метод компенсации граничного режима правой частью телеграфного уравнения с переменными коэффициентами в решении второй смешанной задачи на полупрямой / Ф.Е. Ломовцев // Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2, Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. — 2023. — Т. 13, № 1. — С. 39–63.
9. Ломовцев, Ф.Е. Вторая смешанная задача для общего телеграфного уравнения с переменными коэффициентами в первой четверти плоскости / Ф.Е. Ломовцев // Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2, Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. — 2022. — Т. 12, № 3. — С. 50–70.
10. Ломовцев, Ф.Е. Смешанные задачи для новых множеств уравнений математической физики / Ф.Е. Ломовцев // Заключительный отчет о научно-исследовательской работе совместного научного проекта БРФФИ-НФЕНК № F22KI-001 от 05.11.2021 г. — 2023. — 108 с.
11. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. — Москва: Наука, 2004. — 798 с.
12. Ломовцев, Ф.Е. Нехарактеристическая смешанная задача для одномерного волнового уравнения в первой четверти плоскости при нестационарных граничных вторых производных / Ф.Е. Ломовцев, В.В. Лысенко // Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. — 2019. — № 3(104). — С. 5–17.

REFERENCES

1. Lomovtsev F.E. *Vestnik Fonda fundamentalnykh issledovani* [Bulletin of the Foundation for Fundamental Research], 2023, 4, pp. 53–83.
2. Lomovtsev F.E. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika. Informatika* [Journal of Belarusian State University. Mathematics. Computer Science], 2021, 1, pp. 18–38.
3. Lomovtsev F.E. *Trudy 10-go mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru AMADE–2021* [Proceedings of the 10th international scientific seminar AMADE–2021], BGU: IVTs Minfina, 2022, pp. 43–53.
4. Lomovtsev F.E. *Shestiye Bogdanovskiyе chteniya po obyknovennym differentsialnym uravneniyam: materialy mezhdunar. matemat. konf., Minsk, 7–10 dekabrya 2015 g.* [Sixth Bogdanov Readings on ordinary differential equations: Proceedings of the int. mathem. conf., Minsk, December 7–10, 2015], In-t of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk: IM NAN Belarusi, 2015, 2, pp. 74–75.
5. Lomovtsev F.E. *Vestnik Hrodzenskaha Dziarzhavna Universiteta imia Ianki Kupaly. Seriya 2, Matematyka. Fizika. Infarmatyka. Vylichalnaya tekhnika i kiravanne* [Journal of Yanka Kupala State University of Grodno. Mathematics. Physics. Information Technology and Computer Science], 2021, 11(3), pp. 13–26.
6. Lomovtsev F.E. *Vestnik Mahileuskaha dziarzhavna universiteta imia A.A. Kuliashova. Seiya B, Pryrodaznauchiya navuki (Matematyka. Fizika. Biyaliogiya)* [Bulletin of A.A. Kulyashov Mogilev State University. Series B, Natural Sciences (Mathematics, Physics, Biology)], 2023, 2(62), pp. 16–31.
7. Lomovtsev F.E. Global Correctness Theorem to the First Mixed Problem for the General Telegraph Equation with Variable Coefficients on the Segment / F.E. Lomovtsev // Problems of physics, mathematics and technology. — 2022. — № 1(50). — Pp. 62–73. — DOI: https://doi.org/10.54341/20778708_2022_1_50_62.
8. Lomovtsev F.E. *Vestnik Hrodzenskaha Dziarzhavna Universiteta imia Ianki Kupaly. Seriya 2, Matematyka. Fizika. Infarmatyka. Vylichalnaya tekhnika i kiravanne* [Journal of Yanka Kupala State University of Grodno. Mathematics. Physics. Information Technology and Computer Science], 2023, 13, 1, pp. 39–63.
9. Lomovtsev F.E. *Vestnik Hrodzenskaha Dziarzhavna Universiteta imia Ianki Kupaly. Seriya 2, Matematyka. Fizika. Infarmatyka. Vylichalnaya tekhnika i kiravanne* [Journal of Yanka Kupala State University of Grodno. Mathematics. Physics. Information Technology and Computer Science], 2022, 12(3), pp. 50–70.
10. Lomovtsev F.E. *Zakluchitelnyy otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote sovmestnogo nauchnogo proyekta BRFFI-NFENK No. F22KI-001 ot 5.11.2021* [Final report on the research work of the joint scientific project BRFFI-NFENK No. F22KI-001 dated 05.11.2021], 2023, 108 p.
11. Tikhonov A.N., Samarski A.A. *Uravneniya matematicheskoi fiziki* [Equations of mathematical physics], Moscow: Nauka, 2004, 798 p.
12. Lomovtsev F.E., Lysenko V.V. *Vestnik Vitsebskaga dziarzhavna universiteta* [Journal of Vitebsk State University], 2019, 3(104), pp. 5–17.

Поступила в редакцию 11.06.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: lomovcev@bsu.by — Ломовцев Ф.Е.



УДК 577.32.579:664.951

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ АНТИОКСИДАНТОВ ИЗ БИОРЕСУРСОВ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

Т.А. Толкачёва*, Н.С. Кисилевская*, А.А. Чиркин*, А.В. Кунцевич**

**Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»*

***Белорусский государственный университет*

Благодаря антиоксидантной активности собственных метаболитов у различных организмов происходит адаптация к изменяющимся условиям среды обитания. Установление антиоксидантной активности в биологических жидкостях беспозвоночных животных и водных экстрактов растений Белорусского Поозерья особенно актуально, так как эта территория Республики Беларусь более чистая по радиационному загрязнению в сравнении с другими регионами. В связи с необходимостью создания эффективных композиций, препятствующих развитию последствий окислительного стресса, важен поиск потенциальных источников для выделения веществ, обладающих антиоксидантными свойствами.

Цель исследования — установление антиоксидантной активности в экстрактах растений, в гомогенате расплода пчел, в гемолимфе виноградных улиток, гемолимфе гусениц и куколок китайского дубового шелкопряда, а также в экстракте куколок китайского дубового шелкопряда.

Материал и методы. Антиоксидантную активность оценивали классическим химическим методом, который связан с регистрацией активных кислородных метаболитов, генерируемых ферментами клеток нейтрофилов крови человека при их активации различными способами (адгезии к поверхности, действию хемотаксического трипептида fMLP и латекса). У растений моделировали окислительный стресс действием неблагоприятных температур и солей тяжелых металлов, после чего фиксировали содержание продуктов перекисного окисления липидов и концентрацию антиоксидантных ферментов.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что из 25 проанализированных растений наибольшими антиокислительными свойствами обладают водные экстракты зверобоя, лабазника и руты. Доказано, что содержимое расплода пчел оказывает ингибирующее действие на процессы окисления в системе, содержащей пероксидазу, и в системе, содержащей активированные нейтрофилы. Результаты анализов показали, что антиоксидантная активность гемолимфы куколок дубового шелкопряда существенно выше по сравнению с гемолимфой гусениц V возраста, гемолимфой виноградных улиток и гомогенатом расплода пчел. Экстракт, полученный из куколок китайского шелкопряда, проявил протекторные свойства по защите растений от стресса, вызванного действием высоких и низких температур и солей меди(II) и свинца.

Заключение. У представителей растительного и животного мира Белорусского Поозерья выраженность антиоксидантной активности распределена в последовательности: гемолимфа куколок китайского дубового шелкопряда > гемолимфа гусениц шелкопряда V возраста > гемолимфа виноградных улиток > гомогенат расплода пчел > экстракты лекарственных растений. Биоресурсы Белорусского Поозерья, включая культивируемые искусственно виды, обладают перспективным потенциалом для производства антиоксидантных препаратов на их основе.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, растения, расплод пчел, гемолимфа шелкопряда, гемолимфа улиток, хемилюминесценция.

POTENTIAL ANTIOXIDANT SOURCES FROM BIO RESOURCES OF BELARUSIAN POOZERIE (LAKE DISTRICT)

T.A. Tolkacheva*, N.S. Kisilevskaya*, A.A. Chirkin*, A.V. Kuntsevich**

*Education Establishment "Vitebsk State P.M. Masherov University"

**Belarusian State University

Due to antioxidant activities of various organisms' own metabolites the adaptation to the changing habitats takes place. Identification of the antioxidant activities in biological liquids of Belarusian Poozeriye invertebrates and plant water extracts is relevant since this territory of the Republic of Belarus is more clean from the point of view of radiation pollution in comparison to other territories. The necessity for the creation of efficient compositions, which prevent the development of the consequences of oxidative stress, dictates the significance of the search for potential sources of the extraction of substances which have antioxidant properties.

The research purpose is to identify antioxidant activities in plant extracts, in bee brood homogenate, in grape snail hemolymph, caterpillar and Chinese oak silkworm pupae hemolymph as well as in Chinese oak silkworm pupae extract.

Material and methods. Antioxidant activity was assessed by the classical chemical method which is connected with the registering of active oxygen metabolites generated by cell enzymes of human blood neutrophils activated by various ways (adhesion to the surface, chemotactic tripeptide fMLP activity and latex). Oxidative stress was modeled in plants by the impact of unfavorable temperatures and heavy metal salts, after which the contents of products of peroxidation of lipids and concentration of antioxidant enzymes was identified.

Findings and their discussion. It was found out that of the 25 plants under study tutsan, meadowsweet and rue water extracts possess strongest antioxidative properties. It was proved that the contents of bee brood causes inhibiting action on the oxidation processes in the system which contains peroxidase as well as in the system which contains activated neutrophils. The analysis results showed that antioxidant activity of oak silkworm pupae haemolymph is considerably higher compared to the V-age caterpillar haemolymph, grape snail haemolymph and bee brood homogenate. The extract received from the Chinese oak silkworm pupae exhibited protective properties in defending the plants from stress caused by high and low temperatures and copper (II) and lead salts.

Conclusion. Representatives of the flora and fauna of Belarusian Poozeriye exhibit antioxidant activities in the following succession: Chinese oak silkworm pupae hemo lymph > V-age silkworm caterpillar haemolymph > grape snail haemolymph > bee brood homogenate > herb extracts. Bio resources of Belarusian Poozeriye, including artificially cultivated species, possess a prospective potential for the production of antioxidants on their basis.

Key words: antioxidant activities, plants, bee brood, silkworm haemolymph, snail haemolymph, chemiluminescence.

В северо-западной части Республики Беларуси находится уникальный природный регион нашей страны — Белорусское Поозерье. Эта территория представляет собой место с прозрачно-зеркальными озерами, не тронутыми человеком лесными массивами и холмистыми ландшафтами, сохранившими свою природную чистоту. Не менее уникальными являются экосистемы и биоресурсы Белорусского Поозерья, их изучение в качестве источников антиоксидантов остается актуальным.

Термин «антиоксидантный метаболом» был введен и стал применяться во втором десятилетии XXI века с целью описания низкомолекулярных метаболитов в антиоксидантной системе растений. Их основная функция — защита от разрушающего действия окислительного стресса и формирование систем антиоксидантной устойчивости, которые определяются как генотипом, так и факторами среды [1]. Проведенные недавно исследования доказывают, что фитохимические вещества, обнаруженные в растениях, отвечают за их мощную антиоксидантную активность (полифенолы, дубильные вещества, антоцианы и многие другие антирадикальные компоненты) [2]. Антиоксиданты вступают во взаимодействие со свободными радикалами и прекращают их разрушительное действие. Принято, что к свободным радикалам относят: гидроксильный радикал, супероксидный анион-радикал, гидропероксильный радикал, липидный радикал, липидный пероксильный радикал, алкоксильный радикал, монооксид- и диоксид-азотные радикалы и др. Антиоксиданты, нивелирующие эффекты свободных радикалов, принято делить на две большие группы: ферментативные и неферментативные. В свою очередь, ферментативные антиоксиданты бывают двух типов: 1) первичные — супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза; 2) вторичные — глутатионредуктаза, глюкоза-6-фосфатдегидрогеназа. Неферментативные антиоксиданты представляют собой группы молекул: фенольные кислоты — гидроксикоричные (феруловая, кумаровая) и гидроксibenзойные (галловая, эллаговая); флавонолы (кверцетин, кемпферол); изофлавоноиды (генистеин); флавоноиды (катехин,

пелагонидин); флаваноны (гесперидин); антоцианидины (цианидин, дельфинидин); кофакторы (коэнзим Q10); минералы (цинк, селен); сероорганические соединения (аллилсульфид, индолы); витамины и их производные (витамины А, С, Е и К; каротиноиды, ликопин, лютеин, зеаксантин, бета-каротин; мочевая кислота) [1–3].

Окислительный стресс — относительно новое понятие, широко используемое в биологии и медицине в последние три десятилетия. Он является причиной некоторых физиологических изменений и очень распространенных заболеваний у человека и нарушений обмена веществ у живых организмов. Доказано, что в обычных условиях скорость и периодичность образования окислителей коррелируют со скоростью их удаления. При этом потеря баланса между прооксидантами и антиоксидантами приводит к развитию окислительного стресса и впоследствии к связанным с ним патологиям. Содержание и активность эндогенных факторов антиоксидантного действия проверяют с помощью тестов для их оценки. Во-первых, это тесты, основанные на переносе атома водорода (ORAC — тест на способность к поглощению кислородных радикалов, HORAC — тест на антиоксидантную способность гидроксильных радикалов, TRAP — тест на общий антиоксидантный параметр улавливания пероксильных радикалов и TOSC — тест на общую способность улавливать оксирадикалы). Тесты, связанные с переносом одного электрона, включают тест, восстанавливающий антиоксидантную способность меди (CUPRAC), тест, восстанавливающий антиоксидантную способность железа (FRAP), и тест Фолина — Чиокальтеу, связанный с антиоксидантными свойствами фенольных соединений. Существуют и смешанные тесты, работающие на основе фиксации переноса как атома водорода, так и электрона: тест с 2,2'-азинобис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоной кислотой) (ABTS) и тест [2,2-ди(4-трет-октилфенил)-1-пикрилгидразил] (DPPH) тест. Они служат для проведения антиоксидантного анализа и находят применение для установления антиоксидантной активности многокомпонентных образцов. В описанных выше методах требуются идентификация и уточнение (методы на основе электрохимических биологических сенсоров). Сочетание химических и электрохимических методов позволяет установить механизмы действия и кинетики протекания процессов одновременно с несколькими антиоксидантами [3].

Другим подходом оценки антиоксидантной активности у живых организмов служит установление функционирования клеток млекопитающих, которые предназначены для борьбы с окислительным стрессом и его последствиями. Активированные различными способами нейтрофилы крови человека могут генерировать ферментативным образом продукты с высокой реакционной способностью благодаря ферментам НАДФН-оксидазы и миелопероксидазы (МПО). Данные ферменты последовательно формируют активированные формы (метаболиты) кислорода и галогенов ($O_2^{\cdot -}$, H_2O_2 , $^{\cdot}OH$, $HOCl$, $HOBr$), окисляющие многие важные для жизни биомолекулы. Известно, что эти оксидазы активируются при действии на нейтрофилы бактериальных пептидов, белков острой фазы воспаления, некоторых провоспалительных цитокинов, адгезионных молекул и индукторов фагоцитоза. Указанный подход был разработан на кафедре биофизики БГУ под руководством академика С.Н. Черенкевича, что позволило на базе научно-исследовательской лаборатории совместно с сотрудниками кафедры биофизики проводить анализ антиоксидантного статуса представителей биоты Белорусского Поозерья [4; 5].

Актуальным остается поиск биологического материала, обладающего высокой антиоксидантной активностью для выделения, очистки и применения биологически активных веществ, отвечающих за антиокислительную способность.

Цель исследования — установление антиоксидантной активности в экстрактах растений, в гомогенате расплода пчел, в гемолимфе виноградных улиток, гемолимфе гусениц и куколок китайского дубового шелкопряда, а также в экстракте куколок китайского дубового шелкопряда.

Материал и методы. В работе использовали биологический материал растительного и животного происхождения. Определение содержания фенольных соединений и биофлавоноидов проводили в спиртовых экстрактах, а оценку антиоксидантной активности — в водных экстрактах из растительного сырья по общепринятым методам [6]. Получение спиртовых растительных экстрактов: 500 мг измельченного растительного сырья заливали 10 см³ 96% этанола и оставляли в темном месте на ночь. Затем полученный экстракт сливали, а материал заливали 10 см³ 70% этанола и кипятили на водяной бане с обратным холодильником в течение 30 минут. Экстракцию повторяли три раза, полученные экстракты объединяли, фильтровали и доводили объем до 50 см³ 70% этанолом.

Для приготовления водных экстрактов растений 100 мг измельченного растительного сырья заливали 20 см³ дистиллированной воды и выдерживали на кипящей водяной бане 15 минут. Настаивали в течение 1 часа при комнатной температуре и фильтровали, получая в результате прозрачные желтовато-коричневые экстракты без мутных примесей.

Гемолимфу виноградных улиток отбирали из отверстия, проделанного во втором завитке от входа в раковину. Гемолимфу куколок дубового шелкопряда получали из надреза в конце брюшка куколки путем надавливания на тело. Разделение выделенной из куколок шелкопряда гемолимфы на фракции проводили на колонке Sephadex G25 fine. Гомогенат расплода пчел готовили из личинок трутней, которых извлекали из сот, и подвергали гомогенизации с добавлением адсорбента — смеси лактозы и глюкозы, затем тщательно растирали, гомогенат хранили при температуре 4–6°C.

Для определения *in vitro* антиоксидантного потенциала исследуемых биологических жидкостей применяли системы, инициирующие появление свободных радикалов и активных кислородных метаболитов (АКМ) в модели, их регистрировали по следующим реакциям:

– реакция Фентона (взаимодействие FeSO_4 с H_2O_2 и образование гидроксильного радикала), метод хемилюминесценции (ХЛ);

– окисление люминола пероксидазой хрена в присутствии H_2O_2 , метод ХЛ;

– генерация активных кислородных метаболитов нейтрофилами крови человека при адгезии, фагоцитозе при действии хемотаксического трипептида и латекса (ХЛ);

– галогенирование люминола при действии OCl^- , люминол-зависимая ХЛ.

Нейтрофилы лейкоцитов человека получали из крови доноров-добровольцев, используя фиколюрографический метод. Исследования по выявлению и регистрации хемилюминесценции в разных биологических жидкостях проведены на кафедре биофизики БГУ. Для количественного определения генерации нейтрофилами АКМ суспензию с ними ($1 \cdot 10^6$ клеток/мл) помещали в стеклянную кювету, добавляли исследуемую жидкость, люминол ($5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и выявляли параметры усиленной люминолом (Люм-) хемилюминесценции. В этом случае хемилюминесценция обусловлена генерацией нейтрофилами АКМ при активации клеток в процессе адгезии к стеклу. Затем в исследуемые образцы вносили хемотаксический трипептид N-формилметионил-лейцил-фенилаланин (fMLP $7,5 \cdot 10^{-7}$ моль/л), латекс (50 мкл разбавленной 1:50 базовой суспензии латекса из набора для определения ревматоидного фактора) и определяли параметры ХЛ, вызванной образованием АКМ при адгезии к стеклу, действием fMLP и фагоцитозе, вызванном латексом. Кинетические зависимости интенсивности ХЛ активированных различными способами клеток регистрировали с помощью компьютеризированного измерительного комплекса, включающего биохемилюминометр БХЛ-1 (БГУ, Беларусь) и систему регистрации и обработки сигналов Unichrom (Новые аналитические системы, Беларусь). Температура, при которой проводили исследования, составила 37°C. Интегральную интенсивность ХЛ клеток вычисляли как площадь под кинетической кривой, полученной за время измерения 10 мин при адгезии или за время 4 мин при действии fMLP или латекса. Ингибиторный эффект выражали в процентах [4; 5].

Гипотермию и гипертермию моделировали с использованием зерновок ячменя сорта «Гонар». Для этого 5-суточные проростки ячменя вносили на 24 часа в камеру с температурой 4–6°C, затем на сутки растения возвращали в исходные температурные условия либо 6-суточные проростки вносили в термостат и выдерживали на 3 часа при 40°C, затем на сутки растения возвращали в оптимальные температурные условия. Анализы проводили на 7-суточных проростках ячменя.

Содержание продуктов перекисного окисления липидов выявляли в вегетативной массе растений с использованием теста с 2-тиобарбитуровой кислотой. Концентрацию ТБКРС рассчитывали посредством молярного коэффициента экстинкции $1,56 \cdot 10^5$ моль⁻¹·см⁻¹ и выражали в мкмоль/г. Активность каталазы устанавливали по методу Королюка, основанному на определении количества H_2O_2 , не разложившегося после инкубации с каталазой, путем спектрофотометрической регистрации окрашенного продукта реакции взаимодействия пероксида водорода с молибдатом аммония и рассчитывали с учетом коэффициента молярной экстинкции – 22200 см⁻¹·М⁻¹ (мкмоль/мин·г ткани). Активность глутатионредуктазы детектировали на основе метода, который заключается в превращении GSSG в GSH в присутствии НАДФН, и рассчитывали с учетом коэффициента молярной экстинкции $6,22$ мМ⁻¹·см⁻¹ (мкмоль/мин·г ткани). Активность супероксиддисмутазы устанавливали с использованием системы,

обеспечивающей восстановление нитросинего тетразолия (НСТ), и рассчитывали с учетом процента ингибирования реакции (ммоль/мин·г ткани) [6].

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований вначале определили содержание биологически активных веществ в вегетативной массе растений одуванчика и клевера из трех районов Витебской области в разные периоды вегетации. Установлено, что самое высокое содержание суммы фенольных соединений и гликозидов зафиксировано в листьях одуванчика лекарственного (*T. officinale*), собранного в Браславском районе, в период его цветения и плодоношения, а дубильных соединений — в листьях, заготовленных в Витебском районе. Показано, что содержание фенольных соединений в вегетативной массе в период цветения выше, чем в период плодоношения, в Браславском и Глубокском районах. Самое высокое содержание суммы фенольных соединений зафиксировано в листьях клевера лугового (*T. pratense*) из Браславского района в период плодоношения. Содержание фенольных соединений в вегетативной массе клевера в период плодоношения выше, как и у одуванчика. Флавоноидные соединения в исследуемом растительном материале представлены авилякурином, кверцетином, кемпферолом, лютеолином, морином, апигенином; содержат изокверцетин, гиперозид, гомориентин, рутин, изосалипурнозид. Установили, что самая высокая концентрация из вышеперечисленных флавоноидов в листьях одуванчика принадлежит авилякурину, апигенину и рутину в период цветения; авилякурину и рутину в период плодоношения. Содержание флавоноидов в листьях клевера Витебского района самое высокое в период цветения и плодоношения. Концентрация в листьях клевера авилякурина выше в период цветения; авилякурина и кемпферола в период плодоношения. Таким образом доказали, что на фитохимический состав растений влияют место сбора и вегетативный период. Исследования в этом направлении будут продолжены с другими дикорастущими растениями.

Проведена оценка степени выраженности антиоксидантного действия растительных экстрактов на основе биохимических исследований 25 растений, произрастающих в Белорусском Поозерье. Ниже приводятся содержащиеся вещества в исследованных растениях, которые могут определять их антиоксидантное действие: звербой продырявленный, трава — *Hypericum perforatum* (антрахиноны, флавоноиды, проантоцианидины); лабазник вязолистный, цветки — *Filipendula ulmaria* (флавоноиды); рута душистая, трава — *Ruta graveolens* (алкалоиды, флавоноиды); донник лекарственный, трава — *Melilotus officinalis* (кумарины, флавоноиды); пустырник сердечный, трава — *Leonurus cardiac* (флавоноиды, иридоиды); эхинацея пурпурная, трава — *Echinacea purpurea* (коричные кислоты); пижма балзамическая (кануфер), трава — *Tanacetum balsamita* (эфирное масло, флавоноиды); череда трехраздельная, трава — *Biden stripartita* (флавоноиды, полиацетилены); брусника обыкновенная, листья — *Vaccinium vitisidaea* (фенолгликозиды, флавоноиды, таннины); береза пушистая, листья — *Betula pubescens* (флавоноиды, таннины); чистотел большой, трава — *Chelidonium majus* (алкалоиды, флавоноиды); каштан, семена — *Aesculus hippocastanum* (сапонины); буквица лекарственная, трава — *Betonica foliosa* (флавоноиды, иридоиды); кукуруза, рыльца — *Zea mays* (флавоноиды); крапива двудомная, листья — *Urtica dioica* (коричные кислоты, флавоноиды); маклейя сердцевидная, листья — *Macleaya cordata* (алкалоиды, флавоноиды); малина обыкновенная, листья — *Rubus idaeus* (флавоноиды, таннины); репешок аптечный, трава — *Agrimonia eupatoria* (флавоноиды, таннины); хвощ полевой, трава — *Equisetum arvense* (флавоноиды); лещина обыкновенная, листья — *Corylus avellana* (флавоноиды, таннины); фиалка трехцветная, трава — *Viola tricolor* (флавоноиды, эфирное масло); сабельник болотный, корневища — *Comarum palustre* (проантоцианидины, флавоноиды); каштан, цветки — *Aesculus hippocastanum* (флавоноиды, кумарины); полынь божье дерево, трава — *Artemisia abrotanum* (флавоноиды, эфирные масла); левзея сафлоровидная, листья — *Leuzea carthamoides* (экдистероиды, флавоноиды) [7].

Предварительную оценку антиоксидантных свойств экстрактов растений на генерацию активных кислородных метаболитов в нейтрофилах выполнили на бесклеточных системах, содержащих пероксидазы и их субстраты. Для этого использовали бесклеточную систему, содержащую пероксидазу хрена, H₂O₂ и люминол. В этом случае окисление люминола сопровождается возникновением люминолзависимой хемилюминесценции (ЛЗХЛ). Доказано, что добавление экстрактов лекарственных растений снижает интенсивность хемилюминесценции. Для определения способности экстрактов подавлять реакцию пероксидазного окисления изучили зависимость от вносимых концентраций и определили концентрации экстрактов, при которых наблюдается 50% ингибирование люминолзависимой

хемилюминесценции (C_{50}). После определения действующих концентраций экстракты растений добавляли к нейтрофилам и вносили факторы, вызывающие генерацию активных кислородных метаболитов и описанные в материалах и методах исследований.

Установлено, что концентрации экстрактов растений, необходимые для ингибирования генерации АКМ нейтрофилами, гораздо выше, чем концентрации, необходимые для ингибирования пероксидазного окисления в модельной бесклеточной среде. Объяснить это можно наличием мембран, препятствующих проникновению компонентов экстрактов внутрь клеток.

Выявлено, что наибольшим антиоксидантным действием, а следовательно, способностью ингибировать активность пероксидаз и подавлять активность нейтрофилов при адгезии, действии хемоаттрактанта и при индуцировании фагоцитоза обладают водные экстракты зверобоя, лабазника и руты. При этом высокой корреляции между химической природой основной группы действующих веществ и антиоксидантной активностью растений не выявлено [7].

В равновесии с представителями растительной биоты находятся насекомые и, прежде всего, пчелы. Для современной биотехнологии особый интерес представляет трутневый расплод пчел. Развитие трутней происходит из неоплодотворенных яиц. Из яиц выходят личинки и развиваются с полным метаморфозом. Процесс постэмбрионального развития регулируется гормонами, личиночная стадия длится примерно 7 суток. Методом жидкостной хроматографии с масс-селективным детектором в расплоде пчел идентифицирована 31 аминокислота, в том числе все незаменимые для человека. Суммарное содержание аминокислот в пчелином расплоде составляет от 37,6 до 40,6%, что может свидетельствовать о его высокой питательной ценности и антиоксидантной активности [8; 9]. Нами исследована суспензия гомогената расплода пчел (ГРП). Установлено, что в его присутствии интенсивность окисления люминола, катализируемого пероксидазой хрена, снижается по сравнению с контролем.

Изучено влияние ГРП на процессы образования нейтрофилами активных кислородных метаболитов, анализируемые по интенсивности ЛЗХЛ нейтрофилов при их активации. Установлено, что в присутствии гомогената расплода пчел происходит достоверное снижение генерации АКМ нейтрофилами при всех использованных видах стимуляции. С увеличением концентрации ГРП степень ингибирования активности нейтрофилов прямо пропорционально возрастает. Эффективность действия гомогената расплода пчел в отношении свободной пероксидазы на несколько порядков выше, чем эффективность ингибирования активности нейтрофилов, как и в случае с экстрактами растений. Значительный ингибирующий эффект в отношении клеток проявляется при концентрациях препарата от 1 мкл/мл и выше.

В условиях поддержания китайского дубового шелкопряда в культуре (в лаборатории в осенне-зимний период и выкормки в инсектарии в весенне-летний период) стадия куколки продолжается 7–8 месяцев. За это время проходит полный гистолиз основных тканей личинок 5 возраста и формирование тканей имаго. Процессы гистолиза у шелкопряда могут помочь проанализировать гипотезу, согласно которой живые организмы, испытывающие окислительный стресс, начинают распад белков, нуклеиновых кислот, гемопротеинов, что ведет к освобождению низкомолекулярных веществ (аминокислот, мочевой кислоты, билирубина), обладающих антиоксидантным действием. Для подтверждения этого предположения использовали определение антиоксидантной активности в динамике гистолиза гусениц V возраста, ведущего к образованию жидкого содержимого куколок дубового шелкопряда. Позже провели сравнительный анализ антиоксидантной активности гемолимфы куколок с аналогичной активностью гемолимфы виноградных улиток, расплода пчел и лекарственных растений.

В результате гистолиза тканей гусеницы в жидком содержимом куколок формируется уникальный антиоксидантный комплекс [9; 10], включающий 1) антиоксидантные аминокислоты; 2) антиоксидантные витамины (аскорбиновая кислота — $181,5 \pm 27,0$ мкг/мл, токоферолы — $12,5 \pm 0,88$ мкг/мл, ретинол — $0,037 \pm 0,013$ мкг/мл); 3) мочевую кислоту — $303 \pm 62,3$ мкмоль/л, 4) SH-группы — $41,9$ мкмоль/л, включая восстановленный глутатион — $23,5$ мкмоль/л и глутатионпероксидазу — $42 \pm 9,0$ нмоль GSH/мин·мг белка. Этот комплекс способен обеспечить подавление разрушающего влияния окислительного стресса на макромолекулы — белки и нуклеиновые кислоты [10]. Сравнили ингибирующий эффект гемолимфы куколок китайского дубового шелкопряда и гусениц V возраста на генерацию гидроксильного радикала в присутствии $FeSO_4$ (50 мкмоль/л) и H_2O_2 (50 мкмоль/л) в бесклеточной системе. Установлено, что оба образца гемолимфы ингибировали реакцию, при этом гемолимфа куколок

в 10 раз была сильнее по сравнению с гемолимфой гусениц. Выявлено, что 50% ингибирование люминолзависимой хемилюминесценции наблюдалось при разбавлении содержимого гусениц в 550 раз, а содержимого куколок — примерно в 5000 раз.

Так как выход НАДФН-оксидазы и миелопероксидазы из нейтрофилов и их инактивация могут происходить в результате клеточной гибели, было установлено повреждение нейтрофилов при действии гемолимфы по высвобождению фермента лактатдегидрогеназы (ЛДГ). Последняя является цитозольным ферментом и обнаруживается во внеклеточной среде только при нарушении мембран клеток. Проведенные исследования доказали, что гемолимфа гусениц и куколок в изученных разведениях не приводит к выбросу из нейтрофилов ЛДГ, а значит, не вызывает разрушение нейтрофилов.

Для подтверждения установленного эффективного антиоксидантного действия гемолимфы куколок китайского дубового шелкопряда провели сравнение с антиоксидантным действием гемолимфы виноградных улиток. Данные эксперименты показали, что ингибирование ЛЗХЛ в присутствии гемолимфы куколок шелкопряда происходит при больших разведениях (по сравнению с гемолимфой виноградных улиток). Сравнительные расчеты продемонстрировали, что добавление в среду гемолимфы куколок дубового шелкопряда эффективнее гемолимфы виноградных улиток в системе люминол + гипохлорит водорода в 200 раз, люминол + пероксидаза хрена + пероксид водорода в 200 раз, люминол + миелопероксидаза + пероксид водорода в 500 раз, генерации АКМ нейтрофилами при адгезии к стеклу в 700 раз, генерации АКМ нейтрофилами при действии хемотаксического трипептида fMLP в 300 раз и генерации АКМ нейтрофилами при действии латекса в 4000 раз. Это доказывает перспективность культивирования виноградных улиток и китайского дубового шелкопряда в условиях Белорусского Поозерья.

Приведенные исследования выявляют существенно более мощные антиоксидантные свойства гемолимфы куколок дубового шелкопряда по сравнению с гемолимфой гусениц V возраста и гемолимфой виноградных улиток. На наш взгляд, это связано с увеличением концентрации продуктов распада нуклеиновых кислот (мочевой кислоты) и белков (антиоксидантных аминокислот) в процессе гистолиза.

Следующим этапом было сравнение антиоксидантной активности продуктов гистолиза (гемолимфы куколок) и гомогената расплода пчел. Путем установления ингибирования люминолзависимой хемилюминесценции в бесклеточных системах и с участием активированных нейтрофилов показали, что гомогенат расплода пчел уступает по антиоксидантной активности гемолимфе куколок дубового шелкопряда в 100–1000 раз.

На основании доказанных антиоксидантных эффектов гемолимфы куколок шелкопряда из содержимого куколок в соответствии с патентом Республики Беларусь «Способ получения средства для профилактики инсулинорезистентности» № 15645 (А.А. Чиркин [и др.]) был получен водный экстракт куколок китайского дубового шелкопряда (далее Экстракт). Проверка эффектов полученного Экстракта проводилась на растительных объектах (ячмень (*Hordeum vulgare*) и лук репчатый (*Allium cepa*)).

Окислительный стресс у ячменя вызывали действием повышенных (гипертермия) и пониженных (гипотермия) температур. Установили, что температурный стресс приводит к увеличению ТБК-реагирующих соединений в проростках ячменя на 56–68% по сравнению с контролем. Активность антиоксидантных ферментов каталазы и глутатионредуктазы у растений при гипо- и гипертермии также возрастала на 49–58%. Предварительная обработка зерновок ячменя Экстрактом защищала растения от проявлений окислительного стресса. Так, содержание ТБК-реагирующих соединений снижалось на 43–50% по сравнению с зерновками без предварительной обработки. К тому же обработка Экстрактом привела к снижению антиоксидантных ферментов на 40%.

Окислительный стресс, вызванный действием солей тяжелых металлов (меди и свинца), моделировали у лука репчатого путем помещения корней проросших луковиц в растворы соответствующих солей. Выявили, что обработка проросших луковиц А. сера солями CuSO_4 и $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ приводит к видимым морфологическим проявлениям (угнетение роста корней) признаков окислительного стресса через 9 суток. В выросших листьях лука при моделировании стресса зафиксировали достоверное повышение ТБК-реагирующих соединений и активности супероксиддисмутазы и глутатионредуктазы по сравнению с контрольной группой. Обработка луковиц солями меди и свинца совместно с Экстрактом частично препятствует накоплению продуктов перекисного окисления липидов и нормализует развитие корней.

Антиоксидантный эффект Экстракта доказывается и сохранением антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза, глутатионредуктаза) листьев лука на уровне контрольных значений.

Заключение. У представителей растительного и животного мира Белорусского Поозерья выраженность антиоксидантной активности распределена в последовательности: гемолимфа куколок китайского дубового шелкопряда > гемолимфа гусениц шелкопряда V возраста > гемолимфа виноградных улиток > гомогенат расплода пчел > экстракты лекарственных растений. Биоресурсы Белорусского Поозерья, включая культивируемые искусственно виды, обладают перспективным потенциалом для производства антиоксидантных препаратов на их основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинс, М.С. К вопросу об антиоксидантном метаболоме овощных культур селекции ВНИИССОК / М.С. Гинс, В.К. Гинс // Овощи России. — 2015. — № 2. — С. 75–79. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-2-75-79>.
2. More, G.K. Metabolomic Profiling of Antioxidant Compounds in Five *Vachellia* Species / G.K. More, S. Meddows-Taylor, G. Prinsloo // *Molecules*. — 2021. — Vol. 26, № 20. — DOI: 10.3390/molecules26206214.
3. Munteanu, I.G. Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review / I.G. Munteanu, C. Apetrei // *International Journal of Molecular Sciences*. — 2021. — Vol. 22, № 7. — DOI: 10.3390/ijms22073380.
4. Effects of hydrogen peroxide on neutrophil ability to generate reactive oxygen and chlorine species and to secrete myeloperoxidase *in vitro* / A.I. Kavalenka [et al.] // *Cell and Tissue Biology*. — 2007. — Vol. 1, № 6. — P. 551–559.
5. Коваленко, Е.И. Хемилюминесцентный метод в открытии антиоксидантной активности куколок дубового шелкопряда / Е.И. Коваленко, А.А. Чиркин // Современные проблемы биохимии / под ред. А.П. Солодкова и А.А. Чиркина. — Витебск: УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2010. — С. 58–80.
6. Толкачёва, Т.А. Защитные реакции растительных объектов при стрессе и методы их оценки / Т.А. Толкачёва, И.М. Морозова, Г.В. Ляхнович // Современные проблемы биохимии. Методы исследований / под ред. проф. А.А. Чиркина. — Минск: Вышэйшая школа, 2013. — С. 438–469.
7. Чиркин, А.А. Антиоксидантная активность водных экстрактов лекарственных растений / А.А. Чиркин, Е.И. Коваленко, Г.Н. Бузук, Т.А. Толкачёва // Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. — 2012. — № 1(67). — С. 47–53.
8. Comparative study on quality parameters of royal jelly, apilarnil and queen bee larvae triturate / R. Margaoan [et al.] // *Animal Science & Biotechnologies*. — 2017. — Vol. 74, № 1. — P. 51–58.
9. Чиркин, А.А. Биологическая активность продуктов гистоллиза: теория и практика / А.А. Чиркин, Е.И. Коваленко, Т.А. Толкачёва. — Saarbruecken: Lambert Academic Publishing, 2012. — 156 с.
10. Толкачёва, Т.А. Гистоллиз: теория и практика / Т.А. Толкачёва. — Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2015. — 136 с.

REFERENCES

1. Gins M.S., Gins V.K. *Ovoshchi Rossii* [Vegetables of Russia], 2015, 2, pp. 75–79. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-2-75-79>.
2. More, G.K. Metabolomic Profiling of Antioxidant Compounds in Five *Vachellia* Species / G.K. More, S. Meddows-Taylor, G. Prinsloo // *Molecules*. — 2021. — Vol. 26, № 20. — DOI: 10.3390/molecules26206214.
3. Munteanu, I.G. Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review / I.G. Munteanu, C. Apetrei // *International Journal of Molecular Sciences*. — 2021. — Vol. 22, № 7. — DOI: 10.3390/ijms22073380.
4. Effects of hydrogen peroxide on neutrophil ability to generate reactive oxygen and chlorine species and to secrete myeloperoxidase *in vitro* / A.I. Kavalenka [et al.] // *Cell and Tissue Biology*. — 2007. — Vol. 1, № 6. — P. 551–559.
5. Kovalenko E.I., Chirkin A.A. *Sovremennye problemy biokhimii* [Modern Issues of Biochemistry], Vitebsk: UO "VGU im. P.M. Masherova", 2010, pp. 58–80.
6. Tolkacheva T.A., Morozova I.M., Liakhnovich G.V. *Sovremennye problemy biokhimii. Metody issledovani* [Modern Issues of Biochemistry. Research Methods], Minsk: Vysheishaya shkola, 2013, pp. 438–469.
7. Chirkin A.A., Kovalenko E.I., Buzuk G.N., Tolkacheva T.A. *Vestnik Vitsebskaga dzharzhavnaga universiteta* [Journal of Vitebsk State University], 2012, 1(67), pp. 47–53.
8. Comparative study on quality parameters of royal jelly, apilarnil and queen bee larvae triturate / R. Margaoan [et al.] // *Animal Science & Biotechnologies*. — 2017. — Vol. 74, № 1. — P. 51–58.
9. Chirkin A.A., Kovalenko E.I., Tolkacheva T.A. *Biologicheskaya aktivnost produktov gistoliza: teoriya i praktika* [Biological Activity of Histolysis Products: Theory and Practice], Saarbruecken: Lambert Academic Publishing, 2012. — 156 p.
10. Tolkacheva T.A. *Gistoliz: teoriya i praktika* [Histolysis: Theory and Practice], Vitebsk: VGU imeni P.M. Masherova, 2015, 136 p.

Поступила в редакцию 03.10.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: tanyatolkacheva@mail.ru — Толкачёва Т.А.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ВОДЫ В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А.Б. Шикунец*, В.Н. Штепа**, Д.Д. Жерносеков***

**Учреждение образования «Полесский государственный университет»*

***Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»*

****Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»*

Авторами рассмотрены современные подходы к биологической очистке воды в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) с акцентом на повышении эффективности биофильтрации за счет оптимизации микробного состава и улучшения условий его работы.

Цель статьи — анализ проблем существующих подходов к биологической очистке воды в рыбоводных установках замкнутого водоснабжения, а также поиск возможных их решений.

Материал и методы. *Объектом исследования в данном случае служила микрофлора с элементов биоагрузки системы биологической фильтрации в УЗВ. Одновременно исследовали микроорганизмы другой модельной системы для определения влияния электролизной обработки воды на общее микробное число (ОМЧ). Для этого использовали методику посева жидкого образца на плотные микробиологические питательные среды с дальнейшим подсчетом выросших колоний микроорганизмов. Для приготовления исследуемых растворов применялся безмембранный электротехнологический модуль с графитовыми электродами.*

Результаты и их обсуждение. *В ходе исследования определены ключевые действующие группы микроорганизмов в системе биологической фильтрации в рыбоводной установке. Показано стимулирующее влияние электролитически обработанных водных растворов на микроорганизмы модельной системы.*

Заключение. *На основании полученных результатов предложен комплексный подход, включающий выделение и идентификацию микроорганизмов из биофильтра УЗВ, разработку отечественных микробных препаратов и внедрение электротехнологических модулей для стабилизации физико-химических параметров воды. Внедрение такого подхода позволит повысить эффективность работы системы биологической очистки в УЗВ, а также снизить количество потребляемой воды для работы рыбоводных установок и улучшить состояние выращиваемых гидробионтов.*

Ключевые слова: *установка замкнутого водоснабжения, биофильтрация, нитрифицирующие микроорганизмы, микробные препараты, электротехнологический модуль, индустриальная аквакультура.*

CONTEMPORARY APPROACHES TO BIOLOGICAL WATER TREATMENT IN CLOSED WATER SUPPLY FACILITIES PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

A.B. Shikunets*, V.N. Shtepa**, D.D. Zhernosekov***

**Education Establishment "Polesski State University"*

***Education Establishment "Belarusian State Technological University"*

****Education Establishment "Vitebsk State P.M. Masherov University"*

The authors considered contemporary approaches to biological water treatment in closed water supply facilities (CWSF) concentrating on the increase of the efficiency of bio filtration due to microbe composition optimization and improvement of the conditions of its operation.

The purpose of the paper is an analysis of the problems of the existing approaches to biological water treatment in fishing closed water supply facilities as well as search for their possible solutions.

Material and methods. The research object in this case was micro flora from bio load elements of the system of biological filtration in CWSF. Microorganisms of another model system for the identification of the impact of electrolysis water treatment on the general microbe number (GMN) were simultaneously studied. The method of seeding of a liquid sample in dense microbiological substratum with further calculation of the grown colonies of microorganisms was used for it. To prepare the studied solutions a membraneless electro technological module with graphite electrodes was used.

Findings and their discussion. In the course of the research key operating groups of microorganisms in the system of biological filtration in the fish facilities were identified. The stimulating impact of electrolytically treated water solutions on the microorganisms of the model system was shown.

Conclusion. Based on the obtained results an approach is suggested which includes the extraction and identification of microorganisms from the CWSF bio filter, development of domestic microbe preparations and introduction of electro technological modules for the stabilization of water physical and chemical parameters. The introduction of this approach will make it possible to increase the efficiency of the work of the system of biological treatment in CWSF as well as reduce the consumption of water for the operation of fishing facilities and improve the grown hydrobionts.

Key words: closed water supply facilities, bio filtration, nitrifying microorganisms, microbe preparations, electro technological module, industrial aquaculture.

В Беларуси уровень собственного производства рыбы и рыбной продукции для обеспечения потребностей населения за последние 7 лет в среднем составляет не выше 15%. Остальную часть потребляемой в республике рыбы (около 85%) составляет импорт, тем самым создается угроза продовольственной безопасности страны. По рекомендациям Министерства здравоохранения РБ, годовое потребление рыбы должно составлять 21,3 кг/чел, при фактических значениях 14–15 кг/чел в год [1]. Для более полного обеспечения населения Республики Беларусь рыбой и рыбопродуктами была разработана Министерством сельского хозяйства и продовольствия и утверждена Советом Министров Республики Беларусь Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы, включающая ряд подпрограмм, в том числе подпрограмму 5 «Развитие рыбохозяйственной деятельности». В документе предусмотрен рост объемов производства рыб в Беларуси к 2025 г. до 17,68 тыс. т, в том числе 16,55 тыс. т за счет аквакультуры и 1,13 тыс. т за счет вылова в рыболовных угодьях. В основном в стране превалирует прудовое рыбоводство, оно дает около 96% от общего количества выращиваемой рыбы, однако этот способ имеет ряд недостатков:

- высокие капитальные затраты при создании новых предприятий;
- зависимость от климатических факторов и наличия водных ресурсов;
- продолжительный производственный цикл и низкие плотности посадки.

Использование же индустриальной технологии выращивания гидробионтов позволяет гарантированно, круглогодично, без влияния природных факторов, получать качественную рыбу при высоких плотностях посадки. Выращивание, к примеру, клариевого сома (*Clarias gariepinus*) возможно при плотностях посадки до 600 кг/м³, при производственном цикле от 50-граммового посадочного материала до товарной особи массой 900–1000 граммов за 6 месяцев [2]. Однако установка замкнутого водоснабжения является сложной агробиотехнологической системой, совмещающей технические агрегаты и биологические процессы. Технология выращивания подразумевает многократное повторное использование воды, поскольку в процессе выращивания и кормления последняя насыщается большим количеством метаболитов. Накопление данных веществ в воде приводит к снижению темпов набора массы или гибели рыбы. Систему биологической фильтрации называют «сердцем» УЗВ. Именно она позволяет производить преобразование азотистых соединений путем нитрификации, снижая токсичность метаболитов. Это возможно благодаря колониям микроорганизмов, которые адсорбируются на элементах биологической загрузки. Наиболее сложным технологическим процессом является первоначальный запуск и вывод на проектную мощность системы биологической фильтрации. На данный момент ощущается недостаток научно обоснованных методик старта, а также отечественных микробных препаратов, обеспечивающих интенсификацию процесса запуска и функционирования биофильтра в системе УЗВ.

Ранее были представлены результаты функционирования системы биологической фильтрации в установке замкнутого водоснабжения, специализированной для выращивания африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*). Так, в [3] были определены необходимые условия для стабильного функционирования сообщества нитрифицирующих бактерий:

- pH (6,5–8);
- температура (20–25°C);

- концентрация растворенного кислорода (3–4 мг/л);
- концентрация взвешенных частиц (<25 мг/л).

В дальнейших исследованиях этого же автора [4] было показано, что для стабильной работы биофильтра требуются следующие параметры: температура от 13 до 28°C, TAN (общий аммонийный азот) около 3–4 мг/л, pH 8,0–8,2. Проводя анализ данных литературы, исследователь подчеркивает, что бактерии родов *Nitrosomonas* и *Nitrobacter* могут эффективно функционировать при значениях данного показателя от 7,3 до 8,1. Кроме того, в числе необходимых условий указываются низкая освещенность, отсутствие прямых солнечных лучей, соблюдение проточности и низкие концентрации взвешенных веществ.

Однако в работе также отмечается, что при эксплуатации система биологической фильтрации сталкивается с рядом проблем: конкуренцией нитрифицирующих микроорганизмов с антагонистами за субстрат (биозагрузку), перепадами значений окислительно-восстановительного потенциала, недостаточной степенью механической очистки и т.д.

Кроме того, в отечественных работах не проводились исследования видовой структуры сообщества бактерий биофильтра, а также влияния отдельных видов микроорганизмов на стадии очистки оборотных вод установки замкнутого водоснабжения от загрязняющих компонентов.

Эта проблема частично освещена в научных публикациях зарубежных авторов. При этом наблюдаются расхождения в результатах. Так, в [5] приведены данные о том, что основными действующими микроорганизмами в процессе нитрификации являются бактерии рода *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. В то же время другие исследователи [6] указывают, что основной вклад в процесс нитрификации в биофильтре пресноводной установки замкнутого водоснабжения вносят археи рода *Nitrosospira*, одновременно бактерии рода *Nitrosomonas* присутствуют в растворе в незначительных количествах, а бактерии рода *Nitrobacter* отсутствуют. Эти результаты находят подтверждение в исследованиях микробного сообщества солоноводных установок замкнутого водоснабжения [7; 8; 9]. В этих работах доказывалось главенствующее влияние архей рода *Nitrospira*, а также отмечается их высокая метаболическая активность и способность осуществлять полный цикл нитрификации. Кроме того, в системе биологической фильтрации обнаружены бактерии родов *Nitrotoga* и *Nitrosococcus*.

Следует подчеркнуть, что данные об оптимальных показателях среды для жизни изучаемой группы микроорганизмов в приведенных выше зарубежных исследованиях значительно отличаются.

Поскольку в литературе нет единого мнения по изучаемому вопросу, нами было проведено исследование микробного сообщества модельной системы биологической фильтрации и предложен способ повышения количества нитрифицирующих бактерий. С целью же стабилизации гидрохимического режима в биофильтре была представлена технология внедрения электротехнологического модуля.

Материал и методы. Выращивание нитрифицирующих бактерий производили в лабораторной модельной установке, имитирующей работу системы биологической фильтрации в УЗВ (рис. 1).

Для имитации работы биофильтра УЗВ использовали две емкости, в одной из которых водный раствор перед подачей в емкость обрабатывали посредством проточного электротехнологического модуля, а в другой обработка отсутствовала и подавалась водопроводная вода. В каждой из емкостей была организована аэрация при помощи поршневых компрессоров (BOYU, Китай) производительностью 110 л/мин. Также в систему подавался раствор нашатырного спирта из резервуаров объемом 20 л, расположенных над биофильтром. Раствор вносили в эквиваленте 2,0 г аммиака в сутки, что соответствовало производительности биозагрузки HeI-X с полезной площадью 644 м²/м³. Для переработки заданного объема азотистых соединений в каждую емкость-реактор было помещено 15 л вышеуказанного субстрата. Расчет требуемого объема биофильтра производился исходя из количества выращиваемых в системе гидробионтов (рыб).

С целью формирования сообщества нитрифицирующих микроорганизмов производили их выращивание в биофильтре в течение одного месяца, после чего были отобраны пробы биозагрузки, а также осадка, образующегося на дне емкостей. Далее был проведен микробиологический анализ.

Для определения нитрифицирующих микроорганизмов в системе использовали микробиологические питательные среды следующего состава:

- среда Виноградского I для первого этапа нитрификации: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 2,0 г; K_2HPO_4 — 1,0 г; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,5 г; NaCl 2,0 г; $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,05 г; CaCO_3 — 5,0 г; вода водопроводная до 1000,0 мл;

– среда Виноградского II для второго этапа нитрификации: NaNO_2 — 1,0 г; K_2HPO_4 — 0,5 г; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,5 г; NaCl — 0,5 г; $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,4 г; Na_2CO_3 — 1,0 г; вода водопроводная до 1000,0 мл.

В среду Виноградского для каждого этапа нитрификации объемом 500 мл вносили по 4 пластиковых элемента биоагрузки из 2 лабораторных реакторов, а также осадок по отдельности. Культивирование проводили на орбитальном шейкере-инкубаторе (VS 60 OI, Германия), обеспечивающем 180 об./мин при температуре 28°C в течение 21 дня. По истечении времени культивирования образцы были высеваны на аналогичные агаризованные среды.

Для подтверждения эффекта воздействия электролизной обработки воды на микрофлору была проведена серия опытов, в которых определяли ОМЧ (общего микробного числа) в образцах, обработанных жидкостями из различных зон электротехнологического модуля.

Выращивание нитрифицирующих бактерий требует длительного времени и специфического состава питательных сред, поэтому в качестве модельной системы микроорганизмов использовались смывы с образцов свиного мяса, являющегося благоприятной средой для роста микрофлоры. Данные бактерии дают хороший рост в течение 3 дней на плотных питательных средах, предназначенных для определения обсемененности, что делает их удобными моделями для исследования влияния электролизной обработки на ОМЧ. Для приготовления растворов, в которых происходило их замачивание, применяли стерильную воду, католит и анолит, а также их смесь, полученные в результате работы электротехнологического модуля, принципиальная схема которого представлена ниже (рис. 2).



Рис. 1. Лабораторная модель системы биологической фильтрации

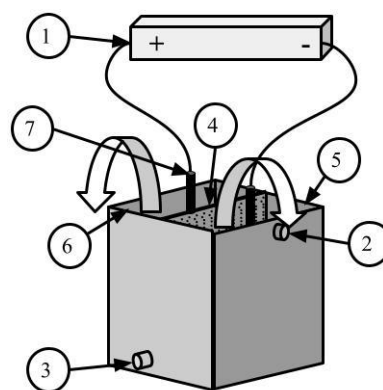


Рис. 2. Принципиальная схема электротехнологического модуля:
1 — источник питания, 2 — отверстие для отвода воды,
3 — кран для подвода воды, 4 — мембрана, 5 — катодная зона,
6 — анодная зона, 7 — электрод

Вышеуказанные жидкости используются для получения смывов с образцов мяса с целью имитации работы убойного цеха мясокомбината в соответствии с ГОСТом 54354 — 2011.

Для количественного определения микроорганизмов в этих смывах применяли методику посева жидкого образца на плотные питательные среды. Перед этим производили серию последовательных разведений полученных растворов стерильной дистиллированной водой, что необходимо для получения концентрации микроорганизмов, которую можно точно определить после инкубации в течение трех дней в термостате при температуре 37–38°C. Для этого использовали питательную среду КМА-ФАНМ, предназначенную для установления общего микробного числа.

Фиксировался ряд физико-химических показателей воды.

Измерение значений окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) растворов производили при помощи портативного ОВП-метра (Thermo Scientific Elite ORP, США). Кислотность среды выявляли pH-метром той же фирмы. Показатель TDS (Total Dissolved Solids) фиксировали посредством TDS-метра/солемера марки (TDS-3, Китай), количество азотистых соединений измерялось при помощи фотометра (eXact Micro 20, США). Все измерения производились в трехкратной повторности.

Статистическая обработка результатов осуществляли посредством программного обеспечения Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. В результате микробиологического исследования биозагрузки и осадка системы биологической фильтрации было показано, что в обеих емкостях присутствуют бактерии первой и второй фаз нитрификации, что в совокупности со стабильной конверсией аммиака и нитритов свидетельствует о наличии активного микробиологического нитрифицирующего процесса (табл. 1).

Таблица 1

Результаты микробиологического анализа системы биологической фильтрации

Среда Виноградского	Система 1 (без обработки в электротехнологическом модуле), КОЕ/мл	Система 2 (с обработкой в электротехнологическом модуле), КОЕ/мл	Осадок биофильтра, КОЕ/мл	Роды бактерий, определенные в результате анализа
Первый этап нитрификации	$1,76 \times 10^5$	$4,5 \times 10^6$	$1,84 \times 10^5$	Nitrosomonas и Nitrosococcus
Второй этап нитрификации	$2,7 \times 10^4$	$7,6 \times 10^4$	$5,12 \times 10^5$	Nitrobacter

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что электролизная обработка воды, подаваемой в систему биологической фильтрации, позволяет значительно увеличить количество нитрифицирующих микроорганизмов обеих фаз нитрификации, что, в свою очередь, в перспективе повысит эффективность очистки оборотных вод в УЗВ.

Далее проводили исследование влияния жидкостей, полученных в результате работы электротехнологического модуля, на общее микробное число.

Перед получением смывов были измерены физико-химические показатели исходных растворов. Результаты отражены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели растворов перед замачиванием образцов мяса

Раствор/Показатели	NH_4^+ , мг/л	NO_2^- , мг/л	NO_3^- , мг/л	ОВП, мВ	TDS, ppm	pH	T, °C
Контроль (стерильная водопроводная вода)	0,0	0,0	$9,0 \pm 0,5$	$-25,5 \pm 0,4$	$270,0 \pm 1,5$	$7,2 \pm 0,2$	23,1
Анолит	0,0	0,0	$8,0 \pm 0,5$	$41,5 \pm 0,3$	$321,0 \pm 1,7$	$6,1 \pm 0,1$	22,7
Католит	0,0	0,0	$9,0 \pm 0,4$	$-68,2 \pm 0,4$	$279,0 \pm 1,4$	$8,2 \pm 0,1$	22,9
Анолит+католит	0,0	0,0	$8,0 \pm 0,5$	$-8,3 \pm 0,2$	$291,0 \pm 1,5$	$7,1 \pm 0,2$	22,5

После замачивания образцов мяса смывы оставляли на сутки. Повторно были измерены те же показатели, которые определялись перед обработкой. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели спустя сутки после замачивания образцов мяса

Раствор/Показатели	NH_4^+ , мг/л	NO_2^- , мг/л	NO_3^- , мг/л	ОВП, мВ	TDS, ppm	pH	T, °C
Контроль (водопроводная вода)	$1,4 \pm 0,08$	$0,2 \pm 0,01$	$12,5 \pm 0,4$	$-12,9 \pm 0,2$	$262,0 \pm 0,7$	$7,4 \pm 0,1$	19,7
Анолит	$0,4 \pm 0,05$	$0,1 \pm 0,01$	$10,0 \pm 0,5$	$3,8 \pm 0,4$	$327,0 \pm 0,4$	$6,9 \pm 0,2$	19,7
Католит	$0,8 \pm 0,02$	$0,1 \pm 0,01$	$8,0 \pm 0,3$	$-19,9 \pm 0,4$	$284,0 \pm 0,5$	$7,7 \pm 0,1$	19,6
Анолит+католит	$0,4 \pm 0,04$	0,0	$12,5 \pm 0,5$	$-8,1 \pm 0,3$	$285,0 \pm 0,5$	$7,3 \pm 0,1$	19,7

Как видно из приведенных данных, спустя сутки после замачивания мяса во всех смывах наблюдается повышение концентрации аммонийного азота, нитритов и нитрат-иона. При этом показатели кислотности и окислительно-восстановительного потенциала стремятся к нейтральным значениям. Однако следует отметить, что смыв на основе смеси католита и анолита показал самые низкие концентрации аммиака и нитритов. Эти соединения наиболее токсичны для объектов аквакультуры. О конверсии данных соединений свидетельствует наличие нитрат-иона, являющегося показателем конечной стадии разложения аммиака.

После проведения измерений из всех четырех смывов были отобраны образцы с целью определения количества микроорганизмов. Результаты после посева каждого из этих образцов на питательную среду КМАФАнМ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Обсемененность образцов растворов, обработанных посредством электролиза

Образец	Обсемененность, КОЕ/мл
Контроль (водопроводная вода)	$1,2 \cdot 10^9$
Анолит	$2,1 \cdot 10^4$
Католит	Сплошной рост по поверхности питательной среды
Смешанный раствор анолита и католита (1:1)	$3,1 \cdot 10^9$

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что католит и его смесь с анолитом способствуют увеличению количества микроорганизмов в растворе. Так, показано, что смешанный раствор повышает количество микроорганизмов на поверхности питательной среды спустя 72 часа после посева в 2,6 раза. В то же время анолит значительно снизил общее микробное число. Это можно объяснить тем, что в условиях слабокислой среды и высоких значений ОВП (окислительно-восстановительного потенциала) в клетках живых организмов происходит оксидативный стресс, приводящий зачастую к гибели бактерий. В то же время противоположный эффект наблюдался при воздействии католита. В этом случае определить количество микроорганизмов не представляется возможным из-за сплошного зарастания среды (рис. 3).

Исходя из полученных данных, в рамках будущего исследования планируется провести детальный анализ видового состава нитрифицирующих микроорганизмов в биофильтрах УЗВ, с применением как классических бактериальных посевов и различных методик окрашивания, так и современных методов метагеномного секвенирования [10]. На следующем этапе предполагается получить накопительные культуры идентифицированных микроорганизмов и экспериментально определить оптимальные параметры их жизнедеятельности (рН, температура, концентрация кислорода, уровень взвешенных частиц), с учетом специфики УЗВ нашей страны. Для этого планируется подготовить ряд модельных растворов азотистых соединений, в которые будет помещена биозагрузка с адсорбированными на ней микроорганизмами из накопительных культур. Следовательно, будет возможно более точно определить влияние показателей окружающей среды на выживаемость и активность сообщества нитрифицирующих бактерий. Впоследствии можно выделить культуры таких микроорганизмов, которые будут проявлять устойчивость к стрессовым воздействиям внешней среды. Полученные данные в перспективе могут стать основой для разработки отечественного микробного препарата, содержащего сбалансированный консорциум бактерий, адаптированных к условиям жизнедеятельности в УЗВ. Подобный препарат позволит облегчить и ускорить процесс запуска биофильтра и, при периодическом внесении, повысить устойчивость системы к факторам внешней среды.

Дополнительным решением во время работы биофильтра может стать внедрение описанного выше электротехнологического модуля. Как было показано нами в ходе исследования, данное устройство способно регулировать некоторые параметры воды (например, стабилизировать рН и количество соединений азота), создавая оптимальные условия для нитрифицирующего сообщества, а также при определенных режимах обработки повышает ОМЧ.

Кроме того, электролитическая обработка положительно влияет на жизнедеятельность микроорганизмов, что подтверждается и в [11]. Было показано, что периодическая обработка анаэробного активного ила и продукты электролизных реакций положительно влияли на уровень метаногенеза. В этом случае наблюдалось повышение выхода биогаза и рост общего количества микроорганизмов. К тому же растворы, обработанные при помощи электротехнологического модуля, могут оказывать стимулирующее влияние не только на бактерии, но и на прочие виды живых организмов, что свидетельствует об их явном биологическом эффекте [12]. Например, такие растворы используются для профилактики и лечения диспепсии, абомазоэнтеритов и бронхопневмоний у телят, гастроэнтеритов, токсической гепатодистрофии у поросят, гастроэнтеритов и мочекаменной болезни у собак и кошек.

В условиях работы установки замкнутого водоснабжения возможна реализация лишь проточного варианта электротехнологического модуля, который будет встроен в контур циркулирующей жидкости (рис. 4).



Рис. 3. Влияние католита на общее микробное число при посеве на питательную среду КМАФАнМ

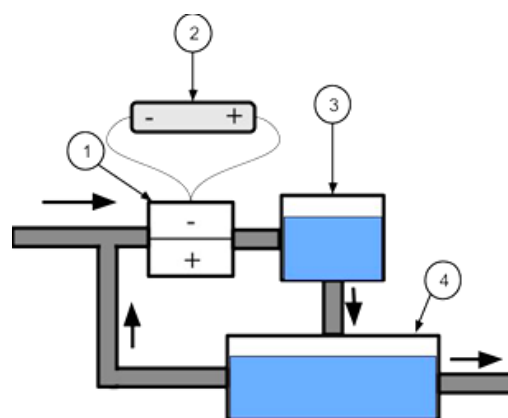


Рис. 4. Принципиальная схема внедрения электротехнологического модуля в УЗВ: 1 — электротехнологический модуль, 2 — источник тока, 3 — биофильтр, 4 — рыбоводная емкость

При этом данная конфигурация является наиболее благоприятной, т.к. происходит равномерное смешение растворов из анодной и катодной зон, что, исходя из вышеописанных результатов, контролируемо повышает количество нитрифицирующих микроорганизмов в биофильтре при условии соблюдения необходимых для их жизнедеятельности показателей среды.

Так, комбинация микробного препарата и применения электротехнологического модуля в перспективе может снизить зависимость биофильтра от внешних факторов и повысить эффективность очистки оборотных вод УЗВ, что критически важно для увеличения плотности посадки и сокращения производственного цикла в условиях индустриальной аквакультуры.

Заключение. Проведенный анализ актуализирует разработки научно обоснованных подходов к биологической очистке воды в установках замкнутого водоснабжения. Изучение литературных данных выявило ключевые проблемы, связанные с недостаточным исследованием микробных сообществ биофильтров, их видовой структуры, а также адаптации к условиям УЗВ. Установлено, что без внесения дополнительных бактериальных культур в биофильтр процесс нитрификации осуществляют бактерии родов *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. Предложенный комплексный подход, включающий идентификацию и выделение отдельных родов нитрифицирующих микроорганизмов, экспериментальное определение оптимальных параметров среды и разработку отечественных микробных препаратов, направлен на повышение эффективности биофильтрации. Важным дополнением является внедрение в контур установки замкнутого водоснабжения электротехнологических модулей, способных стабилизировать критические показатели воды (рН, уровень кислорода), что усилит устойчивость системы к внешним факторам. Реализация данных решений позволит ускорить запуск биофильтров и, соответственно, повысить количество выращиваемой рыбы, а также сократить производственный цикл, что соответствует целям Государственной программы

«Аграрный бизнес». Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение видового состава микробных консорциумов в УЗВ, оптимизацию режимов работы электротехнологических модулей и реализацию разработанных методик в промышленных условиях.

Работа выполнена в рамках отдельного проекта научно-исследовательских работ, финансируемого Министерством образования Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеец, В.Ю. Потребление рыбы в Беларуси и перспективы ее производства / В.Ю. Агеец, Г.И. Корнеева // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. — 2017. — № 1(33). — С. 23–31.
2. Ярмош, В.В. Методика морфометрических исследований рыбохозяйственных показателей клариевого сома (*Clarias gariepinus*) / В.В. Ярмош, А.В. Козырь // Вестник Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. — 2022. — № 2. — С. 74–81.
3. Козырь, А.В. Рыбоводно-технологическая оценка установок замкнутого водоснабжения и пути повышения их ресурсоэффективности / А.В. Козырь // Вестник Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. — 2022. — № 1. — С. 55–65.
4. Козырь, А.В. Определение факторов, влияющих на систему биологической фильтрации в индустриальной аквакультуре, и методы повышения ее эффективности / А.В. Козырь // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. — 2022. — Вып. 38. — С. 167–182.
5. Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculating aquaculture systems / D.D. Kuhn, D.D. Drahos, L. Marsh, G.J. Flick // Aquacultural Engineering. — 2010. — Vol. 43, № 2. — P. 78–82. — DOI: 10.1016/j.aquaeng.2010.07.001.
6. Bartelme, R.P. Freshwater Recirculating Aquaculture System Operations Drive Biofilter Bacterial Community Shifts around a Stable Nitrifying Consortium of Ammonia-Oxidizing Archaea and Comammox Nitrospira / R.P. Bartelme, S.L. McLellan, R.J. Newton // Frontiers in Microbiology. — 2017. — Vol. 8. — P. 101. — DOI: 10.3389/fmicb.2017.00101.
7. Relevance and Diversity of Nitrospira Populations in Biofilters of Brackish RAS / M. Kruse, S. Keuter, E. Bakker [et al.] // PLOS One. — 2013. — Vol. 8, № 5. — e64737. — DOI: 10.1371/journal.pone.0064737.
8. Taxonomic and functional profiling of nitrifying biofilms in freshwater, brackish and marine RAS biofilters / J. Hüpeden, B. Wemheuer, D. Indenbirken [et al.] // Aquacultural Engineering. — 2020. — Vol. 90. — 102094. — DOI: 10.1016/j.aquaeng.2020.102094.
9. Complete nitrification by Nitrospira bacteria / H. Daims, E. Lebedeva, P. Pjevac [et al.] // Nature. — 2015. — Vol. 528. — P. 504–509. — DOI: 10.1038/nature16461.
10. Идентификация нитрифицирующих бактерий / Н.И. Кириллова [и др.] // Ветеринарный врач. — 2021. — № 6. — С. 1–6.
11. Анаэробное сбраживание птичьего помета с инокулятом активного ила в комбинации с электролизной обработкой / Е.Ю. Черныш [и др.] // Проблемы региональной энергетики. — 2022. — № 2(54). — С. 101–113.
12. Электрохимически активированные растворы в животноводстве / А.А. Белко [и др.] // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». — Витебск, 2015. — Т. 51, вып. 2. — С. 16–19.

REFERENCES

1. Ageyets V.Yu., Korneyeva G.I. *Voprosy rybnogo khoziaistva Belarusi* [Issues of Fishing Industry in Belarus], 2017, 1(33), pp. 23–31.
2. Yarmosh V.V., Kozyr A.V. *Vesnik Paleskaga dziazhaunaga universiteta. Pryrodaznauchiya navuki* [Journal of Paleski State University. Nature Sciences], 2022, 2, pp. 74–81.
3. Kozyr A.V. *Vesnik Paleskaga dziazhaunaga universiteta. Pryrodaznauchiya navuki* [Journal of Paleski State University. Nature Sciences], 2022, 1, pp. 55–65.
4. Kozyr A.V. *Voprosy rybnogo khoziaistva Belarusi* [Issues of Fishing Industry in Belarus], 2022, 38, pp. 167–182.
5. Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculating aquaculture systems / D.D. Kuhn, D.D. Drahos, L. Marsh, G.J. Flick // Aquacultural Engineering. — 2010. — Vol. 43, № 2. — P. 78–82. — DOI: 10.1016/j.aquaeng.2010.07.001.
6. Bartelme, R.P. Freshwater Recirculating Aquaculture System Operations Drive Biofilter Bacterial Community Shifts around a Stable Nitrifying Consortium of Ammonia-Oxidizing Archaea and Comammox Nitrospira / R.P. Bartelme, S.L. McLellan, R.J. Newton // Frontiers in Microbiology. — 2017. — Vol. 8. — P. 101. — DOI: 10.3389/fmicb.2017.00101.
7. Relevance and Diversity of Nitrospira Populations in Biofilters of Brackish RAS / M. Kruse, S. Keuter, E. Bakker [et al.] // PLOS One. — 2013. — Vol. 8, № 5. — e64737. — DOI: 10.1371/journal.pone.0064737.
8. Taxonomic and functional profiling of nitrifying biofilms in freshwater, brackish and marine RAS biofilters / J. Hüpeden, B. Wemheuer, D. Indenbirken [et al.] // Aquacultural Engineering. — 2020. — Vol. 90. — 102094. — DOI: 10.1016/j.aquaeng.2020.102094.
9. Complete nitrification by Nitrospira bacteria / H. Daims, E. Lebedeva, P. Pjevac [et al.] // Nature. — 2015. — Vol. 528. — P. 504–509. — DOI: 10.1038/nature16461.
10. Kirillova N.I. *Veterinarny vrach* [Veterinary Surgeon], 2021, 6, pp. 1–6.
11. Chernysh E.Yu. *Problemy regionalnoi energetiki* [Issues of Regional Energy industry], 2022, 2(54), pp. 101–113.
12. Belko A.A. *Ucheniye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya ordena Znak Pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny"* [Scientific Notes of Vitebsk State Order of Sign of Honor State Academy of Veterinary Medicine], Vitebsk, 2015, 51(2), pp. 16–19.

Поступила в редакцию 10.10.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: lesa.shikunets@gmail.com — Шикунец А.Б.

АССОЦИАЦИЯ ГЕНОТИПА ПО ЛОКУСУ RS2228570 ГЕНА VDR С РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬЮ КОРРИГИРУЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ИДИОПАТИЧЕСКОМ СКОЛИОЗЕ У ДЕТЕЙ

Е.В. Белая

Учреждение образования «Белорусский государственный
педагогический университет имени Максима Танка»

Актуальность работы обусловлена тем, что эффективность терапии сколиоза сильно варьируется. Изучение роли генетических факторов в модуляции ответа на лечение является современным и перспективным направлением.

Цель исследования — оценить влияние полиморфизма гена рецептора витамина D (VDR) rs2228570 на эффективность консервативного лечения идиопатического сколиоза у детей.

Материал и методы. Выборку составили 34 ребенка в возрасте 9–15 лет с идиопатическим сколиозом. Все пациенты проходили стандартное корригирующее лечение. Методом ПЦР определяли генотипы по локусу VDR rs2228570. Эффективность лечения оценивали с помощью компьютерно-оптической топографии (динамика угловых параметров деформации позвоночника и положения таза) и функциональных проб на силовую выносливость мышц спины и брюшного пресса до и после курса терапии.

Результаты и их обсуждение. Выявлены межгрупповые различия в ответе на лечение в зависимости от генотипа. Наименее благоприятная динамика наблюдалась у носителей генотипа AA (как у девочек, так и у мальчиков). Наиболее благоприятный ответ на лечение зарегистрирован у девочек с генотипом GG и у мальчиков с генотипами AG и GG.

Заключение. Полиморфизм гена VDR rs2228570 ассоциирован с эффективностью консервативной коррекции идиопатического сколиоза у детей. Генотип AA является потенциальным маркером риска низкой эффективности стандартной терапии, что требует разработки для таких пациентов более интенсивных или персонализированных программ реабилитации.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, витамин D, рецептор витамина D (VDR), rs2228570, консервативное лечение, корригирующие мероприятия, персонализированная медицина.

GENOTYPE ASSOCIATION OF LOCUS RS2228570 GENE VDR WITH THE EFFECTIVENESS OF CORRECTIVE EVENTS OF CHILDREN WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS

E.V. Belaya

Education Establishment “Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University”

The relevance of the paper is due to the greatly varying efficiency of scoliosis therapy. The study of the role of genetic factors in the modulation of the response to therapy is a contemporary and prospective trend.

The research purpose is to assess the impact of the polymorphism of the gene receptor of vitamin D (VDR) rs2228570 on the efficiency of conservative therapy of children idiopathic scoliosis.

Material and methods. The sampling was made up by 34 nine to fifteen year-old children with idiopathic scoliosis. All the patients underwent standard corrective therapy. Genotypes of VDR rs2228570 locus were identified by PCR method. The therapy efficiency was identified with the help of computer optic topography (dynamics of angle parameters of spine deformation and pelvis position) and functional tests of back muscle and abdominals strength endurance before and after therapy.

Findings and their discussion. Intergroup differences were found out in the response to the therapy depending on the genotype. The least favorable dynamics was observed in genotype AA bearers (both girls and boys). The most favorable response to the therapy was registered in genotype GG girls and genotypes AG and GG boys.

Conclusion. Polymorphism of VDR rs2228570 gene is associated with the efficiency of conservative correction of children idiopathic scoliosis. AA genotype is a potential marker of the low efficiency risk of standard therapy which requires the development of more intensive or personalized programs of rehabilitation for such patients.

Key words: idiopathic scoliosis, vitamin D, vitamin D (VDR) receptor, rs2228570, conservative therapy, corrective measures, personalized medicine.

Идиопатический сколиоз представляет собой одну из наиболее распространенных ортопедических патологий у детей и подростков, которая характеризуется сложной трехплоскостной деформацией позвоночника [1]. Несмотря на применение стандартных протоколов консервативного лечения, включая лечебную физкультуру, корсетирование и физиотерапию, эффективность коррекции значительно варьируется среди пациентов. Это указывает на важную роль индивидуальных особенностей организма, среди которых все большее внимание уделяется генетической предрасположенности.

Одним из ключевых элементов, связывающих генетику и костный метаболизм, является рецептор витамина D (VDR). Витамин D играет важную роль в регуляции кальций-фосфорного обмена, минерализации костной ткани и функционировании мышечной системы [2]. Полиморфизм гена рецептора витамина D rs2228570 обусловлен заменой нуклеотидов G→A в стартовом кодоне, приводящей к замене метионина на треонин (Met1/Thr), что влияет на функциональную активность рецептора. Аллель G кодирует метионин (полноразмерный, более активный белок), в то время как аллель A ассоциирован с образованием укороченного и менее функционального рецептора [3]. Это может влиять на индивидуальную чувствительность к витамину D и, как следствие, на процессы костного ремоделирования и мышечного тонуса, что особенно важно в контексте прогрессирования сколиоза.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью поиска надежных генетических маркеров, которые позволили бы прогнозировать эффективность стандартного лечения сколиоза у детей. Персонализация реабилитационных программ на основе генетического профиля пациента могла бы стать новым шагом в повышении эффективности ортопедической помощи.

Новизна работы заключается в комплексной оценке влияния конкретного полиморфного варианта гена VDR (rs2228570) не только на риск развития сколиоза, но и на динамику ключевых клинико-функциональных параметров (угловых деформаций и мышечной выносливости) на фоне применения стандартных корректирующих методик. Практическая значимость полученных результатов состоит в потенциальной возможности использования генетического тестирования для стратификации пациентов на группы риска по низкой эффективности стандартной терапии. Это может служить обоснованием для назначения детям с неблагоприятным генотипом AA более интенсивной или персонализированной программы реабилитации (коррекция доз витамина D, индивидуальный подбор комплексов ЛФК, более раннее подключение корсетирования) [4].

Сегодня накоплены данные о связи аллеля A и генотипа AA гена VDR с повышенным риском развития остеопороза, низкой минеральной плотностью костной ткани и риском переломов [5; 6]. Исследования, проведенные нами ранее, выявили ассоциацию данного аллеля с повышенным риском развития сколиотической деформации у школьников [4]. Однако работ, посвященных изучению влияния полиморфизмов гена VDR непосредственно на эффективность консервативного лечения идиопатического сколиоза у детей, в доступной литературе недостаточно. Таким образом, настоящая статья направлена на восполнение этого пробела и предоставляет новые данные о взаимосвязи генотипа по локусу VDR rs2228570 с результативностью корректирующих мероприятий.

Цель исследования — анализ характера течения идиопатического сколиоза у детей с разными генотипами по полиморфным вариантам гена VDR rs2228570 на фоне стандартных методик коррекции.

Материал и методы. Выборку составили 23 девочки и 11 мальчиков в возрасте от 9 до 15 лет, страдающих сколиозом и проходивших лечение с применением стандартных методик коррекции в ГУО «Санаторная школа-интернат № 9 г. Минска для детей с заболеваниями костно-мышечной системы и соединительной ткани» в течение 2023/2024 учебного года [7]. Все участники включены в исследование на основании информированного согласия официальных представителей несовершеннолетних. Все этические требования соблюдены.

Сбор образцов буккального соскоба для исследования, получение информированного согласия, анкетирование, сбор информации из медицинских документов и обработка полученных результатов осуществлялись сотрудниками БГПУ имени Максима Танка (г. Минск).

Выделение ДНК и идентификация генотипов участников выполнены в лаборатории генетики человека ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси».

Выделение ДНК проводили с помощью набора реагентов производства компании «Литех».

ДНК-типирование выполнено с применением набора реагентов для определения полиморфизма Met1/Thr гена *VDR* NP-473-100 (Научно-производственная компания «Синтол»).

Результативность коррекции деформации позвоночника анализировалась по таким параметрам, как отклонение от вертикали С7 относ. вершины поясничного лордоза (далее ОВПЛ С7), отклонение вертикали вершины кифоза (далее ОВВК), относ. крестца S3 (далее ОК S3), наклон таза (далее НТа) относительно вертикали кпереди, наклон туловища относительно вертикали кпереди (далее НТу) на основании результатов компьютерно-оптической топографии (КОМОТ). Результативность укрепления мышц спины и брюшного пресса оценивали посредством функциональных проб силовой выносливости мышц спины (ФПМС) и брюшного пресса (ФБП) [7; 8]. Обследование проводили в начале и конце 2023/2024 учебного года.

Данные, приведенные в табл., размещенной в разделе «Результаты и их обсуждение», являются разницей между окончательным и начальным результатом обследования. Таким образом, отрицательные значения свидетельствуют о снижении показателя на фоне коррекции.

Для групп детей с разными генотипами определены средние значения \pm SEM. С целью оценки взаимосвязи генотипа с результативностью лечения были рассчитаны η^2 (эта-квадрат) и *p*-value, а также выполнено попарное сравнение генотипов (U-тест с поправкой Бонферрони). Эта-квадрат (η^2) показывает силу эффекта, то есть насколько сильно генотип влияет на вариативность показателя ФП спины. Согласно общепринятым критериям, $\eta^2 > 0,14$ считается большим эффектом, что означает сильное влияние генотипа на данный параметр.

Результаты и их обсуждение. Результаты корректирующих мероприятий у детей с разными генотипами по полиморфизму гена *VDR* rs10735810/rs2228570 отражены в табл. Отрицательные значения в ней означают улучшение показателей (уменьшение отклонения позвоночника, наклона таза и туловища (в град., °). Положительные значения — ухудшение (усиление деформации). Для показателей ФПМС и ФБП чем выше значение, тем лучше результат (увеличение силы и выносливости).

Таблица

Динамика основных параметров деформации позвоночника у детей с разными генотипами по полиморфизму гена *VDR* rs2228570 на фоне корректирующих мероприятий

Пол	Девочки			Мальчики		
Генотип	AA	AG	GG	AA	AG	GG
n	6	10	7	5	2	4
%	26,1	43,5	30,4	45,5	18,2	36,4
ОВПЛ С7	0,3 \pm 1,0	-0,6 \pm 0,7	-0,5 \pm 0,5	-0,3 \pm 1,06	-2,2 \pm 0,7	-2,7 \pm 0,7
ОВВК	0,4 \pm 1,0	-0,2 \pm 0,6	-0,9 \pm 1,3	-0,7 \pm 0,7	-4,4 \pm 0,1	-2,6 \pm 1,0
НТа	3,1 \pm 5,1	1,3 \pm 1,0	0,4 \pm 1,6	-0,5 \pm 1,9	-4,05 \pm 0,1	1,30 \pm 1,0
НТу	0,35 \pm 0,7	-0,4 \pm 0,7	-0,7 \pm 0,7	-0,2 \pm 0,5	-3,1 \pm 0,2	-2,6 \pm 0,9
ФПМС* (время удержания, с)	11,7 \pm 6,7	21,6 \pm 8,1*	16,6 \pm 7,1*	13,8 \pm 12,9	38,0 \pm 35,0	22,2 \pm 5,8
ФБП (n движений/мин)	11,3 \pm 3,8	14,3 \pm 1,5	19,8 \pm 13,4	3,4 \pm 3,9	10,0 \pm 5,0	9,5 \pm 6,2

*Установлены статистически значимые различия среди девочек с генотипами A/A, A/G и G/G для показателя ФПМС (функциональных проб силовой выносливости мышц спины): $\eta^2 = 0,270$, *p*-value = 0,038. Попарные сравнения (U-тест с поправкой Бонферрони) продемонстрировали, что обнаруженные различия специфичны для групп A/G и G/G (*p* = 0,048). Таким образом, носители гетерозиготного генотипа A/G имеют достоверно более высокие значения ФП спины по сравнению с носителями гомозиготного генотипа G/G.

Результаты табл. демонстрируют выраженные и клинически важные различия в динамике показателей между группами с разными генотипами как у девочек, так и у мальчиков.

Анализ эффективности коррекции в группах девочек с разными генотипами позволяет рассматривать генотип AA как наименее благоприятный. Так, у девочек с генотипом AA улучшение отсутствует практически по всем показателям. По показателям отклонение от вертикали C7 относ. вершины поясничного лордоза и отклонение вертикали вершины кифоза можно отметить незначительное ухудшение (динамика ОВПЛ C7 составляет $0,3 \pm 1,0$, динамика ОБВК $0,4 \pm 1,0$). Также в этой группе детей в среднем имеет место увеличение наклона таза (НТа $+3,1^\circ$), что соответствует негативной динамике, и очень скромный прирост силы мышц спины (динамика ФПМС составляет 11,7 с) и брюшного пресса (динамика ФПБП $+11,3 \pm 3,8$ движений/мин).

У девочек с генотипом AG наблюдается умеренное улучшение по всем угловым параметрам (отрицательные значения). Самый значительный прирост силы мышц спины (ФПМС: $+21,6$ сек) среди девочек этой группы.

Наиболее благоприятным по прогнозу лечения является генотип GG. Девочки этой группы показали наибольшее улучшение по ключевым параметрам: уменьшение дуги искривления (ОБВК: $-0,9^\circ$) и наклона туловища (НТу: $-0,7^\circ$), значительное улучшение выносливости мышц брюшного пресса (ФПБП: $+19,8$ движ/мин).

У мальчиков ассоциация генотипа с ответом на лечение выражена сильнее.

В частности, у мальчиков генотипы AG и GG можно рассматривать в качестве благополучных. У мальчиков с генотипом AG наблюдается выраженное улучшение по всем без исключения параметрам: резкое уменьшение искривлений (ОВПЛ C7: $-2,2^\circ$, ОБВК: $-4,4^\circ$), коррекция наклона таза и туловища (НТа: $-4,05^\circ$, НТу: $-3,1^\circ$), увеличение силы и выносливости мышц (ФПМС: $+38,0$ сек, ФПБП: $+10,0$ движ/мин). Однако необходимо учитывать, что данную группу исследования составило всего 2 человека ($n=2$), поэтому полученные данные являются репрезентативными для всей популяции. Требуется увеличение выборки для подтверждения.

Генотип GG также можно рассматривать как благоприятный. В этой группе детей наблюдается значительное улучшение угловых параметров (ОВПЛ C7: $-2,7^\circ$) и мышечной выносливости (ФПМС: 22,2 сек, ФПБП: $+9,5$ движ/мин).

Генотип AA у мальчиков, как и у девочек, является наименее благоприятным. Так, у мальчиков с генотипом A/A динамика улучшения практически по всем параметрам минимальна: значения близки к нулю, а по параметру наклона таза динамика негативна (НТа: $-0,5^\circ$).

Полученные нами данные согласуются с результатами других исследовательских групп, относительно ассоциации аллеля A и генотипа AA с повышенными рисками остеопороза и переломов [1; 5], а также с собственными более ранними результатами об ассоциации этого аллеля и генотипа с повышенным риском развития сколиоза у детей и подростков [4].

С учетом того, что аллель G кодирует полноразмерный, более активный рецептор, а аллель A кодирует белок с меньшей доступностью для взаимодействия с витамином D, генотипы можно ранжировать по активности VDR, как GG — высокая активность, AG — умеренная активность, AA — низкая активность. При генотипе AA (низкая активность VDR) имеет место недостаточная чувствительность к витамину D, приводящая к ослаблению ответа на коррекцию (как у девочек, так и у мальчиков). В таком случае детям с генотипом AA может требоваться интенсивная терапия (расширение программы ЛФК, ее систематическое применение (организованные и самостоятельные формы занятий), корсетирование, контроль витамина D). AG-мальчики и GG-девочки лучше отвечают на стандартное лечение.

Заключение. Полученные данные указывают на потенциально важную роль полиморфизма гена VDR rs2228570 в модуляции ответа на консервативную терапию идиопатического сколиоза у детей, что обуславливает целесообразность персонализации программ реабилитации на основе генетического тестирования.

Так, генотип GG гена VDR, по-видимому, способствует лучшему ответу на лечение, возможно, из-за влияния на метаболизм витамина D и костный гомеостаз. Для носителей генотипа GG (у девочек) и AG, GG (у мальчиков) стандартное корректирующее лечение, вероятно, будет эффективным. Организм положительно реагирует на нагрузку, что приводит к коррекции деформации и укреплению мышечного корсета.

Генотип АА, вероятно, связан с меньшей чувствительностью к терапии, что согласуется с данными о роли VDR в минерализации костей. Носители генотипа АА в этом случае будут менее восприимчивы к стандартным корректирующим мероприятиям. Таким детям может потребоваться более интенсивная, продолжительная и/или индивидуально подобранная терапия, а также более частый контроль для достижения значимых результатов.

Несомненно, проведенное исследование является пилотным и требует продолжения с увеличением размера выборки для получения статистически достоверных результатов по всем подгруппам и параметрам. И хотя решение о тактике лечения с учетом всех факторов — степени сколиоза, возраста ребенка, данных рентгенографии и других обследований — должен принимать врач-ортопед, генетический тест может стать полезным дополнительным инструментом для персонализации терапии и формирования реалистичных ожиданий от ее результатов.

Исследование выполнено в рамках реализации НИР «Генетическая оценка рисков развития нарушений осанки у детей и подростков для создания здоровьесберегающей образовательной среды» (№ ГР20211257).

ЛИТЕРАТУРА

1. Генетические маркеры идиопатического и врожденного сколиозов и диагноз предрасположенности к заболеванию: обзор литературы / С.Б. Кузнецов, М.В. Михайловский, М.А. Садовой [и др.] // Хирургия позвоночника. — 2015. — Т. 12, № 1. — С. 27–35.
2. Haussler, M.R. Molecular mechanisms of vitamin D action / M.R. Haussler, G.K. Whitfield, I. Kaneko // Calcified Tissue International. — 2013. — Vol. 92, № 2. — P. 77–98.
3. Genetics and biology of vitamin D receptor polymorphisms / A.G. Uitterlinden, Y. Fang, J.B. Van Meurs [et al.] // Gene. — 2004. — Vol. 338, № 2. — P. 143–156.
4. Ассоциация полиморфных вариантов генов VDR и CALCR с риском развития сколиотической деформации позвоночника у детей школьного возраста / Е.В. Белая, М.Д. Амелянович, Н.Г. Соловьева [и др.] // Весті БДПУ. — 2025. — № 1(3). — С. 18–24.
5. Разработка генетической модели прогнозирования риска остеопоротических переломов у женщин / П.М. Морозик, Э.В. Руденко, Е.В. Кобец [и др.] // Остеопороз и остеопатия. — 2022. — Т. 25, № 3. — С. 84–85.
6. Valdivielso, J.M. Vitamin D receptor polymorphisms and diseases / J.M. Valdivielso & E. Fernandez // Clinica Chimica Acta. — 2006. — Vol. 371, № 1–2. — P. 1–12.
7. Государственное учреждение образования «Санаторная школа-интернат № 9 г. Минска для детей с заболеваниями костно-мышечной системы и соединительной ткани»: [сайт]. — Минск, 2011–2024. — URL: <http://schi9.minsk.edu.by> (дата обращения: 04.08.2025).
8. Кашин, А.Д. Сколиоз и нарушение осанки: лечебная физкультура в системе медицинской реабилитации: учеб.-метод. пособие для врачей и инструкторов лечеб. физкультуры / А.Д. Кашин. — Изд. 2-е. — Минск: НМЦентр, 2000. — 240 с.
9. Тихонова, В.И. Лечебная физическая культура: учеб.-метод. пособие: в 2 ч. / В.И. Тихонова; Белорус. гос. пед. ун-т. — 2-е изд., испр. и доп. — Минск, 2011. — Ч. 1: ЛФК в клинике внутренних болезней. — 168 с.

REFERENCES

1. Kuznetsov S.B., Mikhaylovskiy M.V., Sadovoy M.A. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine Surgery], 2015, 1, pp. 27–35.
2. Haussler, M.R. Molecular mechanisms of vitamin D action / M.R. Haussler, G.K. Whitfield, I. Kaneko // Calcified Tissue International. — 2013. — Vol. 92, № 2. — P. 77–98.
3. Genetics and biology of vitamin D receptor polymorphisms / A.G. Uitterlinden, Y. Fang, J.B. Van Meurs [et al.] // Gene. — 2004. — Vol. 338, № 2. — P. 143–156.
4. Belaya Ye.V., Amelyanovich M.D., Solovyeva N.G. *Vesti BDPU* [Journal of BSPU], 2025, 1(3), pp. 18–24.
5. Morozik P.M., Rudenko E.V., Kobets Ye.V. *Osteoporoz i osteopatiya* [Osteoporosis and Osteopathy], 2022, 25(3), pp. 84–85.
6. Valdivielso, J.M. Vitamin D receptor polymorphisms and diseases / J.M. Valdivielso & E. Fernandez // Clinica Chimica Acta. — 2006. — Vol. 371, № 1–2. — P. 1–12.
7. *Gosudarstvennoye uchrezhdeniye obrazovaniya "Sanatornaya shkola-internat № 9 g. Minska dlya detey s zabolevaniyami kostno-myshechnoy sistemy i soyedinitelnoy tkani"* [State Education Establishment "Sanatorium Boarding School № 9 of the City of Minsk for Children with the Bone and Muscle System and Connective Tissue Diseases"], Minsk, 2011–2024. — URL: <http://schi9.minsk.edu.by> (Accessed: 04.08.2025).
8. Kashin A.D. *Skolios i narusheniye osanki: lechebnaya fizkultura v sisteme meditsinskoy reabilitatsii: ucheb.-metod. posobiye dlya vrachey i instruktorov lecheb. fizkultury* [Scoliosis and Poor Posture: Therapeutic Exercise in the System of Medical Rehabilitation: Manual for Physicians and Physiotherapy Instructor], Minsk: NMTsentr, 2000, 240 p.
9. Tikhonova V.I. *Lechebnaya fizicheskaya kultura: ucheb.-metod. posobiye: v 2 ch.* [Physiotherapy: Manual], Minsk, 2011, 1, 168 p.

Поступила в редакцию 30.09.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: kolyuchka005@rambler.ru — Белая Е.В.

УДК 581.93:581.526.3:556.53:556.55

ОЦЕНКА СХОДСТВА ВИДОВОГО СОСТАВА И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПАРЦИАЛЬНЫХ ФЛОР РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПУХОВИЧСКОЙ РАВНИНЫ

К.Л. Савицкая

Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники
имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Закономерности дифференциации разнообразия водных и околоводных растений по различным категориям водных объектов в Беларуси не установлены.

Цель работы — определить степень сходства видового состава и структуры флор разнотипных водоемов и водотоков Пуховичской равнины.

Материал и методы. Анализовались видовые перечни растений 246 водных объектов 7 типов, полученные с применением метода сеточного картирования. Для оценки сходства парциальных флор использовался индекс Брея — Кёртиса, выполнялся кластерный анализ по алгоритму UPGMA в программе Past.

Результаты и их обсуждение. В реках равнины выявлено 153 вида растений (включая 5 гибридов), речных прудах — 142 (6), мелиоративных каналах — 142 (3), водохранилищах — 136 (1), озерах — 104 (1), обводненных карьерах — 94, прудах-копанях — 85 (3). Степень связи видов с определенным(и) типом(ами) водных объектов убывает в ряду: гидрофиты (погруженные укореняющиеся — погруженные неукореняющиеся — укореняющиеся с плавающими на поверхности воды листьями — свободно плавающие на поверхности воды) — гелофиты — гигрогелофиты — гигрофиты. Гидрофиты и прибрежно-водные растения по количеству видов одинаково представлены в речной и канальной сетях, включая пруды (в пропорции гидро-, гело- и гигрогелофиты — 3:1:2), в остальных водоемах прибрежно-водные растения преобладают (2:1:2).

Заключение. Видовое разнообразие водных и околоводных растений равнины уменьшается со снижением степени точности водных объектов и их сообщения с речной сетью. Разнотипные водные объекты, особенно реки и мелиоративные каналы, характеризуются высоким сходством парциальных флор, а также структуры трофо-, гелио-, гало- и ацидоморф. Наиболее отличаются от других водных объектов, но неспецифичны по видовому составу растений пруды-копани и карьеры. По мере ослабления зависимости видов от водной среды повышается число типов водных объектов, в которых они могут произрастать.

Ключевые слова: гидрофиты, флора водоемов и водотоков, экологические группы растений, индекс Брея — Кёртиса, дендрограммы.

COMPARISON OF SPECIES COMPOSITION AND ECOLOGICAL STRUCTURE OF PARCIAL FLORAS OF DIFFERENT TYPES OF WATER BODIES WITHIN THE PUKHOVICHY PLAIN

K.L. Savitskaya

State Scientific Institution "V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany
of the National Academy of Sciences of Belarus"

The patterns of differentiation of the diversity of aquatic and near-water plants in various categories of water bodies in Belarus have not been established.

The aim of the work is to determine the degree of similarity of the species composition and structure of floras of different types of waterbodies and watercourses within the Pukhovichy Plain.

Material and methods. Species lists of plants from 246 water bodies of 7 types were obtained using the grid mapping method. To assess the similarity of partial floras, the Bray — Curtis index was used, and cluster analysis was performed using Past UPGMA algorithm.

Findings and their discussion. The species composition of the flora of water bodies in the region under study was identified: rivers — 153 plant species (including 5 hybrids), river ponds — 142 (6), drainage canals — 142 (3), reservoirs — 136 (1), lakes — 104 (1), flooded quarries — 94, and excavation ponds — 85 (3). The degree of species association with a particular type(s) of water bodies decreases in order: hydrophytes (submerged rooting — submerged non-rooting — rooting with leaves floating on the surface of the water — freely floating on the surface of the water) — helophytes — hygrophelophytes — hygrophytes. Hydrophytes and riparian plants are equally represented in the number of species in river and canal networks, including ponds (in the proportion of hydro-, helo- and hygrophelophytes — 3:1:2); riparian plants predominate (2:1:2) in other types of waterbodies.

Conclusion. The species diversity of aquatic and near-water plants of the Plain decreases with a decrease in the degree of flow of water bodies and their connection with the river network. Different types of water bodies, especially rivers and drainage canals, are characterized by high similarity of partial floras, as well as the structure of tropho-, helio-, halo- and acidomorphs. The most different from other water bodies, but non-specific in terms of plant species composition, are excavation ponds and quarries. As species become less dependent on aquatic environments, the number of types of water bodies in which they can grow increases.

Key words: hydrophytes, flora of waterbodies and watercourses, ecological groups of plants, Bray — Curtis index, dendrograms.

Из-за недостаточной изученности водной флоры Беларуси остается открытым вопрос о закономерностях дифференциации разнообразия водных и околоводных растений по различным категориям водных объектов. При этом на сопредельных территориях проводился разносторонний сравнительный анализ флор многих типов водоемов и водотоков. Отмечалось обеднение флор водных объектов в направлении от долин к водоразделам [1], а также искусственных водных объектов по сравнению с естественными, уменьшение специфичности парциальных флор (выраженной в количестве и проценте видов, не встречающихся в других типах водных объектов и определяемой, в основном, редко встречающимися видами) по мере убывания видового богатства водоемов и водотоков [2] и т.д. Водные объекты разных регионов (речных бассейнов) располагались в порядке снижения разнообразия водных и околоводных растений в различной последовательности: старицы, реки и речные пруды, торфяные карьеры [1], водохранилища, водотоки (в цитируемой работе это, в основном, реки) и озера, пруды (преимущественно, речные, но также пруды-копани), или, если принималась во внимание только водная флора, — озера, водотоки, старицы, водохранилища, пруды [2]; озера, пруды и малые водохранилища, реки [3], в пределах городов — пойменные озера, обводненные карьеры, притоки крупных рек и их устьевые области, дренажные каналы и канавы, речные пруды и копани [4]. Причем флора прудов иногда рассматривается в качестве обедненной флоры водохранилищ с постоянным уровнем воды, отличаясь самой низкой долей редких видов, гибридов и гидрофитов [2]. Замечено, что количество видов в старичных и пойменных озерах в несколько раз превышает таковое в суффузионных [3].

Среди водных объектов с максимальным сходством флор — реки и пруды, а также пруды и старицы [1]. В категории малых искусственных (трансформированных) водоемов низким сходством флор отличались карьеры и речные пруды, а также карьеры и пруды-копани [5]. Согласно другим исследованиям, наиболее высокий коэффициент сходства присущ флорам стариц и водораздельных озер, низкий — водотоков и прудов, водохранилищ и прудов [2]. В городах разнотипные водные объекты характеризовались низким сходством видового состава, которое убывало от прудов и мелиоративных каналов до карьеров и стариц, а также рек и карьеров, каналов и карьеров [6].

Больше всего видов гидрофитов выявлялось в водоемах со стоячей и медленно текущей водой, а их численное отношение к гело- и гигрогелофитам имело вид: старицы — 4:1:2, суффузионные озера — 5:1:2, реки — 3:1:2, пруды — 3:1:2, торфяные карьеры — 4:1:3 [1], или: озера — 4:1:2, старицы, водотоки, водохранилища, пруды — 3:1:2 [2].

Таким образом, дифференциация видового разнообразия и различия в соотношениях объемов экологических классов водных и околоводных растений в водоемах и водотоках разного типа варьируют на территориях с различным географическим положением, а также разными степенью развития речной сети и озерностью, величиной антропогенной нагрузки. В Беларуси исследования в рамках обозначенных вопросов целесообразно провести по единой схеме, в трех геоморфологических областях. Модельной территорией для центральной, существенно урбанизированной и освоенной в хозяйственном отношении части республики, может являться Пуховичская равнина с низкой озерностью, средней густотой речной сети и мелиоративной, достаточной представленностью различных искусственных водоемов.

Цель работы — определить степень сходства видового состава и структуры флор разнотипных водных объектов в пределах Пуховичской равнины.

Материал и методы. Изучение видового состава водных и заходящих в воду растений 55 рек (140 участков), 97 мелиоративных каналов, 41 пруда (речного), 7 водохранилищ, 16 озер, 24 прудов-копаней, 6 обводненных карьеров на территории Пуховичской равнины проводилось с использованием метода сеточного картирования [7] с июня по сентябрь 2018–2023 гг. Обследовались берега и акватории (с помощью весельной надувной лодки Kolibri) водных объектов общепринятым в гидробиотанике способом [8]. Для оценки сходства парциальных флор различных типов водных объектов применялся индекс Брея — Кёртиса (сравнивались видовые списки) и выполнялся кластерный анализ по алгоритму UPGMA (unweighted pair group method with arithmetic mean) в программе Past 4.03. Экоморфы выделены согласно шкалам Г. Элленберга в новой редакции [9]. Отдельные недостающие значения по некоторым видам дополнены из базы данных [10]. Наименования экологических элементов даны по [11; 12]. Типизация водных объектов соответствует Водному кодексу Республики Беларусь, разделение по генезису (природные, антропогенно трансформированные, искусственные) — классификации, приведенной в работе [13].

Харовые водоросли и гибридные таксоны учитывались при определении сходства парциальных флор водных объектов разного типа, а также при анализе видового состава экологических групп растений, выделяемых по степени связи видов с водной средой и грунтом, но не рассматривались при установлении экологической структуры флор водных объектов, определяемой по признаку отношения видов к трофности, кислотности субстратов, солевому и световому режимам мест произрастания.

Результаты и их обсуждение. Среди водных объектов Пуховичской равнины наибольшим флористическим разнообразием отличаются реки, в которых отмечено 153 вида (в том числе 5 гибридов) растений, наименьшим — пруды-копани, где встречается 85 видов (3 гибрида). При этом во флоре речных прудов насчитывается 142 вида (6 гибридов), мелиоративных каналов — 142 (3), водохранилищ — 136 (1), озер — 104 (1), обводненных карьеров — 94.

Разнотипные водные объекты равнины характеризуются высоким сходством видового состава растений (значения индекса Брея — Кёртиса — от 0,68 для прудов-копаней и рек до 0,91 для рек и мелиоративных каналов), а также, в меньшей степени, состава водного ядра флор (от 0,5 до 0,86) (табл. 1).

Таблица 1

Матрица сходства флор разнотипных водных объектов Пуховичской равнины
(мера сходства — индекс Брея — Кёртиса, справа — по всем видам,
слева — по видам водного ядра флор)

	РЕ	ОЗ	МК	ПК	ПР	ВХ	ОК
РЕ	1	0,73	0,91	0,68	0,87	0,84	0,74
ОЗ	0,61	1	0,77	0,7	0,74	0,76	0,73
МК	0,86	0,65	1	0,71	0,86	0,86	0,76
ПК	0,5	0,59	0,58	1	0,7	0,71	0,78
ПР	0,78	0,6	0,8	0,53	1	0,86	0,77
ВХ	0,75	0,72	0,76	0,52	0,74	1	0,79
ОК	0,63	0,63	0,61	0,58	0,62	0,7	1

Примечание: РЕ — реки, ОЗ — озера, МК — каналы мелиоративные, ПК — пруды-копани, ПР — пруды речные, ВХ — водохранилища, ОК — обводненные карьеры. Жирным шрифтом выделены максимальные и минимальные значения индекса.

Построенные на основе матрицы дендрограммы иллюстрируют последовательное объединение типов водоемов и водотоков в группы (рис. 1). На уровне менее 0,75 формируется два кластера, в первый из которых вошли лентические искусственные, сравнительно недавно образованные водные объекты (обводненные карьеры и пруды-копани), во второй — естественные (озера) и антропогенно трансформированные (речные пруды, водохранилища) лентические, а также естественные (но в различной мере

антропогенно трансформированные — реки) и антропогенно образованные (мелиоративные каналы) лотические водные объекты. На уровне 0,75 из второго кластера выделяются в отдельную группу озера, начиная с 0,8 — сходство флористического состава водных объектов возрастает по мере увеличения степени их проточности (скорости водообмена), а также связи с речной сетью. Близость флор каналов и рек обусловлена как полной или частичной канализованностью русел большинства водотоков равнины, так и непосредственным впадением каналов в реки, что облегчает обмен диаспорами растений между этими водотоками. Обозначенные тенденции верны и в отношении водного ядра флор водных объектов различного типа (рис. 1). Однако по составу гидрофитов обводненные карьеры ближе не к прудам-копаням, а к остальным типам водоемов и водотоков. Своеобразие прудов-копаней во флористическом отношении, состоящее, в частности, в низком видовом богатстве гидрофитов (вплоть до их отсутствия), отмечалось также российскими гидробиологами [4; 14] и связано с гидроморфологическими (малые размеры и мелководность (глубина до 2 м), из-за чего копань часто пересыхают и заселяются случайными видами растений) показателями, положением в природно-антропогенных ландшафтах (на территории или вблизи населенных пунктов, в границах сельхозугодий, реже — в лесах), особенностями использования (например, в деревнях часто загрязняются домашними водоплавающими птицами) и повышенной (из-за размеров в сочетании с непроточностью) уязвимостью к антропогенной нагрузке.

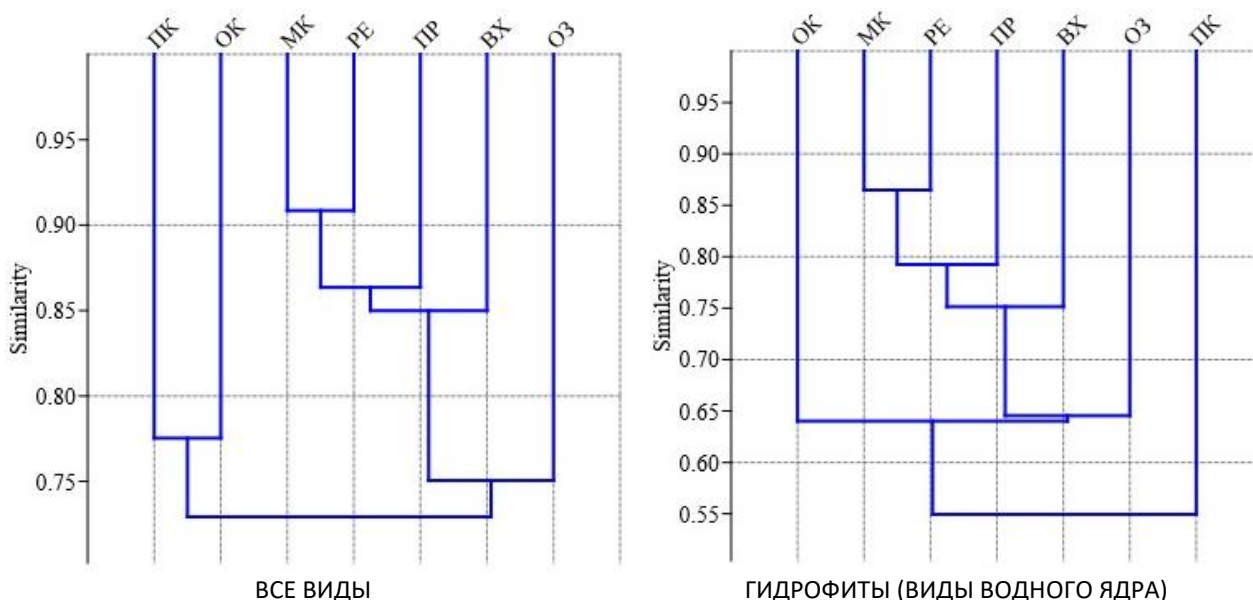


Рис. 1. Дендрограмма сходства флор разнотипных водных объектов Пуховичской равнины (мера сходства — индекс Брея — Кёртиса)

Различие флористического состава водных объектов определяют как виды, экологически связанные с теми или иными типами водных экосистем (например, реофильные виды рдестов, повсеместно произрастающие именно в реках), так и виды, характерные для нескольких типов водных объектов, но в пределах исследуемого региона в силу различных причин (частный случай — адвентивные виды в начальной фазе натурализации) встречающиеся только в одном из них. Кроме того, специфика флор различных водных объектов во многом обуславливается наличием регионально редких видов водных и заходящих в воду береговых растений, в том числе охраняемых. При этом в обводненных карьерах, представляющих собой местообитания антропогенного происхождения, отсутствуют виды, не отмеченные в других типах водных объектов, только в прудах-копанях обнаружены *Nymphaea × marliacea* Lat.-Marl. (культивируемый гибридогенный таксон) и *Eleocharis uniglumis* (Link) Schult, исключительно к озерам приурочены *Drosera intermedia* Hayne, *Galium trifidum* L., *G. palustre* L. × *G. uliginosum* L., *Scheuchzeria palustris* L., *Utricularia minor* L., *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf., к водохранилищам — *Bolboschoenus planiculmis* (F.W. Schmidt) T.V. Egorova, *B. maritimus* (L.) Palla × *B. planiculmis* (F.W. Schmidt) T.V. Egorov, *Nitellopsis obtusa* (Desvaux) J. Groves, *Salvinia natans* (L.) All., *Typha elata* Boreau, к речным прудам — *Juncus inflexus* L., *Nitella mucronata* (A. Braun) Miq., *Potamogeton × olivaceus* Baagoe ex G. Fisch.,

P. friesii Rupr. × *P. berchtoldii* Fieber, *P. × grovesii* Dandy et G. Taylor, мелиоративным каналам — *Potamogeton × franconicus* G. Fisch., *Juncus ranarius* Sonceon et E.P. Perrier, пекам — *Berula erecta* (Huds.) Coville, *Nitella syncarpa* (Thuill.) Chev., *Bistorta officinalis* Delarbre, *Phragmites altissimus* (Benth.) Mabilie, *Potamogeton × fluitans* Roth, *Potamogeton × semifructus* A. Benn. ex Asch. et Graebn., *Ranunculus trichophyllus* Chaix (водная форма), *Sparganium × longifolium* Turcz ex Ledeb., *Catabrosa kneuckeri* Tzvelev. В водных объектах только одного типа встречается 32 из всех 188 видов (17,0%), причем почти треть из них (10) — гибриды, двух — 17 видов (9,0%), часть из которых тяготеет к лотическим водным экосистемам (*Catabrosa aquatica* (L.) P. Beauv., *Jacobaea paludosa* (L.) P. Gaertn.), трех — 17 (9,0%), четырех — 15 (8,0%), пяти — 23 (12,2%), шести — 25 (13,3%). Во всех типах водоемов и водотоков установлено 59 видов (31,4%), среди которых *Alisma plantago-aquatica* L., *Bidens cernuus* L., *B. connatus* Willd., *B. frondosus* L., *Carex acuta* L., *C. pseudocyperus* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Eleocharis palustris* (L.) Roem. et Schult., *Elodea canadensis* Michx., *Epilobium hirsutum* L.

Различия водных объектов по составу видов возникают также по причине неодинаковой степени связи растений с водной средой и грунтом. Разделение видов различных экологических групп и классов водных и заходящих в воду береговых растений по признаку числа освоенных ими типов водных объектов в границах Пуховичской равнины приведено в табл. 2.

Таблица 2

Разделение видов различных экологических групп и классов водных и заходящих в воду береговых растений по количеству освоенных ими типов водных объектов в границах Пуховичской равнины

Экологические группы и классы водных и заходящих в воду береговых растений	Число типов водных объектов, в которых отмечен вид						
	1	2	3	4	5	6	7
	Количество видов растений						
Гидрофиты:	14	5	9	5	8	4	10
– макроводоросли	3	2	0	1	0	1	0
– укореняющиеся с плавающими на поверхности воды листьями	1	0	0	0	2	0	2
– свободно плавающие на поверхности воды	1	0	0	0	2	0	5
– погруженные укореняющиеся	7	3	8	4	4	3	1
– погруженные неукореняющиеся	2	0	1	0	0	0	2
Гелофиты	4	1	3	2	2	0	8
Гигрогелофиты	5	4	0	4	6	7	10
Гигрофиты	7	7	4	4	7	14	28
Гигромезофиты	2	0	1	0	0	0	3

Степень связи видов растений 5 экологических классов с определенным типом водных объектов убывает в ряду: гидрофиты — гелофиты — гигрогелофиты — гигрофиты, т.е. по мере ослабления связи видов с водной средой. При этом зависимость между количеством видов прибрежно-водных или заходящих в воду береговых растений и числом разнотипных водных объектов, в которых они могут произрастать, нелинейная (гиперболическая, описывается полиномиальной функцией 2 степени), настоящих водных растений экогрупп погруженных укореняющихся гидрофитов и макроводорослей (объединены на основании их близкого пространственного положения в толще воды и наличия прикрепления к грунту) — обратная линейная (рис. 2). Экогруппы гидрофитов можно расположить в следующем порядке по уменьшению связи с определенным типом (типами) водных объектов: погруженные укореняющиеся — погруженные неукореняющиеся — укореняющиеся с плавающими на поверхности воды листьями — свободно плавающие на поверхности воды (табл. 2).

Большое количество общих видов для различных типов водных объектов обуславливает сходство экологической структуры их парциальных флор. Так, среди гидроморф водной флоры водоемов и водотоков наиболее многочисленны гидрофиты (исключение — озера, во многих из которых мало настоящих водных растений из-за высокой цветности вод (например, озеро Синее в центре торфяника),

из-за их сильного обмеления (озеро Сергеевичское) и иных причин) (табл. 3). Однако численное соотношение гидро-, гело- и гигрогелофитов на сопредельных с Беларусью территориях равно 4:1:2, в пределах Пуховичской равнины в целом — 2:1:2 [цит. по: 15], выше для водных объектов с высокой проточностью (реки, каналы, пруды), интегрированных в единую речную сеть, — 3:1:2, по сравнению с водоемами с более медленным водообменом (водохранилища, озера) и, особенно, с не сообщающимися с реками (карьеры, пруды-копани) — 2:1:2.

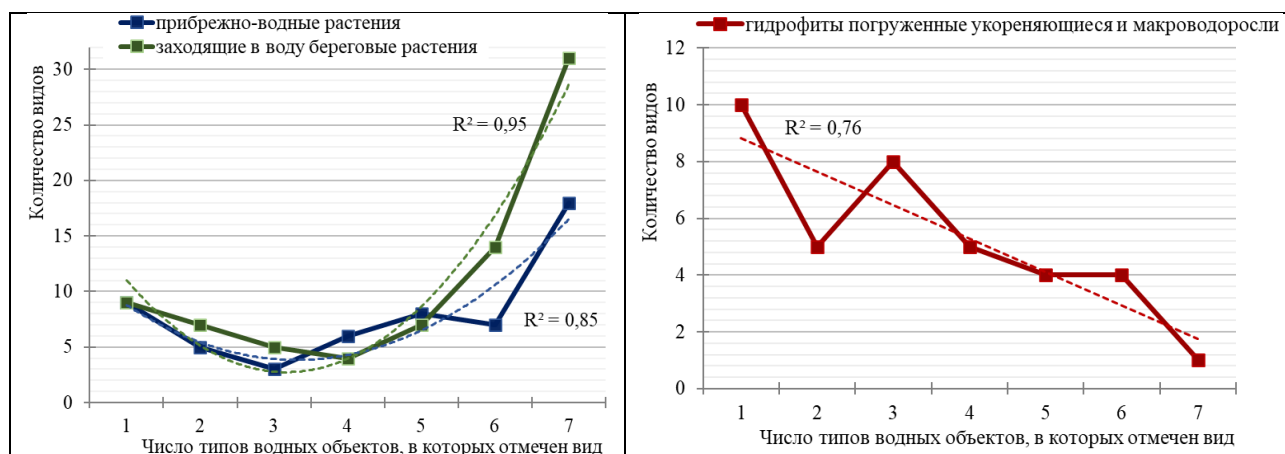


Рис. 2. Изменение числа видов различных экологических групп и групп классов растений по мере расширения диапазона осваиваемых типов водных объектов в пределах Пуховичской равнины

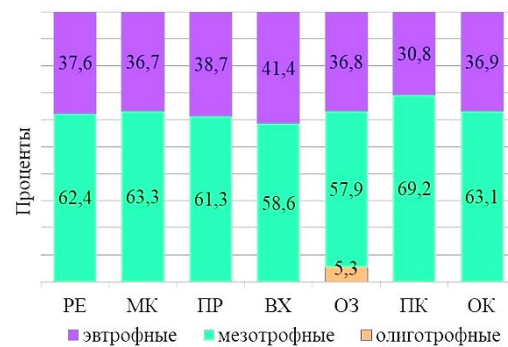
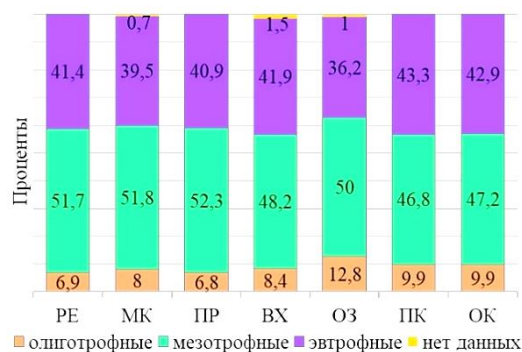
Иными словами, гидрофиты и прибрежно-водный компонент флор одинаково представлены в речной сети (включая канальную), а в остальных типах водоемов разнообразие прибрежно-водных растений существенно больше, чем настоящих водных. Также, согласно данным табл. 3, вместе со снижением степени проточности водных объектов уменьшается количество встречающихся в них видов гигрогелофитов. Данная тенденция менее четко прослеживается в отношении гидрофитов. В то же время заходящие в воду береговые растения (особенно гидрофиты) являются «обязательным» элементом флор всех изученных типов водных объектов (от 42 до 54% всего видового состава), а их уровень видового разнообразия снижается, как правило (кроме озер), вместе с уменьшением общего видового богатства флор каждого типа водоемов и водотоков (табл. 3).

Таблица 3

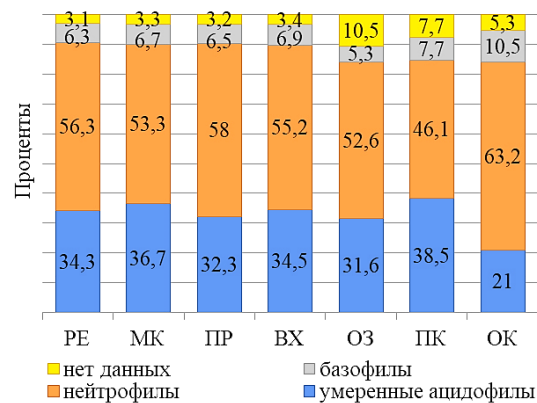
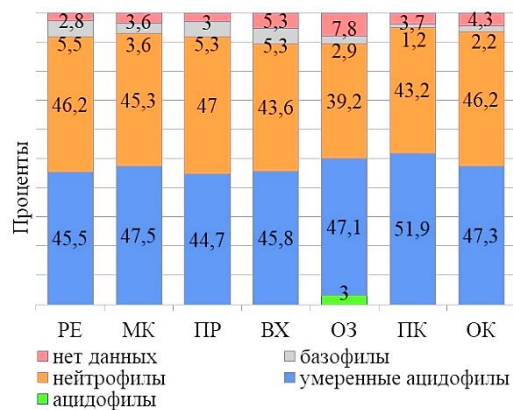
Представленность различных гидроморф в экологической структуре флор разнотипных водных объектов Пуховичской равнины

Водные объекты	Число видов, абс., %									
	Все	Гидрофиты		Гелофиты		Гигрогелофиты		Заходящие в воду береговые растения (гидрофиты и гигромезофиты)		Численное соотношение гидрофитов, гелофитов, гигрогелофитов
Пруды речные	142	40	28,2	15	10,6	27	19	60	42,2	3:1:2
Реки	153	39	25,5	15	9,8	32	20,9	67	43,8	3:1:2
Каналы мелиоративные	142	35	24,6	14	9,9	29	20,4	64	45,1	3:1:2
Водоохранилища	136	33	24,3	16	11,8	26	19,1	61	44,8	2:1:2
Обводненные карьеры	94	21	22,3	9	9,6	17	18,1	47	50	2:1:2
Озера	104	20	19,2	13	12,5	26	25	45	43,3	2:1:2
Пруды-копани	85	17	20	8	9,4	14	16,5	46	54,1	2:1:2

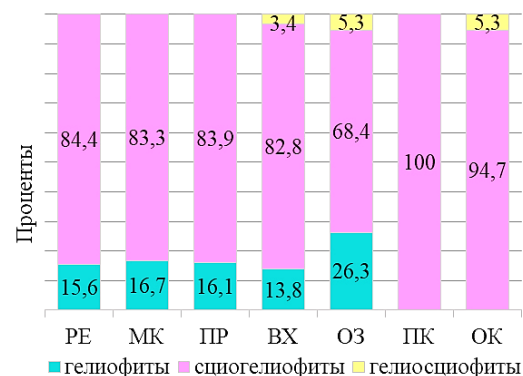
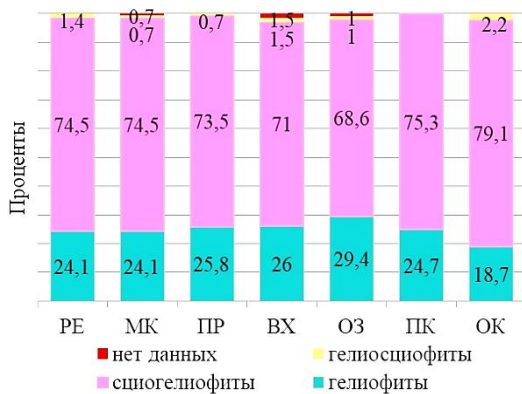
Различия в структуре трофо-, гелио-, ацидо- и галоморф во флорах и в водном ядре флор разных категорий водных объектов отражены на рис. 3.



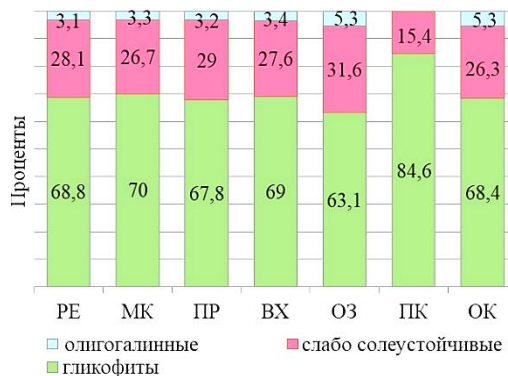
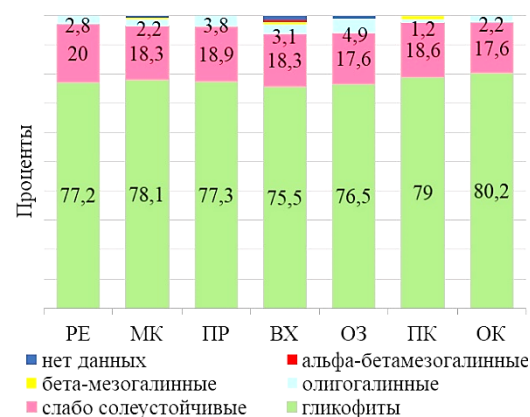
ТРОФОМОРФЫ



АЦИДОМОРФЫ



ГЕЛИОМОРФЫ



ГАЛОМОРФЫ

Рис. 3. Экологическая структура флор разнотипных водных объектов Пуховичской равнины (слева — вся флора, справа — водное ядро флоры)

В структуре ацидоморф флор всех изученных типов водных объектов наиболее значимы умеренные ацидофилы (45,8–51,9% видов), на втором месте — нейтрофилы (39,2–46,2%) (кроме водных объектов, для которых характерен поёмный режим, — рек и речных прудов, где вторая категория видов преобладает, но ненамного — 46,2 и 45,5%, 47 и 44,7% соответственно), гораздо менее значительно участие базофилов (1,2–5,5%) и ацидофилов (3%, только в озерах). В водном ядре флор, напротив, очень большой вклад вносят нейтрофилы (46,1–63,2%) в сравнении с умеренными ацидофилами (21–38,5%), увеличивается процент базофилов (5,3–10,5%), а ацидофилы отсутствуют (рис. 3). Это можно объяснить относительно низким pH почв по берегам водоемов, где произрастают прибрежно-водные и заходящие в воду береговые растения в районе исследования (часто встречаются в том числе торфянистые грунты, водоемы и водотоки располагаются на осушенных торфяниках), но близкой к нейтральной или слабощелочной реакцией вод, питающих реки. Различия в объеме перечисленных ацидоморф между типами водных объектов не превышают 10%, что отражает близость экологических условий в них по данному фактору. Заметно сдвинуто равновесие в сторону видов, предпочитающих нейтрально-щелочную среду лишь в случае карьеров, поскольку в рассмотрение брались и меловые карьеры с характерным видовым составом.

Мезотрофные (46,8–52,3%) и эвтрофные (36,2–43,3%) виды — преобладающие трофоморфы во флорах всех типов водных объектов, равно как и в водном ядре их флор (57,9–69,2 и 30,8–41,4% соответственно). Наименьший процент видов приходится на олиготрофную группу (6,8–12,8%), причем в водном ядре флор они отсутствуют (исключение — *Utricularia minor* L. в озерах) (рис. 3). С учетом генетической стадии развития, на которой находятся водохранилища Пуховичской равнины (возраст — около 40 лет и более), их статус достоверно эвтрофный [16], что соответствует количеству эвтрофных видов гидрофитов около — 40%. Значит, в большей или меньшей степени эвтрофированы все типы водных объектов изучаемой территории. Сравнительно низкий процент эвтрофных видов в водном ядре прудов-копаней обусловлен полным отсутствием гидрофитов (или наличием только 1–2 видов) во многих и, вероятно, наиболее эвтрофированных из них (при малом общем числе видов во флоре прудов-копаней), так что на диаграмме оказались достаточно заметны виды копаней более низкого трофического статуса. При этом озера согласно структуре трофоморф слабее всего эвтрофированы среди исследуемых типов водоемов и водотоков.

В пресных водоемах и водотоках Пуховичской равнины закономерно на долю гликофитов (несолеустойчивых растений) приходится более 75% всех видов и свыше 60% видов водного ядра флор. Гораздо меньшую фракцию видов составляют слабо солеустойчивые (17,6–20 и 15,4–31,6%) и олигогалинные (1,2–4,9 и 0–5,3%) представители флор различных водных объектов. В каналах (0,7%), водохранилищах (0,8%), прудах-копанях (1,2%) отмечались единичные бета-мезогалинные виды (*Eleocharis uniglumis* (Link) Schult. и *Triglochin palustris* L.). Только в водохранилищах присутствует один альфа-бета-мезогалинный (0,8%), адвентивный по происхождению вид (*Bolboschoenus planiculmis* (F.W. Schmidt) T.V. Egorova). Вероятно, данные виды появляются в местах локального засоления, в том числе возникающего по антропогенным причинам (например, сток содержащих противогололедные соли вод с трассы Е30 к южному берегу Дзержинского водохранилища может способствовать произрастанию там *Triglochin palustris*).

Структура гелиоморф флор водных объектов (основная часть видов — сциогелиофиты (68,6–79,1%), на втором месте — гелиофиты (18,7–29,4%), процент гелиосциофитов незначителен (0,7–2,2%)) соответствует, с одной стороны, произрастанию прибрежно-водных и заходящих в воду растений по открытым берегам (именно такие незатененные участки водотоков и многих водоемов преимущественно обследовались как более разнообразные по видовому составу растений), с другой — режиму освещенности в водной среде, обуславливающему доминирование в водном ядре флор сциогелиофитов (68,4–100%) и меньшее участие гелиофитов (13,8–26,3%). При этом гидрофиты группы сциофитов (3,4–5,3%) регистрировались только в пределах тех типов водоемов, где имелись затененные, граничащие с лесом, берега (водохранилища, озера, карьеры). Примечательно, что пруды-копани отличаются очень упрощенной структурой гелиоморф водного ядра флоры (включающей только сциогелиофиты), как и галоморф.

Заключение. Таким образом, видовое разнообразие водных и заходящих в воду береговых растений Пуховичской равнины уменьшается со снижением степени проточности водных объектов, а также их сообщения с речной сетью. Во флоре рек региона насчитывается 153 вида растений (в том числе

5 гибридов), речных прудов — 142 (6), мелиоративных каналов — 142 (3), водохранилищ — 136 (1), озер — 104 (1), обводненных карьеров — 94, прудов-копаней — 85 (3).

Разнотипные водные объекты равнины характеризуются высоким сходством видового состава растений. Максимальное число общих видов отмечено во флорах рек и мелиоративных каналов. Наиболее обособлены от других типов водных объектов, но неспецифичны во флористическом отношении искусственно созданные непроточные водоемы — пруды-копани и обводненные карьеры.

По мере ослабления зависимости видов от водной среды повышается число типов водных объектов (от 1 до 7), в которых они могут произрастать. Степень связи видов растений 5 экологических классов (входящих в них экогрупп) с определенным(и) типом(ами) водных объектов убывает в ряду: гидрофиты (погруженные укореняющиеся — погруженные неукореняющиеся — укореняющиеся с плавающими на поверхности воды листьями — свободно плавающие на поверхности воды) — гелофиты — гигрогелофиты — гигрофиты.

Гидрофиты и прибрежно-водные растения по количеству видов одинаково представлены в речной сети, включая каналную (в пропорции гидро-, гело- и гигрогелофиты — 3:1:2), а в водоемах с более медленным водообменом (водохранилища, озера) и, особенно, в не сообщающихся с реками (карьеры, пруды-копани) разнообразие прибрежно-водных растений существенно больше, чем настоящих водных (2:1:2). При этом со снижением степени проточности водных объектов уменьшается количество встречающихся в них видов гигрогелофитов. Разнообразие заходящих в воду береговых растений изменяется от 42,2 до 54,1% состава парциальных флор водных объектов и соответствует их общему видовому богатству.

Структура экоморф водных и заходящих в воду растений в целом сходна для парциальных флор различных типов водных объектов (соотношение их объемов, как правило, сохраняется и в водном ядре флор) и является обобщенной характеристикой, а также показателем сходства экологических параметров соответствующих местообитаний по всему исследуемому природному региону (пресные, эвтрофные, с близкой к нейтральной реакции (иногда слабокислые) и достаточным доступом солнечного света воды). Упрощенной структурой гелио- и галоморф водного ядра флоры отличаются пруды-копани.

Результаты исследования могут быть использованы для оценки антропоустойчивости и прогноза динамики водной флоры Беларуси и распространены на другие равнинные территории в центральной части республики. В Белорусском Поозерье, где вклад озерной флоры в структуру флоры всех типов водных объектов значительно больше, чем в границах Пуховичской равнины, следует ожидать повышения видового богатства и доли гидрофитов в водной флоре региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варгот, Е.В. Флора сосудистых растений водоемов и водотоков бассейна Средней Суры: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Варгот Елена Вячеславовна; Мордов. гос. ун-т им. Н.П. Огарева. — М., 2009. — 18 с.
2. Папченков, В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья / В.Г. Папченков. — Ярославль: ЦМП МУБИНТ, 2001. — 214 с.
3. Дурникин, Д.А. Флора водоемов юга Обь-Иртышского междуречья и ее генезис: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.01 / Дурникин Дмитрий Алексеевич; Алтайс. гос. ун-т. — Барнаул, 2014. — 39 с.
4. Капитонова, О.А. Флора водоемов и водотоков г. Тобольска (Тюменская область): основные характеристики и их анализ / О.А. Капитонова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. — 2023. — Т. 16, № 4. — С. 430–453.
5. Синицына, М.В. Эколого-биологические особенности флоры малых искусственных водоемов Саратовской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01, 03.02.08 / Синицына Марина Вячеславовна; Саратов. гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского. — Саратов, 2013. — 20 с.
6. Капитонова, О.А. Флора макрофитов города Глазов (Удмуртская Республика) / О.А. Капитонова // Фиторазнообразие Восточной Европы. — 2013. — Т. 7, № 4. — С. 71–85.
7. Серегин, А.П. Флора Владимирской области: анализ данных сеточного картирования / А.П. Серегин. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. — 441 с.
8. Щербakov, А.В. Изучение и анализ региональных флор водоемов / А.В. Щербakov // Гидробиотаника: методология, методы: материалы Школы по гидробиотанике, Борок, 8–12 апр. 2003 г. / Ин-т биол. внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН; науч. ред.: В.Г. Папченков [и др.]. — Рыбинск, 2003. — С. 56–69.
9. Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. Zenodo repository. Indicator.values-tables-2022-11-07-Zenodo.v2.xlsx. / L. Tichý, I. Axmanová, J. Dengler [et al.]. — URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7427088> (date of access: 03.01.2025).
10. Флора сосудистых растений Центральной России: [база данных]. — [Пушино], 2025. — URL: <https://www.impb.ru/eco/> (дата обращения: 15.02.2025).
11. Ellenberg-type indicator values for the Czech flora / M. Chytrý, L. Tichý, P. Dřevojan [et al.] // Preslia. — 2018. — Vol. 90. — P. 83–103.
12. Игнашов, П.А. Применение экологических шкал Элленберга при изучении флоры и растительности малых болот Карелии / П.А. Игнашов, О.Л. Кузнецов // Труды Карельского научного центра РАН. — 2022. — № 8. — С. 114–122.

13. Капитонова, О.А. Флора макрофитов Вятско-Камского Предуралья: монография / О.А. Капитонова. — Ярославль: Филигрань, 2021. — 568 с.
14. Гарин, Э.В. Флора и растительность копаней Ярославской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Гарин Эдуард Витальевич; Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН. — Саранск, 2004. — 21 с.
15. Савицкая, К.Л. Структура флоры водоемов и водотоков Пуховичской равнины / К.Л. Савицкая // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. — Минск, 2024. — Вып. 53. — С. 28–37.
16. Лопух, П.С. Закономерности эволюционного развития озер и водохранилищ Беларуси / П.С. Лопух // Вестник БГУ. Серия 2, Химия. Биология. География. — 2001. — № 3. — С. 96–103.

REFERENCES

1. Vargot E.V. *Flora sosudistyykh rasteniy vodoemov i vodotokov basseyna Sredney Sury: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Flora of vascular plants of waterbodies and watercourses of the Middle Sura basin: PhD (Biology) Dissertation Abstract], Moscow, 2009, 18 p.
2. Papchenkov V.G. *Rastitelny pokrov vodoemov i vodotokov Srednego Povolzhya* [Vegetation of waterbodies and watercourses of the Middle Volga region], Yaroslavl, TsMP MUBiNT, 2001, 214 p.
3. Durnikin D.A. *Flora vodoyemov yuga Ob-Irtyshskogo mezhdurechya i yeyo genezis: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk* [Flora of waterbodies in the south of the Ob-Irtysh interfluvium and its genesis: Dr.Sc. (Biology) Dissertation Abstract], Barnaul, 2014, 39 p.
4. Kapitonova O.A. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Biologiya* [Journal of Siberian Federal University. Biology], 2023, 16(4), pp. 430–453.
5. Sinitsyna M.V. *Ekologo-biologicheskie osobennosti flory malyykh iskusstvennykh vodoyemov Saratovskoy oblasti: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Ecological and biological features of the flora of small artificial waterbodies of Saratov Region: PhD (Biology) Dissertation Abstract], Saratov, 2013, 20 p.
6. Kapitonova O.A. *Fitoraznoobraziye Vostochnoi Yevropy* [Phytodiversity of Eastern Europe], 2013, 7(4), pp. 71–85.
7. Seregin A.P. *Flora Vladimirovskoy oblasti: analiz dannykh setochnogo kartirovaniya* [Flora of Vladimir Region: analysis of grid mapping data]. Moscow, Tovarichestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014, 441 p.
8. Shcherbakov A.V. *“Gidrobotanika: metodologiya, metody”: Materialy shkoly po gidrobotanike* [Materials of the School of Hydrobotany “Hydrobotany: methodology, methods”], Rybinsk, 2003, pp. 56–69.
9. Tichý L., Axmanová I., Dengler J. et al. Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. Zenodo repository. Indicator.values.tables-2022-11-07-Zenodo.v2.xlsx. — URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7427088> (date of access: 03.01.2025).
10. *Flora sosudistyykh rasteniy Tsentralnoy Rossii: baza dannykh* [Flora of vascular plants of Central Russia: database]. — URL: <https://www.impb.ru/eco/> (Accessed: 15.02.2025).
11. Chytrý M., Tichý L., Dřevojan P. et al. Ellenberg-type indicator values for the Czech flora. Preslia, 2018, vol. 90, pp. 83–103.
12. Ignashov P.A., Kuznetsov O.L. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN* [Works of the RAS Karelian Research Centre], 2022, 8, pp. 114–122. — DOI: 10.17076/eco1726.
13. Kapitonova O.A. *Flora makrofitov Vyatsko-Kamskogo Preduralya: monografiya* [Flora of macrophytes of the Vyatka-Kama Cis-Urals: monograph]. Yaroslavl, Filigran, 2021, 568 p.
14. Garin E.V. *Flora i rastitelnost kopaney Yaroslavskoy oblasti: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Flora and vegetation of the excavated ponds of Yaroslavl Region: PhD (Biology) Dissertation Abstract], Saransk, 2004, 21 p.
15. Savitskaya K.L. *Botanika (issledovaniya). Sbornik nauchnykh trudov* [Botany (Research) Collection of scientific works], 2024, 53, pp. 28–37.
16. Lopukh P.S. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khimiya. Biologiya. Geografiya* [Bulletin of BSU. Ser. 2, Chemistry. Biology. Geography], 2001, 3, pp. 96–103.

Поступила в редакцию 26.04.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: karina_savv@mail.ru — Савицкая К.Л.

УДК 547.913:615.28

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНОГО МАСЛА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ *THYMUS*, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е.В. Феськова, А.С. Дайлид, О.В. Нестер, В.Н. Леонтьев

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Thymus — таксономически сложный род семейства Яснотковые, характеризующийся полиморфизмом компонентного состава эфирных масел на меж- и внутривидовом уровнях. Эфирные масла растений рода *Thymus* благодаря их химическому составу являются одними из наиболее перспективных антимикробных агентов.

Цель работы — изучение компонентного состава и антимикробной активности эфирного масла растений рода *Thymus* из коллекции ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ЦБС).

Материал и методы. Объекты исследования: тимьян ползучий (*Thymus serpyllum* L.), тимьян Маршалла (*Thymus marschallianus* Willd.), тимьян Кочи (*Thymus kotschyanus* Boiss) и тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.) из коллекции ЦБС. Анализ компонентного состава эфирных масел проводили методом газовой хроматографии. Антимикробную активность определяли методом диффузии эфирных масел в агар.

Результаты и их обсуждение. Наибольший выход эфирного масла наблюдался у *T. marschallianus* (1,35%), наименьший — у *T. kotschyanus* (1,05%). Эфирные масла, выделенные из *T. marschallianus* и *T. vulgaris*, произрастающих на территории ЦБС, принадлежат тимольному хемотипу, а эфирные масла *T. serpyllum* и *T. kotschyanus* — карвакрольному. Установлена антимикробная активность эфирных масел изучаемых видов в отношении грамположительных (*Bacillus subtilis*, *Clostridium* sp.) и грамотрицательных (*Salmonella* sp., *Escherichia coli* Hfr H3, *Pseudomonas aeruginosa*) бактерий, а также дрожжеподобных грибов (*Candida albicans* ATCC 10231). Тимольные хемотипы чистых эфирных масел проявляли более выраженную антимикробную активность против грамположительных бактерий, чем карвакрольные хемотипы.

Заключение. С практической точки зрения в составе противомикробных препаратов в отношении бактерий *Salmonella* sp. возможно применение 10%-х эфирных масел *T. marschallianus* и *T. serpyllum*; *Bacillus subtilis* — *T. vulgaris* (концентрация 10%) и *Clostridium* sp. — 4%-х эфирных масел *T. serpyllum* и *T. kotschyanus* и эфирного масла *T. marschallianus* в концентрации 10%.

Ключевые слова: тимьян ползучий, тимьян Маршалла, тимьян обыкновенный, тимьян Кочи, эфирное масло, антимикробная активность.

COMPOSITION AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF SOME *THYMUS* SPECIES ESSENTIAL OIL GROWING IN THE REPUBLIC OF BELARUS

E.V. Feskova, A.S. Dailid, O.V. Nester, V.N. Leontiev

Education Establishment "Belarusian State Technological University"

Thymus is a taxonomically complex genus of the Lamiaceae family, characterized by polymorphism of the composition of essential oils at the interspecific and intraspecific levels. Essential oils of *Thymus* plants are among the most promising antimicrobial agents due to their chemical composition.

The aim of the study is to investigate the composition and antimicrobial activity of essential oil of plants of the genus *Thymus* from the collection of the State Scientific Institution "Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (CBG).

Material and methods. The objects of the study were *Thymus serpyllum* L., *Thymus marschallianus* Willd., *Thymus kotschyanus* Boiss and *Thymus vulgaris* L. from the CBG collection. The analysis of the essential oils composition was carried out by gas chromatography. Antimicrobial activity was identified by the method of diffusion of essential oils in agar.

Findings and their discussion. The highest yield of essential oil was observed in *T. marschallianus* (1,35%), the lowest — in *T. kotschyanus* (1,05%). Essential oils isolated from *T. marschallianus* and *T. vulgaris* growing in CBG belong to the thymol chemotype, while essential oils from *T. serpyllum* and *T. kotschyanus* belong to the carvacrol chemotype. Antimicrobial activity of essential oils of the

studied species was established against gram-positive (*Bacillus subtilis*, *Clostridium* sp.) and gram-negative (*Salmonella* sp., *Escherichia coli* Hfr H3, *Pseudomonas aeruginosa*) bacteria, as well as yeast-like fungi (*Candida albicans* ATCC 10231). Thymol chemotypes of pure essential oils exhibited more pronounced antimicrobial activity against gram-positive bacteria than carvacrol chemotypes.

Conclusion. From the practical point of view, in the composition of antimicrobial preparations against *Salmonella* sp. it is possible to use 10% essential oils of *T. marschallianus* and *T. serpyllum*; in relation to *Bacillus subtilis* — *T. vulgaris* (concentration 10%) and in relation to *Clostridium* sp. — 4% essential oils of *T. serpyllum* and *T. kotschyanus* and essential oil of *T. marschallianus* in a concentration of 10%.

Key words: creeping thyme, Marshall thyme, common thyme, Kochi thyme, essential oil, antimicrobial activity.

Эфирные масла — это ароматные летучие жидкости, извлекаемые из различных частей растений [1]. Они представляют собой важные источники антимикробных веществ природного происхождения и благодаря широкому спектру биологической активности применяются как в практическом здравоохранении, так и в народной медицине [2], а также обладают большим потенциалом использования в качестве пищевых консервантов для снижения окислительных реакций во время обработки, производства и хранения пищевых продуктов [1].

Эфирные масла растений рода *Thymus* благодаря их химическому составу являются одними из наиболее перспективных антимикробных агентов (антимикробная активность обнаружена в отношении патогенных и оппортунистических бактерий, а также грибов) [2]. Род *Thymus* — один из таксономически сложных родов семейства Яснотковые, который состоит, по разным данным, из 250–350 таксонов (многочисленных видов и разновидностей), распространенных по всему миру, особенно в районе Средиземноморья [3; 4]. В большинстве частей света тимьян считается одной из самых ценных специй, его эфирное масло входит в десятку лучших эфирных масел в мире по использованию в качестве пищевого консерванта [1; 5].

Для представителей рода *Thymus* характерен полиморфизм компонентного состава эфирных масел, как на межвидовом, так и на внутривидовом уровне. Выделяют более 8 хемотипов эфирного масла растений рода тимьян, в каждом из которых преобладают определенные компоненты (тимол, карвакрол, α -терпениол, гераниол и т.д.) [6]. Несмотря на значительное химическое разнообразие этого рода, тимол и карвакрол присутствуют во всех видах, но в разных количествах [3; 5] (табл. 1).

Таблица 1

Основные компоненты эфирного масла некоторых видов *Thymus*

Вид <i>Thymus</i>	Содержание основных компонентов, %	Место произрастания
<i>marschallianus</i>	тимол (54,61), п-цимен (20,99), карвакрол (2,92) [7]	Саратовская область (РФ)
	тимол и его изомеры (38,4), циклогексен (8,9), γ -терпинен (7,6), эндоборнеол (5,3), карвакрол (нет данных) [2]	
	тимол (32,9), γ -терпинен (22,4), карвакрол (8,0) [8]	Синьцзян (Китай)
<i>vulgaris</i>	тимол (54,26), γ -терпинен (9,50), п-цимен (7,61), карвакрол (4,42), α -терпинолен (3,27) [9]	Джизан (Саудовская Аравия)
	тимол (49,1), п-цимен (20,0), γ -терпинен (4,2), β -кариофиллен (3,7), карвакрол (3,5) [5]	Панчево (Сербия)
	тимол (47,59), γ -терпинен (30,90), п-цимен (8,41), карвакрол (нет данных) [10]	Броштени (Румыния)
	тимол (39,5), п-цимен (12,8), γ -терпинен (10,9), карвакрол (4,2) [1]	Иран
	карвакрол (70,3), п-цимен (11,7), γ -терпинен (3,2), тимол (0,6) [11]	Португалия
	камфора (35,8), камфен (17,2), α -пинен (9,4), 1,8-цинеол (5,4), борнеол (4,9), β -пинен (3,9), карвакрол (0,53), тимол (0,24) [12]	Восточный Марокко
	тимол (79,2), карвакрол (4,6), п-цимен (3,3) [4]	Бразилия
	тимол (25,6), п-цимен (26,4), α -пинен (12,1), карвакрол (11,4), тимохинон (10,5) [4]	Алжир
<i>serpyllum</i>	тимол (52,45), карвакрол (6,81), п-цимен (6,67) [1]	Иран
	тимол (56,02), карвакрол (14,00), п-цимен (6,2) [5]	Греция
	тимол и его изомеры (43,9), эвкалиптол (8,4), бензен (4,2), кариофиллен (2,9), карвакрол (нет данных) [6]	Саратовская область (РФ)

Окончание табл. 1

<i>kotschyanus</i>	тимол (31,2), карвакрол (19,5), п-цимен (11,2), γ-терпинен (8,4) [13]	Турция
	тимол (60,48), γ-терпинен (6,67), п-цимен (5,56), карвакрол (3,08) [14]	Восточный Азербайджан (Иран)
	гераниол (25,77), тимол (14,85), геранилацетат (8,55), γ-терпинен (5,34), транс-кариофиллен (4,49), линалоол (4,01), п-цимен (3,31), карвакрол (2,6) [15]	Керманшах (Иран)

Цель работы — изучение компонентного состава и антимикробной активности эфирного масла растений рода *Thymus* из коллекции ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ЦБС).

Материал и методы. Объекты исследования: тимьян ползучий (*Thymus serpyllum* L.), тимьян Маршалла (*Thymus marschallianus* Willd.), тимьян Кочи (*Thymus kotschyanus* Boiss) и тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.) из коллекции ЦБС (53°54'58" с.ш., 27°36'45" в.д.). Сбор сырья осуществляли в фазу массового цветения в 2024 году.

Экстракцию эфирного масла (совместно из листьев и цветков) проводили методом перегонки с водяным паром. Измельченное сырье помещали в круглодонную колбу с добавлением дистиллированной воды (из расчета приблизительно 1:13) при нагревании в течение 1,5–2 ч. Эфирное масло собирали в приемник Гинзберга.

Компонентный состав полученного эфирного масла определяли методом газовой хроматографии на Agilent 7820A GC (Agilent Technologies, США), оснащенном пламенно-ионизационным детектором, с использованием колонок ZB-WAX 30 м×0,25 мм×0,25 мкм (полиэтиленгликоль) и HP-5 30 м×0,32 мм×0,25 мкм (5%-фенил)-метилполисилоксан), при градиентном режиме термостата. Объем вводимой пробы составлял 0,2 мкл.

Идентификацию компонентов эфирного масла проводили по временам удерживания стандартных веществ. Для количественного определения идентифицированных компонентов применяли метод внутренней нормализации без учета относительных поправочных коэффициентов.

Антимикробную активность эфирного масла устанавливали методом диффузии в агар. В качестве тест-культур использовали микроорганизмы коллекции кафедры биотехнологии БГТУ: *Salmonella* sp., *Bacillus subtilis*, *Clostridium* sp., *Escherichia coli* Hfr H3, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* ATCC 10231. Суточную культуру микроорганизмов (0,1 мл) распределяли шпателем по поверхности подсушенной плотной питательной среды в чашке Петри. На поверхности инокулированных сред на расстоянии 1,5–2,0 см от края чашки на равном удалении друг от друга раскладывали стерильные бумажные диски диаметром 0,5 см. На диски наносили по 2 мкл чистого эфирного масла или их растворов различной концентрации в 95%-м этиловом спирте, выдерживали посевы при 4°C в течение 2 ч с последующим инкубированием в термостате при 30°C в течение 24 ч. По его завершении измеряли диаметр зон роста тест-культур микроорганизмов. В качестве контроля использовали 95%-й этиловый спирт.

Все измерения производили в трехкратной повторности.

Результаты и их обсуждение. В табл. 2 приведены результаты по определению компонентного состава эфирного масла исследованных видов *Thymus*.

Анализируя эти данные, сделали вывод, что эфирные масла, полученные из *T. marschallianus* и *T. vulgaris*, произрастающих на территории ЦБС, относятся к тимольному хемотипу (содержание тимола 43,25% и 52,98% соответственно), а *T. serpyllum* и *T. kotschyanus* — к карвакрольному (содержание карвакрола 39,76% и 50,78% соответственно).

Стоит отметить, что эфирные масла из *T. serpyllum* и *T. kotschyanus*, произрастающих в других климатических регионах (табл. 1), принадлежат не к карвакрольному, а в большинстве своем к тимольному хемотипу.

Помимо преобладающих тимола и карвакрола (в зависимости от хемотипа), основными компонентами эфирных масел исследованных видов *Thymus* являются γ-терпинен, п-цимен, а для эфирных масел *T. serpyllum* и *T. kotschyanus* еще и β-кариофиллен, сабинен гидрат и карвон.

Антимикробная активность эфирных масел растений обусловлена содержанием тех или иных классов соединений (монотерпены, альдегиды, кетоны, фенолы и т.д.) и их действием на мембрану клеток, включая наружную мембрану грамотрицательных бактерий, что приводит к нарушению процессов трансмембранного транспорта, ионной проницаемости, работе цепи переноса электронов, но в целом механизм их признается до конца не изученным [2].

Компонентный состав эфирных масел растений рода *Thymus*

Компонент эфирного масла	Относительное содержание, %			
	<i>T. marschallianus</i>	<i>T. vulgaris</i>	<i>T. serpyllum</i>	<i>T. kotschyanus</i>
α-пинен	0,73	0,64	0,84	0,37
камфен	1,14	0,58	1,05	0,29
сабинен	0,04	0,02	0,03	0,03
β-пинен	1,37	1,25	2,10	2,86
3-карен	0,09	0,13	0,09	1,27
п-цимен	8,96	16,47	6,60	4,21
лимонен	0,59	0,61	0,76	0,39
эвкалиптол	0,03	0,25	0,03	0,03
γ-терпинен	22,46	11,68	25,26	12,65
сабинен гидрат	0,61	0,46	9,54	0,47
фенхон	0,17	0,18	0,18	0,17
линалоол	0,28	2,94	0,19	0,30
туйон	–	–	0,02	–
камфора	–	0,05	0,04	0,03
изопулегол	0,02	0,04	0,04	–
ментон	–	0,02	–	–
борнеол	1,74	0,77	3,23	1,33
терпинен-4-ол	0,70	0,94	0,69	0,77
α-терпинеол	0,11	0,15	0,10	0,10
метилхавикол	0,02	0,05	0,10	0,08
пулегон	–	0,61	0,26	–
карвон	1,36	0,02	0,72	6,40
гераниол	0,06	0,13	–	–
гераниаль	–	0,07	–	–
тимол	43,25	52,98	0,66	0,69
карвакрол	1,45	3,01	39,76	50,78
геранилацетат	–	0,04	0,05	0,06
β-кариофиллен	0,87	0,91	5,98	7,92
α-кариофиллен	–	–	0,23	0,32
кариофиллен оксид	–	0,20	0,44	0,59
Всего идентифицировано компонентов, %	86,05	95,20	98,99	92,11
Выход эфирного масла в пересчете на сухое сырье, %	1,35	1,26	1,11	1,05

Ментофуран, изоментон, ментол, цитронеллол, нераль, анисовый альдегид, транс-анетол, борнилацетат, ментилацетат, терпиналацетат, эвгенол и цедрол обнаружены не были.

На втором этапе была проведена оценка антимикробных свойств образцов чистого эфирного масла исследуемых видов *Thymus*, а также их этанольных растворов. Результаты представлены в виде среднего арифметического значения и доверительного интервала по данным трех экспериментов.

В табл. 3 приведены результаты по определению антимикробной активности чистых эфирных масел изучаемых видов *Thymus*.

Таблица 3

Антимикробная активность эфирных масел изученных видов *Thymus*

Название тест-культуры	<i>T. marschallianus</i> (TX)	<i>T. vulgaris</i> (TX)	<i>T. serpyllum</i> (KX)	<i>T. kotschyanus</i> (KX)
	Диаметр зоны задержки роста тест-культур, мм			
Грамотрицательные бактерии				
<i>Salmonella</i> sp.	15,3±0,6	9,3±1,2	15,3±1,5	10,3±1,2
<i>Escherichia coli</i> Hfr H3	34,3±3,5	17,1±2,1	20,3±1,2	20,0±2,6
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	–	–	–	–
Грамположительные бактерии				
<i>Bacillus subtilis</i>	34,0±4,0	32,3±2,1	15,7±2,1	25,3±0,6
<i>Clostridium</i> sp.	25,0±2,0	25,3±1,5	19,3±1,2	20,7±0,6
Дрожжеподобные грибы				
<i>Candida albicans</i> ATCC 10231	6.7±0.6	7.7±0.6	7.0±1.0	6.7±0.6

«—» — подавления роста микроорганизмов не наблюдалось.

TX — тимольный хемотип эфирного масла, KX — карвакрольный хемотип эфирного масла.

Зона ингибирования менее 12 мм свидетельствовала о низкой, 12–30 мм — средней и более 30 мм — высокой чувствительности микроорганизмов к образцу эфирного масла.

Ни один из образцов эфирного масла не подавлял рост бактерий *Pseudomonas aeruginosa*. В отношении других изученных грамотрицательных бактерий все эфирные масла показали среднюю антимикробную активность, за исключением эфирного масла *T. marschallianus* (высокая антимикробная активность против бактерий *Escherichia coli* Hfr H3) и эфирных масел *T. vulgaris* и *T. kotschyanus* (низкая антимикробная активность по отношению к бактериям *Salmonella* sp.).

Тимольные хемотипы изученных эфирных масел проявляли высокую антимикробную активность против *Bacillus subtilis* и среднюю — против *Clostridium* sp., а карвакрольные хемотипы — среднюю антимикробную активность по отношению к грамположительным бактериям.

Дрожжеподобные грибы *Candida albicans* продемонстрировали низкую чувствительность к изучаемым эфирным маслам.

Результаты определения антимикробной активности этанольных растворов эфирных масел приведены в табл. 4 (исследования проводили на тест-культурах микроорганизмов, показавших в предыдущем эксперименте высокую и среднюю чувствительность к изучаемым эфирным маслам).

Таблица 4

Антимикробная активность этанольных растворов эфирных масел рода *Thymus*

Концентрация этанольных растворов эфирного масла, %	Грамотрицательные бактерии		Грамположительные бактерии	
	<i>Salmonella</i> sp.	<i>Escherichia coli</i> Hfr H3	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Clostridium</i> sp.
	Диаметр зоны задержки роста тест-культур, мм			
<i>T. marschallianus</i>				
0,5	8,3±1,2	7,7±0,6	6,7±0,6	8,7±0,6
1,0	8,7±0,6	10,3±0,6	8,3±1,5	8,7±0,6
2,0	8,7±0,6	10,7±0,6	8,3±0,6	9,3±0,6
4,0	10,3±0,6	10,7±1,2	9,7±0,6	9,3±0,6
5,0	8,0±1,0	9,0±1,0	10,3±0,6	10,7±0,6
7,5	10,3±1,5	10,0±2,0	11,3±0,6	10,7±1,5
10,0	12,3±0,6	10,3±0,6	12,0±0,0	12,7±0,6
Контроль	5,7±0,6	6,3±0,6	6,7±0,6	6,3±0,6

<i>T. vulgaris</i>				
0,5	—	6,7±0,6	8,7±0,6	7,7±0,6
1,0	—	8,7±0,6	9,3±0,6	9,7±0,6
2,0	—	10,0±0,0	10,0±0,0	11,0±1,0
4,0	—	10,3±0,6	10,3±0,6	11,3±1,2
5,0	—	10,7±0,6	9,7±0,1	11,7±1,5
7,5	—	12,0±1,0	12,0±1,0	12,0±0,0
10,0	—	12,3±0,6	12,7±0,6	—
Контроль	—	6,3±0,6	6,3±0,6	6,0±1,0
<i>T. serpyllum</i>				
0,5	6,7±1,2	6,3±0,6	7,7±1,2	6,3±0,6
1,0	9,3±0,6	8,3±0,6	8,7±0,6	6,7±0,6
2,0	10,7±0,6	9,0±0,0	8,0±1,0	9,0±1,0
4,0	8,7±0,6	9,7±1,2	10,3±0,6	11,7±0,6
5,0	9,7±0,6	7,0±1,7	8,7±0,6	9,3±0,6
7,5	8,3±0,6	10,3±0,6	9,3±0,6	9,7±0,6
10,0	12,7±1,2	12,0±1,0	11,0±1,0	8,7±0,6
Контроль	5,7±0,6	6,3±0,6	6,3±0,6	5,3±0,6
<i>T. kotschyanus</i>				
0,5	—	—	7,3±1,2	8,0±1,0
1,0	—	—	7,7±0,6	9,3±1,2
2,0	—	—	10,0±0,0	9,7±0,6
4,0	—	—	9,7±0,6	12,7±0,6
5,0	—	10,7±0,6	10,7±0,6	12,0±1,0
7,5	—	10,3±0,6	10,3±1,2	12,0±1,0
10,0	—	—	12,3±1,2	—
Контроль	—	6,3±0,6	6,7±0,6	6,3±0,6

«—» — эксперимент не проводили.

Принимали, что образец проявляет антимикробную активность, если диаметр зоны задержки роста превышал более чем в два раза диаметр зоны задержки роста показателя «Контроль». Данные экспериментов, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что все этанольные растворы эфирных масел в изученных концентрациях либо не проявляют, либо проявляют низкую антимикробную активность.

Заключение. Таким образом, установлено, что эфирные масла, полученные из *T. marschallianus* и *T. vulgaris*, произрастающих на территории ЦБС, относятся к тимольному хемотипу, а эфирные масла *T. serpyllum* и *T. kotschyanus* — к карвакрольному. Бактерии *Pseudomonas aeruginosa* оказались не чувствительны к эфирному маслу изученных видов *Thymus*, а дрожжеподобные грибы *Candida albicans* ATCC 10231 продемонстрировали к ним низкую чувствительность.

Определено, что эфирное масло *T. marschallianus* в концентрации 10% обладает антимикробной активностью в отношении бактерий *Salmonella* sp. и *Clostridium* sp.; *T. vulgaris* в концентрации 10% — бактерий *Bacillus subtilis*; *T. serpyllum* в концентрации 10% и 4% — бактерий *Salmonella* sp. и *Clostridium* sp. соответственно и *T. kotschyanus* в концентрации 4% — бактерий *Clostridium* sp.).

Выполнение работы финансировалось в рамках НИР «Идентификация и анатомо-терапевтико-химическая классификация биологически активных соединений коллекции лекарственных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганхимия», № госрегистрации в ГУ «БелИСА» 20211495 от 21.05.2021.

Авторы выражают признательность сотрудникам ЦБС И.Н. Тычине, Т.В. Гиль, Б.Ю. Аношенко и В.В. Титку за предоставленные образцы растительного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

- Tohidi, B. Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Thymus* species collected from different regions of Iran / B. Tohidi, M. Rahimmalek, A. Arzani // Food Chemistry. — 2017. — Vol. 220. — P. 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.203>.
- Антибактериальная активность эфирных масел тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.) и тимьяна Маршалла (*Thymus marschallianus* Willd.) / О.Г. Шаповал, А.С. Шереметьева, Н.А. Дурнова [и др.] // Разработка и регистрация лекарственных средств. — 2023. — Т. 12, № 3. — С. 143–150. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-3-143-150>.

3. Chemical Composition and Biological Activity of Aerial Parts of *Thymus collinus* Bieb. Growing in Georgia / T. Korkotadze, D. Berashvili, S. Gokadze [et al.] // Georgian Biomedical News. — 2023. — Vol. 1, № 4. <https://doi.org/10.52340/GBMN.2023.01.01.43>.
4. *Thymus* spp. plants — Food applications and phytopharmacy properties / B. Salehi, M.S. Abu-Darwish, A.H. Tarawneh [et al.] // Trends in Food Science and Technology. — 2019. — Vol. 85. — P. 287–306. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.020>.
5. Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils / M. Nikolic, J. Glamoclija, I.C.F.R. Ferreira [et al.] // Industrial Crops and Products. — 2014. — Vol. 52. — P. 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.006>.
6. Винокурова, О.А. Сравнительная характеристика различных видов тимьяна: состав, свойства, применение (обзор) / О.А. Винокурова, О.В. Тринеева, А.И. Сливкин // Разработка и регистрация лекарственных средств. — 2016. — № 4(17). — С. 134–150.
7. Дурнова, Н.А. Химический состав эфирного масла *Thymus marshallianus* Willd. и *Thymus pallasianus* H.Br., произрастающих на территории Саратовской области / Н.А. Дурнова, А.Н. Романтеева, А.Н. Ковтун // Химия растительного сырья. — 2014. — № 2. — С. 115–119. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402115>.
8. Chemical Composition and Antioxidant, Antimicrobial Activities of the Essential Oils of *Thymus marschallianus* Will. and *Thymus Proximus* Serg / H.L. Jia, Q.L. Ji, S.L. Xing [et al.] // Journal of Food Science. — 2010. — Vol. 75, № 1. — P. E59–E65. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01413.x>.
9. Agili, F.A. Chemical composition, antioxidant and antitumor activity of *Thymus vulgaris* L. essential oil / F.A. Agili // Middle-East Journal of Scientific Research. — 2014. — Vol. 21, № 10. — P. 1670–1676.
10. *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity // O. Boruga, C. Jianu, C. Misca [et al.] // Journal of Medicine and Life. — 2014. — Vol. 7, Special Issue 3. — P. 56–60.
11. Antifungal activity of *Thymus* oils and their major compounds / C. Pina-Vaz, A. Goncalves Rodrigues, E. Pinto [et al.] // Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology. — 2004. — Vol. 18, № 1. — P. 73–78.
12. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of thyme (*Thymus vulgaris*) from Eastern Morocco / B. Imelouane, H. Amhamdi, J.P. Wathelet [et al.] // International Journal of Agriculture and Biology. — 2009. — Vol. 11, № 2. — P. 205–208.
13. Kilic, O. Essential oil composition of two *Thymus kotschyanus* Boiss. varieties from Elazığ (Turkey) / O. Kilic, F.A. Ozdemir // Supplement: Nutraceutical and Medicinal Plants. — 2017. — Vol. 19, № 1-S. <https://doi.org/10.23751/pn.v19i1-S.5334>.
14. Composition, Antifungal, Phytotoxic, and Insecticidal Activities of *Thymus kotschyanus* Essential Oil / G. Ghasemi, A. Alirezalu, Y. Ghosta [et al.] // Molecules. — 2020. — Vol. 25, № 5. <https://doi.org/10.3390/molecules25051152>.
15. Mirzaei, Z. *Thymus kotschyanus* Essential Oil Components and Their Effects on in vitro Rumen Fermentation, Protozoal Population and Acidosis Parameters / Z. Mirzaei, F. Hozhabri, D. Alipour // Iranian Journal of Applied Animal Science. — 2016. — Vol. 6, № 1. — P. 77–85.

REFERENCES

1. Tohidi B., Rahimmalek M., Arzani A. Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Thymus* species collected from different regions of Iran. Food Chemistry, 2017, vol. 220, pp. 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.203>.
2. Shapoval O.G., Sheremetyeva A.S., Durnova N.A., Mukhamadiev N.Q., Rabbimova G.T., Nazirbekov M.K., Kupryashina M.A. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* [Drug development and registration], 2023, 12(3), pp. 143–150. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-3-143-150>.
3. Korkotadze T., Berashvili D., Gokadze S., Jokhadze M., Getia M., Mchedlidze K., Legault J., Mshvildadze V. Chemical Composition and Biological Activity of Aerial Parts of *Thymus collinus* Bieb. Growing in Georgia. Georgian Biomedical News, 2023, vol. 1, no. 4. <https://doi.org/10.52340/GBMN.2023.01.01.43>.
4. Salehi B., Abu-Darwish M.S., Tarawneh A.H., Cabral C., Gadetskaya A.V., Salgueiro L., Hosseinabadi T., Rajabi S., Chanda W., Sharifi-Rad M., Mulaudzi R.B., Ayatollahi S.A., Kobarfard F., Arserim-Uçar D.K., Sharifi-Rad J., Ata A., Baghalpour N., Contreras M.D.M. *Thymus* spp. plants — Food applications and phytopharmacy properties. Trends in Food Science and Technology, 2019, vol. 85, pp. 287–306. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.020>.
5. Nikolic M., Glamoclija J., Ferreira I.C.F.R., Calhelha R.C., Fernandes A., Markovic T., Markovic D., Giweli A., Sokovic M. Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils. Industrial Crops and Products, 2014, vol. 52, pp. 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.006>.
6. Vinokurova O.A., Trineeva O.V., Slivkin A.I. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* [Drug development and registration], 2016, 4, pp. 134–150.
7. Durnova N.A., Romanteeva A.N., Kovtun A.N. *Khimiya rastitelnogo syrya* [Chemistry of Vegetable Raw Materials], 2014, 2, pp. 115–119. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402115>.
8. Jia H.L., Ji Q.L., Xing S.L., Zhang P.H., Zhu G.L., Wang X.H. Chemical Composition and Antioxidant, Antimicrobial Activities of the Essential Oils of *Thymus marschallianus* Will. and *Thymus Proximus* Serg. Journal of Food Science, 2010, vol. 75, no. 1, pp. E59–E65. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01413.x>.
9. Agili F.A. Chemical composition, antioxidant and antitumor activity of *Thymus vulgaris* L. essential oil. Middle-East Journal of Scientific Research, 2014, vol. 21, no. 10, pp. 1670–1676.
10. Boruga O., Jianu C., Misca C., Goleț I., Gruia A.T., Horhat F.G. *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity. Journal of Medicine and Life, 2014, vol. 7, Special Issue 3, pp. 56–60.
11. Pina-Vaz C., Goncalves Rodrigues A., Pinto E., Costa-de-Oliveira S., Tavares C., Salgueiro L., Cavaleiro C., Goncalves M.J., Martinez-de-Oliveira J. Antifungal activity of *Thymus* oils and their major compounds. Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology, 2004, vol. 18, no. 1, pp. 73–78.
12. Imelouane B., Amhamdi H., Wathelet J.P., Ankit M., Khedid K., El-Bachiri A. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of thyme (*Thymus vulgaris*) from Eastern Morocco. International Journal of Agriculture and Biology, 2009, vol. 11, no. 2, pp. 205–208.
13. Kilic O., Ozdemir F.A. Essential oil composition of two *Thymus kotschyanus* Boiss. varieties from Elazığ (Turkey). Supplement: Nutraceutical and Medicinal Plants, 2017, vol. 19, no. 1-S. <https://doi.org/10.23751/pn.v19i1-S.5334>.
14. Ghasemi G., Alirezalu A., Ghosta Y., Jarrahi A., Safavi S.A., Abbas-Mohammadi M., Barba F.J., Muneakata P.E.S., Dominguez R., Lorenzo J.M. Composition, Antifungal, Phytotoxic, and Insecticidal Activities of *Thymus kotschyanus* Essential Oil. Molecules, 2020, vol. 25, no. 5. <https://doi.org/10.3390/molecules25051152>.
15. Mirzaei Z., Hozhabri F., Alipour D. *Thymus kotschyanus* Essential Oil Components and Their Effects on in vitro Rumen Fermentation, Protozoal Population and Acidosis Parameters. Iranian Journal of Applied Animal Science, 2016, vol. 6, no. 1, pp. 77–85.

Поступила в редакцию 14.05.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: lena.feskova@mail.ru — Фескова Е.В.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ БРАЖНИКА СЛЕПОГО *SMERINTHUS CAECUS* MÉNÉTRIÈS, 1857 (LEPIDOPTERA, SPHINGIDAE) В БЕЛАРУСИ

Е.А. Держинский

Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»

Род Smerinthus Latreille, [1802] семейства бражников представлен в Беларуси двумя видами: бражником глазчатым — S. ocellatus (Linnaeus, 1758) и бражником слепым — S. caecus Ménéttriès, 1857. Первый из них широко распространен по всей республике, в то время как второй был ранее обнаружен только дважды (в 1985 и 2017 гг.) на востоке Витебской области. Бражник слепой внесен в приложение к пятому изданию Красной книги Республики Беларусь как вид, требующий дополнительного изучения и внимания в целях профилактической охраны.

Цель работы — уточнение распространения и частоты встречаемости бражника слепого на территории Беларуси.

Материал и методы. Основой работы явились преимущественно сборы автора из восточной части Витебской области, выполненные в 2017–2025 гг. с помощью искусственных источников света.

Результаты и их обсуждение. Показано, что по Беларуси проходит западная граница ареала бражника слепого — *S. caecus*. Вид распространен только в восточной части Витебской области, на территории Западнодвинского геоботанического округа подзоны дубово-темнохвойных лесов, встречается редко и локально, приурочен к участкам спелых и перестойных темнохвойных лесов.

Заключение. Предлагается повысить статус природоохранной значимости *S. caecus* в шестом издании Красной книги Республики Беларусь до категории IV — потенциально уязвимые (NT). В то же время необходимо продолжить изучение биологии вида в условиях Беларуси, на западной границе его ареала.

Ключевые слова: чешуекрылые, бражники, Красная книга, фауна, Беларусь, Белорусское Поозерье.

DISTRIBUTION OF THE NORTHERN EYED HAWKMOTH *SMERINTHUS CAECUS* MÉNÉTRIÈS, 1857 (LEPIDOPTERA, SPHINGIDAE) IN BELARUS

Ye.A. Derzhinsky

Education Establishment “Vitebsk State P.M. Masherov University”

The genus Smerinthus Latreille, [1802] of the hawk moth family is represented in Belarus by two species: the eyed hawk-moth — S. ocellatus (Linnaeus, 1758) and the northern eyed hawkmoth — S. caecus Ménéttriès, 1857. The former is widespread throughout the Republic, while the latter was previously found only twice: in 1985 and 2017, in the eastern Vitebsk Region. The northern eyed hawkmoth is listed in the appendix to the fifth edition of the Red Data Book of the Republic of Belarus as a species requiring additional study and attention for preventive conservation purposes.

The aim of this study is to clarify the distribution and frequency of the northern eyed hawkmoth in Belarus.

Material and methods. The paper is predominantly based on the material collected by the author from the eastern part of Vitebsk Region, carried out in 2017–2025 using artificial light sources.

Findings and their discussion. It has been shown that the western boundary of northern eyed hawkmoth (*S. caecus*) range runs through Belarus. The species is found only in the eastern part of Vitebsk Region, localized in the Western Dvina geobotanical district of the dark coniferous-broadleaf forest subzone where it's confined to areas of mature and overmature dark coniferous forests.

Conclusion. We propose upgrading the conservation status of *S. caecus* in the next, sixth edition of the Red Data Book of the Republic of Belarus to Category IV — potentially vulnerable (NT). It is also necessary to continue studying the species biology in Belarus, at the western edge of its range.

Key words: Lepidoptera, hawk moths, Red Book, fauna, Belarus, Belarusian Lake District, Belorusskoye Poozeriye.

Семейство бражники (Sphingidae) включает, преимущественно, чешуекрылых средних и крупных размеров. Имаго большинства видов активны в сумерках и ночью, нередко привлекаются искусственными источниками света. Имаго отличаются особым типом питания, при котором бабочки в полете зависают перед цветком, не садясь на него. Среди них есть активные мигранты, способные к перелетам на большие расстояния. Гусеницы бражников питаются листьями и хвоей различных деревьев и кустарников, как покрыто-, так и голосеменных, а также травянистыми растениями. При этом многие виды являются преимущественно узкими или широкими олигофагами [1]. Семейство имеет всесветное распространение, его представители населяют большинство климатических зон. В мировой фауне насчитывается более 1400 видов [2]. В Палеарктике отмечено 39 видов из 19 родов [1]. На территории Беларуси обнаружено 20 видов [3; 4], в том числе в Белорусском Поозерье — 16 [4]. Однако детали биологии и распространения некоторых видов в условиях Беларуси изучены, на наш взгляд, недостаточно. Одним из таких видов является представитель рода *Smerinthus* Latreille, [1802] — *Smerinthus caecus* Ménétrières, 1857.

Род *Smerinthus* Latreille, [1802] широко распространен в Голарктике, где насчитывает 10–11 видов. Гусеницы большинства видов — узкие олигофаги на древесных Rosaceae и Salicaceae, реже других семействах. В Палеарктике представлен 7 видами, из которых только 2: бражник глазчатый — *S. ocellatus* (Linnaeus, 1758) и бражник слепой — *S. caecus* Ménétrières, 1857 — встречаются в Беларуси. Бражник глазчатый широко распространен от Западной Европы до Алтая, Тянь-Шаня, гор Западной Монголии, Кавказа, Закавказья, Турции и северо-запада Ирана. Бражник слепой имеет транспалеарктический ареал: от северо-востока Беларуси и Ленинградской области на восток, к северу от 54° северной широты, где приурочен к смешанным и мелколиственным лесам; на северо-востоке европейской части России встречается в южной и средней тайге до 62° северной широты [5]; широко распространен на Урале и в Сибири, встречается в Забайкалье, на Дальнем Востоке России, в Якутии и Магаданской области; известен из северного и северо-восточного Казахстана, Монголии, Кореи, Японии (Хоккайдо, Хонсю), с северо-востока и востока Китая [1].

Из других палеарктических видов относительно широкий ареал имеют бражник Киндерманна — *S. kindermannii* Lederer, 1853, распространенный от Малой Азии, Закавказья, Сирии и Ирана до Средней Азии, Афганистана, Пакистана и запада Индии, и бражник глазчатый дальневосточный — *S. planus* Walker, 1856, который встречается на Дальнем Востоке России, в Корее, центральном и восточном Китае, Японии. Бражник глазчатый малый — *S. minor* Mell, 1937 выявлен в горах центрального Китая; бражник глазчатый токийский — *S. tokyonis* Matsumura, 1921 — на Японских островах; бражник глазчатый Вишинскаса — *S. visinskasi* Saldaitis et Zolotuhin, 2009 известен только из Западного Казахстана [1].

Для имаго обитающих в Беларуси *S. caecus* и *S. ocellatus* характерны хорошо заметные внешние отличительные признаки. У бражника слепого апикальный край переднего крыла между жилками R₄ и R₅ имеет выемку с темным треугольным пятном, а у глазчатого — апикальный край без выемки. Также у первого вида на переднем крыле медиальная линия почти параллельна внешнему краю, в то время как у второго медиальная линия загибается к заднему углу, а под ней у заднего края крыла хорошо заметно обособленное широкое пятно. На заднем крыле у бражника слепого голубой ободок в глазчатом пятне состоит из двух отдельных полуколец, разделенных черным полем. У бражника глазчатого голубой ободок цельный.

Несмотря на эти отличия, нельзя исключать, что некоторые из многочисленных литературных указаний *S. ocellatus* с территории Беларуси могут относиться к *S. caecus*. Гусеницы слепого бражника, предположительно, обитают в кронах деревьев и отличаются от гусениц глазчатого бражника мелкими размерами, более узкой головой и черными точками на дорсальной стороне рога [1]. Гусеницы *S. caecus* — по литературным данным — узкие олигофаги на Salicaceae, питаются листьями различных видов *Salix*, реже — *Populus* spp.

Актуальность уточнения распространения *S. caecus* в Беларуси и поиск новых его популяций подчеркивается внесением бражника слепого в приложение к пятому изданию Красной книги Республики Беларусь, выход которого ожидается в 2025 г., как вида, требующего дополнительного изучения и внимания в целях профилактической охраны.

Впервые *S. caecus* обнаружен на территории Беларуси в 1985 году [4]. Один экземпляр собран в Витебске И.А. Солодовниковым. Повторно вид найден в Беларуси автором данной публикации спустя более чем 30 лет — два экземпляра было собрано в Витебском районе, в 30 км ЮЮВ Витебска в 2017 г. [6]. В ходе изучения фауны чешуекрылых хвойных лесов восточной части Белорусского Поозерья, проводившегося автором в 2025 г., *S. caecus* был снова обнаружен в Витебской области.

Исходя из общего распространения вида в Евразии можно предположить, что по территории Беларуси проходит граница его ареала. Уточнение этой границы имеет значение для зоогеографического районирования Беларуси, а сведения о частоте встречаемости и состоянии выявленной популяции могут использоваться в природоохранных целях.

Цель работы — уточнение распространения и частоты встречаемости бражника слепого на территории Беларуси.

Материал и методы. Бабочки привлекались в ночное время на различные источники искусственного света (преимущественно газоразрядные лампы ДРЛ 250, ДРВ 250, Osram HQL 250) с применением экранов для сбора насекомых. В качестве источника электричества использовался генератор Honda EU10i. Также применялись светоловушки «пенсильванского типа», источником света в которых служили трубчатые ртутные люминесцентные лампы низкого давления Philips Actinic BL 8W и ультрафиолетовые светодиоды, питаемые через преобразователь от герметичных свинцово-кислотных аккумуляторов напряжением 12 В и емкостью 7 и 12 ампер-часов. Для автоматического включения лампы в вечерних сумерках и выключения на рассвете использовались фотореле. Были изучены материалы коллекции биологического музея ВГУ имени П.М. Машерова (далее — БМ ВГУ). Материалы, собранные автором, находятся в его рабочей коллекции и после окончания исследований будут переданы в коллекции БМ ВГУ и Зоологического института РАН в г. Санкт-Петербурге (далее — ЗИН РАН).

Фотографии имаго получены при помощи цифровой фотокамеры Nikon Z7 с макрообъективом Nikon AF-S VR Micro-Nikkor 105mm f/2.8G IF-ED.

Ниже приводятся данные этикеток собранных экземпляров бражника слепого с указанием даты и места находок.

Smerinthus caecus Ménétriers, 1857

Материал. Беларусь, Витебская обл.: 1 экз., г. Витебск, сквер, на свет, 14.06.1985 (И.А. Солодовников) (БМ ВГУ); 1 экз., Витебский р-н, 2 км В дер. Лучеса, 54°54'07.6" с.ш., 30°22'27.8" в.д., луг в долине р. Лучеса с кустарниками и широколиственными ассоциациями (*Quercus*, *Tilia*, *Acer*), на свет, 07.06.2017 (Е.А. Держинский) (рис. 1); 1 экз., Сенненский р-н, 1,3 км В дер. Щитовка, 54°52'25.0" с.ш., 30°24'10.4" в.д., опушка смешанного леса, край низинного осокового болота, светоловушка, 07.06.2017 (Е.А. Держинский); 2 экз., Оршанский р-н, окр. д. Лужки, 54°42'58.75" с.ш., 30°12'58.23" в.д., ельник кисличный, светоловушка, 8–9.06.2025 (Е.А. Держинский) (рис. 2).



Рис. 1. Внешний вид имаго *S. caecus*, Беларусь, Витебский район, 2 км В дер. Лучеса



Рис. 2. Биотоп *S. caecus* — ельник кисличный, Оршанский район

Результаты и их обсуждение. Первый экземпляр *S. caesus* на территории Беларуси был собран в сквере г. Витебска 14 июня 1985 г. И.А. Солодовниковым. Повторно бражник слепой обнаружен только в 2017 г. Один экземпляр собран 7 июня на светоловушку, которая была установлена в период с 6 июня по 1 августа на окраине открытого осокового низинного болота, образовавшегося в результате зарастания рыбоводных прудов. Вдоль края болота в древесном ярусе преобладает *Picea abies* с примесью *Betula pubescens*, *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, а также древесных и кустарниковых *Salix* spp. С севера к болоту примыкает участок сосняка черничного естественного происхождения возрастом 85 лет с участием в древостое ели, березы, осины, с востока — заболоченный березняк с примесью черной ольхи на площади 11,1 га. С юга болото ограничено долиной ручья, соединяющего рыбоводные пруды. В эту же ночь еще один экземпляр привлечен на свет газоразрядной лампы ДРВ 250 к энтомологическому экрану для сбора ночных насекомых в 2 километрах севернее, на лугу в долине р. Лучеса с кустарниками, окруженном широколиственными ассоциациями с дубом (*Quercus*), липой (*Tilia*) и кленом (*Acer*), в подлеске которых преобладали черемуха (*Padus*) и лещина (*Corylus*). Позже, в июне — июле 2017 г. сборы на свет неоднократно проводились в различных биотопах Шумилинского, Витебского и Сенненского районов, а светоловушка, на которую был привлечен первый экземпляр *S. caesus*, продолжала работать на том же месте до конца июля. Но ни одного экземпляра бражника слепого в 2017 г. более собрано не было.

В 2025 г. 2 экземпляра *S. caesus* были пойманы 8–9 июня в Оршанском районе (в 23 км юго-западнее мест находок 2017 г.) на светоловушку в ельнике кисличном с участием в древостое осины (естественного происхождения), возраст которого составляет 90 лет, а площадь — 1,6 га. Следует упомянуть, что в период с конца марта до конца сентября 2025 г. регулярные сборы насекомых на светоловушки проводились нами также в хвойных лесах Витебского, Городокского, Оршанского, Полоцкого, Россонского, Сенненского и Ушачского районов. В 2022–2023 гг. регулярные сборы на светоловушки выполнялись в хвойных лесах Витебского района. В конце июня 2023 г. также с помощью светоловушек был обследован участок хвойного леса в устье р. Бикложа Бешенковичского района — ельник кисличный возрастом 80 лет и сосняк черничный возрастом 90 лет. В 2023–2024 гг. регулярные сборы проводились в различных биотопах ландшафтного заказника «Козьянский» в Шумилинском районе, включая еловые, смешанные и мелколиственные леса в окрестностях крупного верхового болота Оболь-2, открытые участки болота и сосняки на болоте. Ни в одном из этих мест *S. caesus* обнаружен не был.

Таким образом, все известные к настоящему времени находки бражника слепого на территории Беларуси приурочены к восточной части Западнодвинского геоботанического округа подзоны дубово-темнохвойных лесов (рис. 3). В остальной части республики он до сих пор не выявлен. В Скандинавии, Прибалтике и Польше этот вид также отсутствует [7; 8]. В европейской части России *S. caesus* отмечен на северо-западе, северо-востоке и в средней полосе. Восточнее ареал вида включает также Средний и Южный Урал, Западную и Южную Сибирь, Дальний Восток России, север Казахстана, Монголию, север и северо-восток Китая, Корею, Японию [9; 10]. Таким образом, основная часть ареала бражника слепого находится в пределах зоны тайги и смешанных лесов, а южная и западная граница его распространения, очевидно, проходит по территории Беларуси. В силу немногочисленности находок сложно установить сроки лета имаго в условиях Беларуси. Все доступные нам экземпляры собраны в первой половине мая. Известно, что на большей части ареала вид развивается в одном поколении, лет происходит в конце мая — июле, но в Китае и Японии бабочки встречаются до конца августа. Вероятно, это указывает на возможность появления неполного второго поколения [1]. Предположительно, первоначальный ареал бражника слепого лежит в азиатской части Евразии, а в Восточную Европу он проник в исторически недавнее время [1].

Численность вида на территории Беларуси, вероятно, невысока. Несмотря на проводившиеся автором и его коллегами многолетние регулярные сборы чешуекрылых на всей территории Беларуси, в том числе и на востоке Белорусского Поозерья, обнаружить его удалось лишь трижды.

Вид включен в Красную книгу Ленинградской области [11], где ему присвоена категория редкости 3 — редкий вид (таксоны и популяции, которые имеют малую численность и распространены на ограниченной территории (или акватории) или спорадически распространены на значительных территориях (или акваториях)); Красные книги Тульской [12] (категория 3в — вид, находящийся под угрозой исчезновения в отдаленной перспективе), Московской [13] (5 категория — вид, восстанавливающий численность на территории области) и Калужской [14] (3 категория — редкий вид) областей.

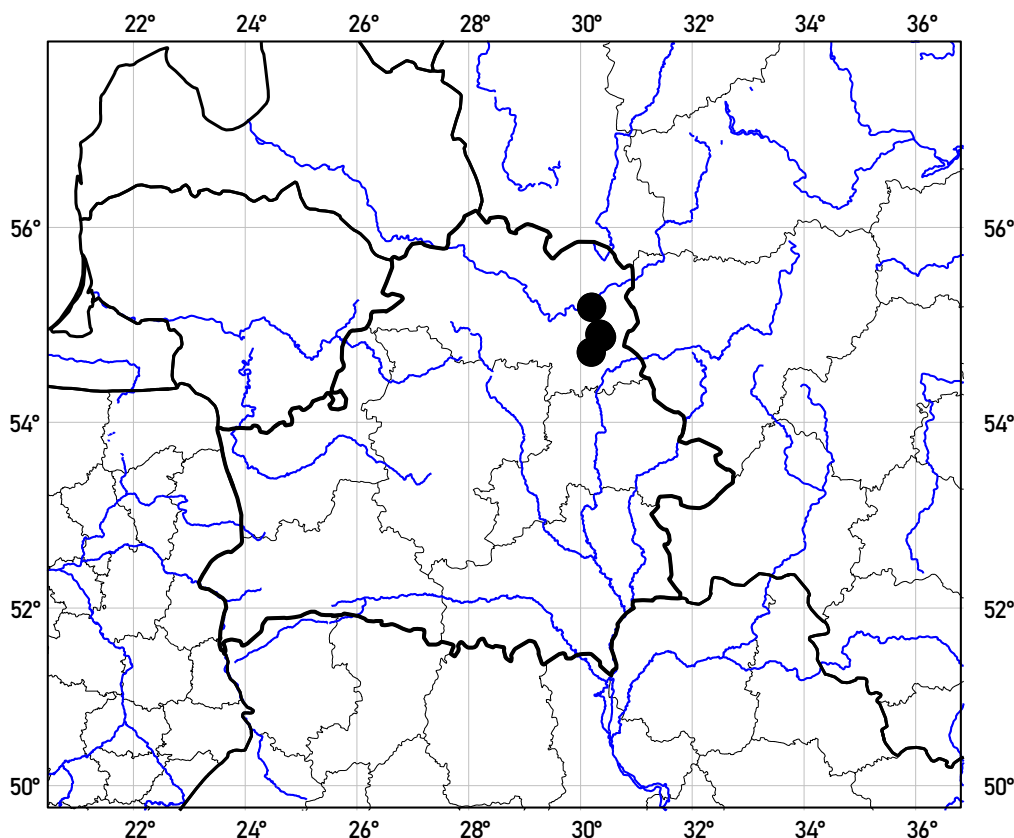


Рис. 3. Карта находок *S. caecus* в Беларуси

Заключение. В результате проведенного в 2025 г. исследования фауны чешуекрылых хвойных лесов восточной части Белорусского Поозерья после 7-летнего перерыва на территории Беларуси был вновь обнаружен бражник *Smerinthus caecus* Ménétrière, 1857 — представитель фауны таежных лесов. Новое местонахождение, как и предыдущие, принадлежит восточной части Западнодвинского геоботанического округа подзоны дубово-темнохвойных лесов. Учитывая его низкую численность, локальность, приуроченность к старовозрастным темнохвойным лесам и природоохранный статус в соседних регионах Российской Федерации, считаем целесообразным повысить статус природоохранной значимости *Smerinthus caecus* в следующем (шестом) издании Красной книги Республики Беларусь до категории IV — потенциально уязвимые (NT). В то же время необходимо продолжить изучение биологии вида в условиях Беларуси, на западной границе его ареала.

Автор признателен А.В. Кулаку (ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск, Беларусь) за ценные замечания при подготовке рукописи и помощь в изготовлении фотографии имаго бражника слепого, И.А. Солодовникову и В.М. Коцуру (ВГУ имени П.М. Машерова) за помощь в полевых исследованиях.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Республики Беларусь в сфере науки на 2025 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотухин, В.В. Бражники (Lepidoptera, Sphingidae) фауны России и сопредельных территорий / В.В. Золотухин, С.И. Евдошенко. — Ульяновск: Издательство «Корпорация технологий продвижения», 2019. — 480 с.
2. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758 / E.J. Nieuwerkerken, L. Kaila, I.J. Kitching [et al.] // In: Animal Biodiversity: An Outline of Higher-Level Classification and Survey of Taxonomic Richness / Z.-Q. Zhang (ed.). — Zootaxa. — 2011. — Vol. 3148. — P. 212–221.
3. Мержеевская, О.И. Чешуекрылые (Lepidoptera) Белоруссии (каталог) / О.И. Мержеевская, А.Н. Литвинова, Р.В. Молчанова. — Минск: Наука и техника, 1976. — 132 с.
4. Солодовников, И.А. Бражники (Lepidoptera, Sphingidae Latr., 1802) Северной Беларуси / И.А. Солодовников, А.М. Дорофеев, А.А. Лакотко, В.И. Пискунов, С.И. Денисова, Т.М. Роменко // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. — 1999. — № 1(11). — С. 80–86.
5. Татаринов, А.Г. Высшие разноусые чешуекрылые / А.Г. Татаринов, К.Ф. Седых, М.М. Долгин. — СПб.: Наука, 2003. — 223 с. — (Фауна европейского Северо-Востока России. Высшие разноусые чешуекрылые. Т VII, ч. 2).

6. Держинский, Е.А. Новые находки бражника слепого *Smerinthus caecus* (Lepidoptera, Sphingidae) в Белорусском Поозерье / Е.А. Держинский // Наука — образованию, производству, экономике: материалы XXIII(70) Регион. науч.-практ. конф. преподавателей, науч. сотрудников и аспирантов, Витебск, 15 февр. 2018 г.: в 2 т. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. — Витебск, 2018. — Т. 1. — С. 58–59.
7. Buszko, J. Motyle nocne Polski. Macrolepidoptera: Część I. Lasiocampidae, Endromidae, Lemoniidae, Saturniidae, Sphingidae, Thaumetopoeidae, Notodontidae, Lymantriidae, Pantheidae, Nolidae, Arctiidae / J. Buszko, J. Masłowski. — Nowy Sącz: Koliber, 2012. — 301 p.
8. Nordic-Baltic Checklist of Lepidoptera / L. Aarvik, B.Å. Bengtsson, H. Elven [et al.] // Norwegian Journal of Entomology. Suppl. 3. — 2017. — P. 1–236.
9. Золотухин, В.В. Семейство Sphingidae / В.В. Золотухин // Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России / под ред. С.Ю. Синёва. — Изд. 2-е. — СПб.: Зоологический институт РАН, 2019. — С. 286–289.
10. Чистяков, Ю.А. Сем. Sphingidae — бражники / Ю.А. Чистяков, Е.А. Беляев // Аннотированный каталог насекомых Дальнего Востока России: в 5 т. / А.С. Лелей (гл. ред.) [и др.]. — Владивосток: Дальнаука, 2016. — Т. II: Lepidoptera — Чешуекрылые. — С. 320–327.
11. Миронов, В.Г. Бражник слепой *Smerinthus caecus* (Ménétriés, 1857) / В.Г. Миронов // Красная книга Ленинградской области. Животные / под ред. Ю.Н. Бубличенко [и др.]. — СПб.: Папирус, 2018. — С. 151–152.
12. Большаков, Л.В. Бражник слепой *Smerinthus caecus* (Ménétriés, 1857) / Л.В. Большаков, С.А. Рябов // Красная книга Тульской области. Животные / под ред. Ю.Ю. Панфилова [и др.]. — Белгород: Константа, 2023. — С. 265–266.
13. Свиридов, А.В. Бражник слепой *Smerinthus caecus* Mén. / А.В. Свиридов // Красная книга Московской области / под ред. Т.И. Варлыгиной [и др.]. — 3-е изд., пер. и доп. — Московская обл.: ПФ «Верховье», 2018. — С. 331.
14. Шмытова, И.В. Бражник слепой *Smerinthus caecus* Ménétriés, 1857 / И.В. Шмытова // Красная книга Калужской области: в 2 т. / под ред. В.А. Антохина [и др.]. — 2-е изд. — Калуга: Ваш Дом, 2017. — Т. 2: Животный мир. — С. 131.

REFERENCES

1. Zolotuhin V.V., Evdoshenko S.I. *Brazhniki (Lepidoptera, Sphingidae) fauny Rossii i sopredelnykh territory* [Hawk moths (Lepidoptera: Sphingidae) of Russia and adjacent territories]. — Ulyanovsk: Izdatelstvo "Korporatsiya tekhnologii prodvizheniya" Publishing, 2019, 480 p.
2. Nieukerken, E.J. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758 / E.J. Nieukerken, L. Kaila, I.J. Kitching, N.P. Kristensen, D.C. Lees, J. Minet, C. Mitter, M. Mutanen, J.C. Regier, T.J. Simonsen, N. Wahlberg, S.-H. Yen, R. Zahiri, D. Adamski, J. Baixeras, D. Bartsch, B.A. Bengtsson, J.W. Brown, S.R. Bucheli, D.R. Davis, J. De Prins, W. De Prins, M.E. Epstein, P. Gentili-Poole, C. Gielis, P. Haëttenschwiler, A. Hausmann, J.D. Holloway, A. Kallies, O. Karlholt, A. Kawahara, S.J.C. Koster, M. Kozlov, J.D. Lafontaine, G. Lamas, J.-F. Landry, S. Lee, M. Nuss, C. Penz, J. Rota, B.C. Schmidt, A. Schintlmeister, J.C. Sohn, M.A. Solis, G.M. Tarmann, A.D. Warren, S. Weller, R. Yakovlev, V. Zolotuhin, A. Zwick // In: Animal Biodiversity: An Outline of Higher-Level Classification and Survey of Taxonomic Richness; Z.-Q. Zhang (ed.). — Zootaxa. — 2011. — Vol. 3148: — P. 212–221.
3. Merzhheevskaya O.I., Litvinova A.N., Molchanova R.V. *Cheshuekrylye (Lepidoptera) Belorussii (katalog)* [Catalogue of Lepidoptera of Byelorussia]. — Minsk: Nauka i Tekhnika, 1976, 132 p.
4. Solodovnikov I.A., Dorofeyev A.M., Lakotko A.A., Piskunov V.I., Denisova S.I., Romenko T.M. *Vesnik Vitebskaga dzyarzhavna universiteta* [Journal of Vitebsk State University]. — 1999, 1(11), pp. 80–86.
5. Tatarinov A.G., Sedykh K.F., Dolgin M.M. *Vysshie raznousye cheshuekrylye* [Higher heterocerans moths]. — SPb.: Nauka, 2003, 223 p.
6. Derzhinsky Ye.A. *Nauka — obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike: materialy XXIII(70) region. nauch.-prakt. konf. prepodavatelei, nauch. sotrudnikov i aspirantov, Vitebsk, 15 fevr. 2018 g.* [Science — to Education, Industry, Economy: Proceedings of the XXIII(70) Scientific and Practical Conference of Teachers, Researchers and Postgraduate Students, Vitebsk, February 15, 2018: in 2 vol.], Vitebsk, 2018, 1, pp. 58–59.
7. Buszko, J. Motyle nocne Polski. Macrolepidoptera: Część I. Lasiocampidae, Endromidae, Lemoniidae, Saturniidae, Sphingidae, Thaumetopoeidae, Notodontidae, Lymantriidae, Pantheidae, Nolidae, Arctiidae / J. Buszko, J. Masłowski. — Nowy Sącz: Koliber, 2012. — 301 p.
8. Aarvik, L. Nordic-Baltic Checklist of Lepidoptera / L. Aarvik, B.Å. Bengtsson, H. Elven, P. Ivinskis, U. Jürivete, O. Karsholt, M. Mutanen, N. Savenkov // Norwegian Journal of Entomology. Suppl. 3. — 2017. — P. 1–236.
9. Zolotukhin V.V. *Katalog cheshuekrylykh (Lepidoptera) Rossii* [Catalogue of the Lepidoptera of Russia], SPb: Zoologicheskii institut RAN, 2019, pp. 286–289.
10. Chistiakov Yu.A., Belyayev E.A. *Annotirovanny katalog nasekomykh Dalnego Vostoka Rossii: v 5 t.* [Catalogue of Insects of Russian Far East: in 5 Volumes], Vladivostok: Dalnauka, 2016, 2, pp. 320–327.
11. Mironov V.G. *Krasnaya kniga Leningradskoi oblasti: Zhivotniye* [Red Book of Leningrad Region, Animals], SPb.: Papirus, 2018, pp. 151–152.
12. Bolshakov L.V., Riabov S.A. *Krasnaya kniga Tulsckoi oblasti: Zhivotniye* [Red Book of Tula Region, Animals]. — Belgorod: Konstanta, 2023, pp. 265–266.
13. Sviridov A.V. *Krasnaya kniga Moskovskoi oblasti* [Red Book of Moscow Region], Moskovskaya obl.: PF "Verkhovye", 2018, pp. 331.
14. Shmytova I.V. *Krasnaya kniga Kaluzhskoi oblasti: v 2 t.* [Red Book of Kaluga Region: in 2 vol.]. — Kaluga: Vash Dom, 2017, 2, pp. 131.

Поступила в редакцию 10.10.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: dernoctuid@mail.ru — Держинский Е.А.



ПЕДАГОГІКА

УДК 172.15:37.015.31

ПАТРИОТИЗМ КАК ЦЕННОСТЬ И ЕГО ВОСПИТАНИЕ КАК ВАЖНЕЙШАЯ ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

И.А. Шарапова

Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»

В исследовании показано, что патриотизм — это неравнодушное отношение к Родине, ее истории, героям. В белорусской культурной традиции — это еще и служение Государству, гордость за отечественную культуру, достижения и национальное наследие.

Цель работы — определить пути развития педагогики, которые позволят воспитать истинного патриота, выявить векторы подготовки учителя, способного управлять воспитательным процессом ребенка и решать учебные и социально значимые задачи, поставленные государством и обществом.

Материал и методы. Материалом послужили анкетирование 50-ти студентов III–IV курсов педагогического факультета и современные электронные белорусские СМИ. Анкеты были обработаны посредством метода концептуального анализа. Кроме того, использовались традиционные методы — наблюдение, описание, анализ.

Результаты и их обсуждение. Автором понятие патриотизма понимается как высшая ценность, выражающаяся в привязанности к своей земле, дому, малой родине, в привитии созидательной любви к Отечеству. Патриотизм является главным смыслом образования, идеологической и информационной политики современного белорусского государства. Доказано, что природа патриотизма носит эмоционально-чувственный характер, следовательно, чувство патриотизма необходимо воспитывать на образах — зрительных, слуховых (музыкальных), исторической памяти.

Заключение. Формирование ценностей влияет на нормы поведения, которые выступают как значимая составляющая воспитания личности. С раннего детства ребенок должен понимать, что его действия имеют последствия для окружающего мира, а уважение к людям — это основа основ гармоничной жизни в обществе, патриотизм же — фундамент развития сильного и процветающего государства.

Ключевые слова: идеология, культура, ценности, патриотизм, поведение, социальные нормы.

PATRIOTISM AS A VALUE AND PATRIOTIC EDUCATION AS A CRUCIAL PEDAGOGICAL PROBLEM

I.A. Sharapova

Education Establishment “Vitebsk State P.M. Masherov University”

The article shows that patriotism is loyalty towards the Motherland, its history, and its heroes. In our cultural tradition, it is also about serving the State, being proud of our culture, our achievements, history, and traditions.

The goal of the work is to find solutions in pedagogy that will help to raise a real patriot, to find out vectors of training a teacher who can guide the educational process of children and solve academic and social problems necessary for society and the state.

Material and methods. The article is based on a survey of 50 third- and fourth-year students from the Faculty of Education. The survey was processed using the method of conceptual analysis. In addition, traditional methods such as observation, description, and analysis were used.

Findings and their discussion. The author understands the notion of patriotism as a highest value expressed in attachment to one's Motherland, home, homeland, in cultivating love for Motherland. Patriotism is the main sense of education, ideological and information policy of the contemporary Belarusian state. It has been proven that the nature of patriotism is emotionally-sensual, which means that the feeling of patriotism should be nurtured through visual, auditory (musical), and historical memory images.

Conclusion. The formation of values affects the norms of behavior, which are an important part of the personality upbringing. From an early age, a child should understand that their actions have consequences for others, that respect for people is the foundation of a harmonious life in society, and that patriotism is the basis for the strong and flourishing state development.

Key words: ideology, culture, values, patriotism, behavior, social norms.

Человек сегодня пленен техникой. Причем, пленен и в прямом значении (будто захвачен в плен, покорен), и в переносном (с восхищением преклоняется перед ней). В настоящее время взрослый человек берет в руки смартфон более 100 раз в день, а ребенок — еще больше. Современная педагогика как наука, исследующая основополагающие принципы воспитания, образования и обучения, может помочь нивелировать негативное влияние цифровой эпохи на ребенка, подготовить его к наступлению новой цивилизации праздности, когда за человека все делает искусственный интеллект — от простых работ по дому до сложных вычислений. Но при создании такого общества непременно возникает целый ряд проблем — от нравственных до интеллектуальных, и педагогика должна это учитывать.

Происходят новые вызовы и в образовании: в связи с развитием цивилизации потребления главным критерием оценки образования служит финансовая оценка: образование в современном мире становится дорогим и затратным, это ценность, товар, за который много платят, в него вкладывают определенные финансовые ресурсы. Образование актуализируется с помощью телеологического типа оценки — с позиций пользы. Поэтому в обществе нужно поменять отношение к образованию через ценностную компоненту.

И сейчас, как никогда ранее, очень важно не позволить никому разрушить то, что создавалось и вырабатывалось многими поколениями белорусов. Это наши традиции, духовность, ценности. Это лучшее, что есть в жизни общества и государства.

В стране в начале века была популярна, на наш взгляд, спорная с точки зрения не только идеологии, но и педагогики и психологии, а также вредная для республики идея: воспитывать должны родители, а школа — давать знания.

В этой ситуации вопросы воспитания приобрели злободневность. Уже сейчас в ряде случаев требуются специальные программы — «машины эмпатии», чтобы научить младшего школьника понять мир другого человека, для чего нужно попытаться погрузиться в окружающий мир, почувствовать душу другого. Раньше этому содействовали литература, музыка, художественное творчество. Но сейчас происходит дегуманизация общества. Библейский завет *добывать хлеб в поте лица своего* ушел в прошлое. Хлеб с маслом и икрой многими добывается легко, с песней и приплясыванием. М. Хайдеггер еще в середине прошлого столетия заметил, что под влиянием техники происходит разрушение всего человеческого в человеке [1]. С ним солидарны многие современные мыслители, например, российский философ В.В. Налимов [2], французский Э. Эллюль, который подчеркивал: «Техника — фактор порабощения человека» [3, с. 148].

Актуальность выбранной темы определяется особо важной ролью такой ценности культуры и образования, как патриотизм. Известный социолог и педагог П.А. Сорокин определял культуру как «совокупность значений, ценностей и норм, которыми владеют взаимодействующие лица, и совокупность носителей, которые объективируют, социализируют и раскрывают эти значения» [4, с. 218].

Цель работы — определить пути развития педагогики, которые позволят воспитать истинного патриота, выявить векторы подготовки учителя, способного управлять воспитательным процессом ребенка и решать учебные и социально значимые задачи, поставленные государством и обществом.

Материал и методы. Материалом послужили анкетирование 50-ти студентов III–IV курсов педагогического факультета и современные электронные белорусские СМИ. Анкеты были обработаны посредством метода концептуального анализа. Кроме того, использовались традиционные методы — наблюдение, описание, анализ.

Результаты и их обсуждение. Патриотизм располагается в одном ряду с такими философско-психологическими проблемами, как идеология, мировоззрение (частью которого он является), система ценностей, вера, национальная идея, национально-культурное мировидение и др.

Патриот, согласно Толковому словарю В.И. Даля, — это «любитель отечества, ревнитель о благе его, отчизналюб», а «патриотизм — любовь к отчизне» [5, с. 24]. Большой универсальный словарь русского языка определяет рассматриваемую ценность так: «Патриотизм — любовь к родине, преданность своему отечеству, своему народу» [6, с. 757].

В нашем понимании патриотизм — это неравнодушное отношение к Родине, ее истории, героям. А в белорусской культурной традиции — это еще и служение Государству. Это «гордость за нашу культуру, за наши достижения, историю, традиции, унаследованные нами из прошлого» [7, с. 288]. И здесь на первый план выходят следующие качества личности: любовь, преданность, жертвенность, гордость. Мы видим, что природа патриотизма носит эмоционально-чувственный характер, а, как доказали психологи, чувства воспитываются на образах — зрительных, слуховых (музыкальных), исторической памяти. Именно ценности влияют на то, что человек говорит и делает, т.е. проявляются через его поведение.

Национальное сообщество в процессе жизни вырабатывает, а потом хранит программу поведения, предписываемую всем его членам [8, с. 7]. Регулируют эту программу ценности и нормы, что отличает человеческую деятельность от деятельности животных [9, с. 46].

Специфика человеческого поведения зависит от многих факторов. «Для каждой этнической культуры характерны свои представления о значимости тех или иных фрагментов поведения и, следовательно, своя конфигурация границы между обязательным (типизированным) и свободным (индивидуальным) поведением» [8, с. 8]. Категория ценности тесно связана с категорией оценки и нормы. В философских, лингвистических, социологических исследованиях данное понятие не всегда дифференцируется и называется нормативно-оценочным.

Ценности интерпретируются нами как регуляторы мышления и поведения их носителей, они становятся каркасом идеологии, которую общество разделяет. Ценностный базис играет ведущую роль в структуре человеческой деятельности.

Особенно важны для общества морально-нравственные установки, которые содержат как универсальные, т.е. общечеловеческие, ценности (уважительное отношение к старшим, родителям, женщинам, гостеприимство, понятия чести, достоинства, скромность, толерантность, благожелательность и др.), так и национально-специфические, которых насчитывается не так и много. Иерархия общечеловеческих ценностей имеет свои особенности в конкретном обществе. «Принцип гостеприимства входит в моральный кодекс любого народа, но далеко не у всех он стоит на первом месте. Почитание родителей занимает одну из верхних строк в мусульманской системе моральных ценностей и весьма слабо выражено у европейских народов» [8, с. 12].

Философия, лингвистика и педагогика позволили выявить важнейшие общечеловеческие ценности: *патриотизм, достаток, здоровье, любовь, процветание, комфорт, свободу личности, демократию, прогресс, богатство, эффективность, законность, стабильность, безопасность, религиозность, независимость, образование, равенство, родину, свободу, семью, справедливость, творчество, труд, удовольствие, успех, любовь к Родине и земле, где родился и вырос, гордость за исторические свершения народа, готовность защищать свое Отечество, уважение к национальным традициям и ценностям, единство, долг, независимость, дружбу, братство, равенство.*

Данные ценности подразделяются на следующие группы: материальные и нравственные ценности (*честь, совесть, достоинство, счастье, добро, зло*), религиозные (*вера, Бог, спасение, смирение* и др.), научные (*истина, доказательство, гипотеза*), эстетические (*прекрасное, безобразное*), правовые (*закон, правопорядок*), социальные (*семья, дети, материнство, отцовство*), политические (*мир, демократия, толерантность*) и др.

Патриотические качества человека особенно ярко проявляются в его реальных поступках и практическом участии в общественной жизни коллектива и страны. «Эффективность формирования патриотизма зависит не только от уровня профессионализма педагогических работников, осуществляющих обучение и воспитание, но и от подготовки будущих педагогов, от степени вовлеченности учащихся и их родителей в систему патриотического воспитания» [10, с. 39].

Ключевые ценности иерархически организованы и могут частично повторяться у других народов, но в иной конфигурации. Ценности и устойчивы, и подвижны одновременно. Поскольку ценности недоступны непосредственному наблюдению, для их выявления обратимся к анкетированию.

Отечественные социологи установили, что главные ценности белоруса — это *бескорыстие, коллективизм, памяркоўнасць, патриотизм*. Поскольку их исследования касались населения страны вообще, а не конкретных возрастных групп, мы для определения важнейших ценностей белорусских студентов провели пилотный эксперимент, который позволил выделить в качестве основных ценностей молодежного лингвосоциума такие, как *трудолюбие/труд, скромность, дружба, сочувствие, любовь, любовь к малой родине; взаимопомощь («талака»); толерантность; неприятие конфликтов*.

Для социологической выборки нами была использована методика информационно-аналитического центра при Администрации Президента Республики Беларусь. Возрастной срез — 20 лет. Всего респондентов было 50 человек.

Студентам педагогического факультета ВГУ имени П.М. Машерова (III–IV курсы) предложили две анкеты. Первая включала вопросы:

1. Какие ценностные качества вы хотели бы иметь у себя?
2. Какие ценностные качества вы цените у окружающих людей?

Во второй анкете испытуемым были даны список ценностей, разработанных гуманитарными дисциплинами, и задания:

- 1) выделите 3 ценности, которые важны для вас;
- 2) напишите 3 ценности, наиболее характерные для жителей Витебщины.

Список предложенных ценностей составили: *безопасность, богатство, дети, добро, долг, достоинство, законность, патриотизм, процветание, наука, правосудие, комфорт, свобода личности, демократия, прогресс, достаток, здоровье, любовь, мир, независимость, образование, родина, свобода, семья, справедливость, творчество, труд, удовольствие, успех, честь, совесть, счастье, одиночество, дружба, истина, прекрасное, семья, материнство, толерантность*.

Результаты проведенного опроса позволили нам выстроить систему базовых ценностей с точки зрения студента ВГУ имени П.М. Машерова, в центре которой находятся:

- 1) *семья*;
- 2) *дети*;
- 3) *здоровье*;
- 4) *богатство*;
- 5) *любовь*;
- 6) *патриотизм*.

Как видим, только шестую позицию в этой личной иерархии ценностей занимает патриотизм, что свидетельствует о необходимости усиления и совершенствования воспитательной работы на факультете.

Заключение. Таким образом, проблема ценностей — это глобальная проблема, решить которую можно только совместными усилиями философии (аксиологии), культурологии, психологии, социологии, педагогики и других современных областей человеческого знания. Причем у разных наук свои аспекты рассмотрения одной и той же ценности: философия выстраивает методологию ее исследования, культурология устанавливает роль каждой ценности в культуре, педагогика занимается формированием ценностей у молодых людей и т.д.

Основная роль в обучении и воспитании школьников и студентов принадлежит Учителю, который является не только носителем системы знаний, обогащенных уникальным жизненным опытом, но и ориентиром для развития ценностных представлений и формирования мировоззрения личности Ученика. Такова отечественная образовательная традиция. Поэтому весьма актуально сформировать у будущего учителя необходимые для общества компетенции, нормы и правила поведения. Особенно важны ценности, составляющие основу системы гуманистических координат, в частности патриотизм. При этом возникает еще один вопрос: как превратить ценности из абстрактных идей в материальную силу? Эту проблему следует также решать с помощью интеграции знаний, предоставляемых разными науками.

Формирование ценностей влияет на нормы поведения, которые выступают как значимая компонента воспитания личности, что готовит учащегося начальной школы к взаимодействию с миром

вокруг, допускает его единение с природой как естественной средой обитания человека. С раннего детства ребенок должен понимать, что его действия имеют последствия для окружающих и что уважение к людям — это основа основ гармоничной жизни в обществе, а патриотизм — это как раз активное стремление делать свою Родину лучше. Воспитание — феномен культуры. Воспитание патриотизма — магистральная задача начальной, средней и высшей школы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайдеггер, М. Разговор на проселочной дороге / М. Хайдеггер. — М.: Высшая школа, 1991. — 192 с.
2. Налимов, В.В. Разбрасываю мысли / В.В. Налимов. — М.: Прогресс-Традиция, 1997. — 344 с.
3. Эллюль, Ж. Другая революция / Ж. Эллюль. — М.: Высшая школа, 1986. — 152 с.
4. Сорокин, П.А. Человек. Цивилизация. Общество / П.А. Сорокин. — М.: Политиздат, 1992. — 543 с.
5. Даль, В.И. Толковый словарь живого великорусского языка: в 4 т. / В.И. Даль. — М.: Русский язык, 1980. — Т. 3. — 556 с.
6. Большой универсальный словарь русского языка / Гос. ин-т русского языка имени А.С. Пушкина; под ред. В.В. Морковкина. — М.: Словари XXI века, 2010. — 1456 с.
7. Андреев, А.Н. Идеология как феномен культуры и цивилизационный ресурс России / А.Н. Андреев. — М.: Снежный Ком, 2023. — 302 с.
8. Байбурин, А.К. У истоков этикета / А.К. Байбурин, А.Л. Топорков. — Л.: Наука, 1990. — 168 с.
9. Смирнов, П.И. Социология личности / П.И. Смирнов. — СПб.: Социологическое общество им. М.М. Ковалевского, 2001. — 380 с.
10. Формирование патриотизма в системе взаимодействия «учащийся начальных классов — учитель—родитель—студент» (на примере экскурсионного маршрута «Венок Победы») / И.А. Шарапова, Н.И. Ерёмченко, Е.А. Кущина, Д.С. Майтова // Современное образование Витебщины. — 2024. — № 3(45). — С. 38–47.

REFERENCES

1. Heidegger M. *Razgovor na prosyolochnoi doroge* [A conversation on a country road], Moscow: Vysshaya shkola, 1991, 192 p.
2. Nalimov V.V. *Razbrasyvayu mysli* [I scatter my thoughts], Moscow: Progress-Traditsiya, 1997, 344 p.
3. Ellul Zh. *Drugaya revolyutsiya* [Another revolution], Moscow: Vysshaya shkola, 1986, 152 p.
4. Sorokin P.A. *Chelovek. Tsivilizatsiya. Obshchestvo* [Man. Civilization. Society], Moscow: Politizdat, 1992, 543 p.
5. Dal V.I. *Tolkovy slovar zhivogo velikorusskogo yazyka* [Explanatory dictionary of the living Great Russian language], Moscow: Russki yazyk, 1980, 556 p.
6. *Bolshoj universalny slovar russkogo yazyka* [A large universal dictionary of the Russian language], Moscow: Slovare XXI veka, 2010, 1456 p.
7. Andreyev A.N. *Ideologiya kak fenomen kultury i tsivilizatsionny resurs Rossii* [Ideology as a Cultural Phenomenon and Russia's Civilizational Resource], Moscow: Snezhny Kom, 2023, 302 p.
8. Baiburin A.K., Toporkov A.L. *U istokov etiketa* [At the origins of etiquette], Leningrad: Nauka, 1990, 168 p.
9. Smirnov P.I. *Sotsiologiya lichnosti* [Sociology of personality], SPb.: Sotsiologicheskoye obshchestvo im. M.M. Kovalevskogo, 2001, 380 p.
10. Sharapova I.A., Eremenko N.I., Kushchina E.A., Maitova D.S. *Sovremennoye obrazovaniye Vitebshchiny* [Modern Education of Vitebsk Region], 2024, 3(45), pp. 38–47.

Поступила в редакцию 20.10.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: pf@vsu.by — Шарапова И.А.

УДК 796.035-053.5

ФИЗКУЛЬТУРНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА В СВОБОДНОЕ ВРЕМЯ

В.Ф. Аржанович*, В.Г. Шпак**

**Государственное учреждение «Витебский областной учебно-методический центр
физического воспитания населения»*

***Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»*

На формирование здоровья ребенка оказывают воздействие многие факторы, в частности физическая активность. С раннего детства родители учат малышей делать зарядку, в детском саду педагоги помогают воспитанникам освоить разминки, активные игры в группе и на свежем воздухе. На этапе обучения в школе необходимо не только поддерживать минимальный уровень физической подготовки ребенка, но и совершенствовать двигательные навыки и качества. Для этого на базе физкультурно-спортивных клубов создаются секции по различным видам спорта, в том числе современным и востребованным в молодежной среде.

Цель работы — определить наиболее популярные виды и формы двигательной активности в свободное от учебы время и общее воздействие занятий физической культурой и спортом на занимающегося.

Материал и методы. В период с 19 по 20 января 2024 года было организовано исследование путем проведения анкетирования среди 129 человек в возрасте от 11 до 14 лет, проживающих в различных регионах Витебской области, занимающихся в группах общей физической подготовки в учреждениях физкультурно-спортивного профиля, с целью изучения их отношения к здоровому образу жизни, определения мотивов к занятиям физической культурой в свободное от учебы время и выявления наиболее актуальных видов двигательной активности, которые применялись в эксперименте.

Для дальнейшего изучения эффективности занятий физической культурой детей в свободное от учебы время были определены две группы в возрасте 11–14 лет в Государственном учреждении «Физкультурно-спортивный клуб «Орша»» (экспериментальная группа — 12 человек) и в Государственном учреждении «Лепельский районный физкультурно-оздоровительный центр» (контрольная группа — 12 человек).

Методы: анализ нормативных документов и методической документации, научно-методической литературы, диагностика знаний, анкетирование, математической статистики.

Результаты и их обсуждение. Полученные данные показывают, что физическая активность детей и подростков в исследуемой возрастной группе соответствует рекомендациям Всемирной организации здравоохранения по поддержанию благоприятной структуры рисков по сердечно-легочным заболеваниям и болезням обмена веществ (2,9% затрачивают более 8 часов в неделю на занятия физической культурой, 10,1% — 6–8 часов в неделю, 40,6% — от 4 до 6 часов в неделю, 46,4% — 1–3 часа в неделю).

Основной причиной, создающей препятствия для занятий физической культурой, является нагрузка из-за дополнительных занятий (34,8%), что вполне может указывать на неумение правильно распределить свое время в течение дня. Но большинство опрошенных проявляют заинтересованность в занятиях (39,1%).

Как наиболее значимую причину для занятий физической культурой и спортом респонденты определяют красоту и здоровье (44,8%).

Результаты обработанных анкет подтверждают наибольшую заинтересованность детей и подростков в возрасте от 11 до 14 лет в занятиях таким молодежным видом спорта, как воркаут (51,1%), появившимся в Витебской области в 2014 году и увеличивающим ежегодно число своих сторонников. Сегодня практически ни одна современная спортивная площадка уже не обходится без специально оборудованного комплекса для занятий данным видом спорта.

С учетом внедренных в тренировочный процесс разработанных методических рекомендаций по наиболее интересным видам двигательной активности по итогам педагогического эксперимента в экспериментальной группе установлена более высокая динамика развития физических качеств в 5 из 6 предложенных нормативов.

Заключение. Экспериментальная методика, основанная на включении в план работы наиболее популярных у занимающихся видов двигательной активности, оказывает достаточно выраженное воздействие на уровень физической подготовленности обучающихся. Вместе с тем организация физкультурно-оздоровительной деятельности в свободное от учебы время обладает явным положительным эффектом общего физического развития, формирует ценностное отношение к здоровью и умения самостоятельно заниматься физическими упражнениями и использовать их в целях досуга и отдыха.

Ключевые слова: здоровье, двигательная активность, свободное время, тестирование, физическая подготовка, учащиеся, спортивный клуб.

PHYSICAL EDUCATION AND HEALTH ACTIVITIES OF SCHOOL-AGE CHILDREN IN THEIR FREE TIME

V.F. Arzhanovich*, V.G. Shpak**

**State Establishment "Vitebsk Regional Educational and Methodological Center for Physical Education of the Population"*

***Education Establishment "Vitebsk State P.M. Masherov University"*

Many factors influence the development of a healthy child, and physical activity is one of the main ones. From early childhood, parents do exercises for their children, in the kindergarten, teachers do warm-ups with children, play active games in a group and in the fresh air. At the school stage it is important not only to maintain the minimum level of physical fitness of the child, but also to develop motor skills and qualities. For this purpose, sections for various sports are created on the basis of physical education and sports clubs, including modern sports and those in demand among young people.

The purpose of this work is to determine the most popular types and forms of physical activity in free time and the overall impact of physical education and sports on the student.

Material and methods. Based on the studied theoretical foundations of the problem, a study was organized from January 19 to 20, 2024, by conducting a survey among 129 people aged 11 to 14 years, living in various areas of the region, engaged in general physical training groups in physical education and sports institutions in order to study their attitude to a healthy lifestyle, determine motives for physical education in their free time and identify the most relevant types of motor activity, which will subsequently be used in the experiment.

To further study the effectiveness of physical education classes for children in their free time, two groups aged 11–14 years were identified in the State Institution "Orsha Physical Training and Sports Club" (experimental group — 12 people) and in the State Institution "Lepel District Physical Training and Health Center" (control group — 12 people).

The following research methods were used: analysis of regulatory documents and methodological documentation, analysis of scientific and methodological literature, knowledge diagnostics, questionnaires, methods of mathematical statistics.

Findings and their discussion. The data obtained show that the physical activity of children and adolescents in the studied age group complies with the recommendations of the World Health Organization for maintaining a favorable risk structure for cardiopulmonary and metabolic diseases (2,9% spend more than 8 hours a week on physical education, 10,1% — 6–8 hours a week, 40,6% — from 4 to 6 hours a week, 46,4% — 1–3 hours a week).

The main reason that creates obstacles to physical education is the load due to additional classes (34,8%), which may well indicate the inability to properly distribute their time during the day. At the same time, the majority of respondents show their interest in classes (39,1%).

The most significant reason for physical education and sports, respondents say, is beauty and health (44,8%).

The results of the processed questionnaires show the greatest interest of children and adolescents aged 11 to 14 in such a youth sport as workout (51,1%), which appeared in Vitebsk Region in 2014 and is gaining popularity every year. Today, almost no modern sports ground can do without a specially equipped complex for this sport.

Taking into account the developed methodological guidelines for the most interesting types of physical activity introduced into the training process, the results of the pedagogical experiment in the experimental group revealed higher dynamics of development of physical qualities in the 5 out of the 6 proposed standards.

Conclusion. Based on the obtained results, it can be concluded that the developed methodology, based on the inclusion of the most interesting types of physical activity for those involved in the work plan, has a more pronounced effect on the level of physical fitness of students. At the same time, the organization of physical education and health activities in free time has a positive effect on overall physical development, contributes to the formation of a value attitude to health, forms the ability to independently engage in physical exercises and use them for leisure and recreation.

Key words: health, physical activity, free time, testing, physical training, students, sports club.

На развитие здоровья ребенка влияет множество факторов, и физическая активность — один из основных. С раннего детства родители учат малышей делать зарядку, в детском саду педагоги проводят с детьми разминки, привлекают своих воспитанников к активным играм в группе и на свежем воздухе. Хорошую традицию здорового образа жизни перенимает и школа. Она берет на себя задачу физически развивать подрастающее поколение не только на уроках физкультуры, где дети постигают навыки командных игр, осваивают разные виды спорта и тренируют выносливость [1]. На уроках проводятся физкультминутки, чтобы снять напряжение после долгого сидения за партой.

Но важно не только поддерживать минимальный уровень физической подготовки ребенка, но и развивать двигательные навыки и качества [2]. Для этого на базе физкультурно-спортивных клубов создаются секции по различным видам спорта, в том числе современным и востребованным

в молодежной среде. Для детей и подростков существует множество вариантов для активного проведения досуга.

Прививая детям любовь к активному образу жизни, постоянным умеренным физическим нагрузкам, мы формируем у ребенка привычку к здоровому образу жизни. В перспективе, уже будучи взрослым человеком, он будет придерживаться правил ЗОЖ и учить им своих детей, что сформирует здоровую и физически активную нацию.

Нами был разработан комплекс мероприятий, направленный на улучшение уровня физической подготовленности учащихся. Для анализа эффективности этих мероприятий, в ходе написания данной работы, они были внедрены в несколько спортивных организаций, после чего была произведена оценка их влияния на общее физическое развитие подростков.

Объект исследования — физкультурно-оздоровительная деятельность детей школьного возраста в свободное время.

Предмет исследования — деятельность детей школьного возраста по физической культуре и спорту в свободное время.

Цель работы — определить наиболее востребованные виды и формы двигательной активности в свободное от учебы время и общее воздействие занятий физической культурой и спортом на занимающегося.

Задачи:

- изучить уровень отношения детей и подростков к здоровому образу жизни;
- выявить наиболее актуальные виды двигательной активности для организации физкультурно-оздоровительной и спортивно-массовой деятельности детей школьного возраста в свободное от учебы время;
- определить эффективность внедряемой системы в рамках тренировочного процесса с детьми школьного возраста.

Материал и методы. Посредством теоретической составляющей исследования в период с 19 по 20 января 2024 года было организовано анкетирование 129 человек в возрасте от 11 до 14 лет, проживающих в различных регионах Витебской области, занимающихся в группах общей физической подготовки в учреждениях физкультурно-спортивного профиля, с целью изучения их отношения к здоровому образу жизни, определения мотивов к занятиям физической культурой в свободное от учебы время и выявления наиболее актуальных видов двигательной активности, которые использовались в эксперименте.

Для этого была разработана анонимная анкета, содержащая 11 вопросов закрытого и открытого типа.

Анкетирование проводилось в следующих организациях:

- Государственное учреждение «Глубокский районный физкультурно-оздоровительный центр»;
- Государственное учреждение «Лепельский районный физкультурно-оздоровительный центр»;
- Государственное учреждение «Физкультурно-спортивный клуб «Орша»».

Для дальнейшего изучения эффективности занятий детей физической культурой в свободное от учебы время были сформированы две группы в возрасте 11–14 лет в Государственном учреждении «Физкультурно-спортивный клуб «Орша» (экспериментальная группа — 12 человек) и Государственном учреждении «Лепельский районный физкультурно-оздоровительный центр» (контрольная группа — 12 человек).

В третьей декаде января 2024 года для определения уровня физической подготовленности учащихся применялись тесты, используемые в учреждениях общего среднего образования в соответствии с постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 19.07.2023 г. № 199 «Учебная программа по учебному предмету «Физическая культура и здоровье» для 1–11 классов учреждений образования, которые реализуют образовательные программы общего среднего образования с белорусским языком обучения и воспитания». Тестирование включало в себя 6 тестов: бег 30 м, челночный бег 4 x 9 м, прыжок в длину с места, наклон вперед из исходного положения сидя на полу, бег 1000 м, подтягивание на перекладине (юноши), поднимание туловища за 1 мин (девушки) [3].

Методы исследования: анализ нормативных документов и методической документации, научно-методической литературы, диагностика знаний, анкетирование, математической статистики.

Анализ научно-методической литературы, нормативных документов и методической документации проводился с целью изучения психолого-физиологических характеристик детей и подростков школьного возраста и позволил получить представление о значении организации досуговой деятельности в режиме дня и современных подходах к ее внедрению. На основании изученной литературы были определены актуальность темы, цель и задачи настоящей работы и выбраны наиболее эффективные методы исследования.

Результаты и их обсуждение. По итогам анкетирования наиболее интересные виды двигательной активности внедрены в планы тренировочного процесса экспериментальной группы. Занятия в контрольной группе проводились по типовым программам, без внесения изменений.

Занятия в группах, согласно планам, проходили с марта по октябрь 2024 года, после чего в ноябре была организована повторная сдача нормативов.

Полученные в ходе эксперимента данные обрабатывались с помощью общепринятых методов математической статистики — t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Обработка данных осуществлялась по стандартным программам MicrosoftOfficeExcel и Statistika 10.0.

В анкетировании по изучению уровня отношения детей и подростков к ведению здорового образа жизни приняло участие 129 человек в возрасте от 11 до 14 лет. Из них 69 юношей и 60 девушек.

Полученные по итогам проведения анкетирования результаты об оценке уровня состояния своего здоровья можно оценить как положительные.

Исходя из обработанных данных, лишь 27,6% респондентов занимаются утренней гимнастикой. И в указанном случае мы видим один из резервов для повышения заинтересованности детей и подростков в этом виде двигательной активности в свободное от учебы время.

Результаты опроса свидетельствуют о том, что физическая активность детей и подростков в исследуемой возрастной группе соответствует рекомендациям Всемирной организации здравоохранения по поддержанию благоприятной структуры рисков по сердечно-легочным заболеваниям и болезням обмена веществ (2,9% затрачивают более 8 часов в неделю на занятия физической культурой, 10,1% — 6–8 часов в неделю, 40,6% — от 4 до 6 часов в неделю, 46,4% — 1–3 часа в неделю).

Основной причиной, создающей препятствия для занятий физической культурой, является нагрузка из-за дополнительных занятий (34,8%), что вполне может указывать на неумение правильно распределить свое время в течение дня. В то же время большинство опрошенных проявляют заинтересованность в занятиях (39,1%).

Как наиболее значимую причину для занятий физической культурой и спортом респонденты определяют красоту и здоровье (44,8%), что подтверждает осознание значимости активного и здорового образа жизни в современном обществе.

Главным мотиватором детей в заинтересованности занятиями физической культурой и спортом являются родители. Большинство участников опроса призналось, что их родители личным примером формируют у респондентов значимость регулярных занятий физической культурой и спортом на ведение здорового образа жизни (63,8%). Навыки, полученные детьми в результате занятий, помогают им в повседневной жизни и применимы в достижении социальных целей.

Привитие у детей желания к регулярным занятиям физической культурой и спортом в семье не должно ограничиваться личным примером, определенную роль играют беседы о важности и неоспоримой пользе этих занятий. Так, 46,3% респондентов указали на наличие воспитательной работы в семье в подобном направлении.

Результаты обработанных анкет подтверждают наибольшую заинтересованность детей и подростков в возрасте от 11 до 14 лет в занятиях таким молодежным видом спорта, как воркаут (51,1%), появившимся в Витебской области в 2014 году и набирающим популярность ежегодно. Сегодня практически ни одна современная спортивная площадка уже не обходится без специально оборудованного комплекса для занятий данным видом спорта.

Несмотря на низкий показатель регулярных занятий утренней гимнастикой, не меньшую заинтересованность у опрошенных вызвал такой доступный для каждого вид двигательной активности, как стретчинг (19,8%).

На третьем месте по заинтересованности молодежи находится и экстремальный городской вид спорта скейтбординг или катание на доске (12,9%). Если овладеть искусством катания на скейте, то можно энергично и весело проводить свободное время.

Далее, согласно анкетированым, виды двигательной активности распределились следующим образом: калланетика (8,4%), эспандеры (5,4%), игры на теннисном столе (2,4%). К таким направлениям, как бодифлекс и гантельная гимнастика дома, респонденты не проявили интереса.

По итогам анкетирования проведено внедрение наиболее популярных видов двигательной активности в программу тренировочных занятий по общей физической подготовке экспериментальной группы.

С этой целью были разработаны методические рекомендации по внедрению воркаута и стретчинга в тренировочный процесс. На основании методических рекомендаций совместно с инструктором-методистом по физкультурно-оздоровительной и спортивно-массовой работе был разработан учебный план тренировочных занятий с учетом сменности упражнений и постепенного увеличения нагрузки с последующей сдачей контрольных нормативов и оценки прогресса.

В экспериментальной группе занятия проводились три раза в неделю. Одно тренировочное занятие проходило по ранее запланированной программе, в основную же часть двух других тренировочных занятий были включены комплексы упражнений по воркауту, а заключительная часть состояла преимущественно из упражнений по стретчингу, методические рекомендации по внедрению которых приведены далее. Когда же уровень физической подготовленности и навыков спортсменов достиг уровня выше базовых навыков силы и гибкости, в программу добавлялось обучение трюкам, начиная с простых и постепенно переходя к более сложным.

Для экспериментальной проверки эффективности предложенной нами системы использования наиболее популярных у школьников видов двигательной активности были сформированы две группы: контрольная (далее — КГ) и экспериментальная (далее — ЭГ).

Полученный материал подвергнут математической обработке.

Методы математической статистики использовались с целью выявления объективных закономерностей при обработке полученных в ходе эксперимента данных и определении их характера и значений.

В исследовании был применен метод математической статистики — *t*-критерий Стьюдента для независимых выборок.

В экспериментальной группе учащиеся занимались по разработанной нами методике с использованием методических рекомендаций по наиболее интересным видам двигательной активности, а учащиеся из контрольной группы — по общепринятой методике согласно ранее утвержденной программе занятий на год.

По окончании педагогического эксперимента были проведены контрольные тестирования физической подготовки занимающихся.

Для определения уровня физической подготовленности применили следующие тесты:

1. Бег 30 м с высокого старта. Измеряется в секундах. Время фиксируется с точностью до 1 секунды.
2. Бег 1000 метров с высокого старта. Время фиксируется с точностью до 1 секунды.
3. Челночный бег 4 на 9 м. Измеряется в секундах. Время фиксируется с точностью до 1 секунды.
4. Подтягивание на перекладине. Измеряется в количестве раз.
5. Наклон вперед из положения сидя. Измеряется в сантиметрах.
6. Прыжок в длину с места. Измеряется в сантиметрах.

На начальном этапе в январе 2024 г. проходило тестирование исходного уровня физической подготовленности учащихся контрольной и экспериментальной групп.

Из полученных данных осуществлен анализ показателей уровня физической подготовленности учащихся в начале исследования. Результаты математической обработки эмпирических данных в начале исследования констатируют факт отсутствия значимых различий ($p > 0,05$) в возрасте и показателях развития физических качеств. Также установлено, что в соответствии с требованиями II ступени нормативов уровня физической подготовленности Государственного физкультурно-оздоровительного комплекса Республики Беларусь «Готов к труду и обороне» у участников контрольной и экспериментальной групп уровень физической подготовленности по исследуемым направлениям наблюдался на уровне средний — выше среднего.

В первой декаде ноября по итогам внедрения в тренировочный процесс учреждений физкультурно-спортивного профиля разработанных методических рекомендаций тестирован уровень физической подготовленности.

Проведен сравнительный анализ средних показателей уровня физической подготовленности учащихся после внедрения методических рекомендаций в тренировочный процесс (табл.).

Таблица

Динамика показателей развития физических качеств школьников КГ и ЭГ в процессе педагогического эксперимента

Содержание педагогического тестирования	Период исследования	Контрольная группа (n=12) (среднее±ст. откл.)	Экспериментальная группа (n=12) (среднее±ст. откл.)	Достоверность различий
Бег 1000 м, мин, с	в начале	3,55±0,41	3,37±0,31	p>0,05
	в конце	3,47±0,29	3,32±0,32	p>0,05
Бег 30 м, с	в начале	4,93±0,33	4,70±0,24	p>0,05
	в конце	4,90±0,34	4,64±0,22	p≤0,05
Наклон вперед из положения сидя, см	в начале	9,00±4,22	9,83±3,51	p>0,05
	в конце	9,25±3,70	12,25±3,28	p≤0,05
Подтягивания на высокой перекладине, раз	в начале	9,17±4,47	9,42±3,65	p>0,05
	в конце	9,25±3,72	11,83±1,95	p≤0,05
Прыжок в длину с места, см	в начале	206,6±20,41	211,5±15,31	p>0,05
	в конце	211,83±22,32	224,42±10,24	p>0,05
Челночный бег, с	в начале	9,58±0,31	9,79±0,41	p>0,05
	в конце	9,58±0,27	9,31±0,36	p≤0,05

С учетом внедренных в тренировочный процесс разработанных методических рекомендаций по наиболее интересным видам двигательной активности по итогам педагогического эксперимента в экспериментальной группе установлена более высокая динамика развития физических качеств в 5 из 6 предложенных нормативов.

Под воздействием регулярных тренировок в течение исследуемого периода средние показатели в беге на 1000 метров в контрольной группе улучшились на 0,08 с (темп роста — 102,3%), а в экспериментальной группе на 0,05 с (темп роста — 101,5%).

В ЭГ существенно более высокий прирост наблюдался в показателях наклона вперед из положения сидя — 12,25±3,28 см (темп роста — 124,6%) относительно 9,25±3,70 см (темп роста — 102,7%) в КГ и данных подтягивания на высокой перекладине (количество раз): 11,83±1,95 раза (темп роста — 125,5%) в ЭГ относительно 9,25±3,72 раза (темп роста — 100,8%) в КГ. Следовательно, экспериментальная методика занятий с использованием предлагаемых видов двигательной активности, наиболее интересных для занимающихся, оказывает существенно более выраженное воздействие на развитие силы и гибкости, нежели традиционная методика занятий, что согласуется с данными литературных источников.

Кроме этого, организация занятий по общей физической подготовке в группах физкультурно-спортивных клубов на основе разработанных методик оказала более выраженное положительное влияние на развитие скоростно-силовых качеств, что подтверждается статистически более высокими показателями в прыжке в длину с места: 211,83±22,32 см (темп роста — 102,3%) в КГ относительно 224,42±10,24 см (темп роста — 105,9%) в ЭГ. Подобная ситуация наблюдалась с развитием координационных способностей, представленных показателями в челночном беге: 9,58±0,27 с (темп роста — 100,0%) в КГ наряду с 9,31±0,36 с (темп роста — 105,1%) в ЭГ.

Незначительно увеличились средние показатели в беге на 30 м в контрольной группе — на 0,03 секунды (темп роста — 100,6%) и в экспериментальной группе — на 0,06 секунды (темп роста — 101,2%).

Таким образом, можно предположить, что разработанная методика, основанная на включении в план работы наиболее интересных для занимающихся видов двигательной активности, оказывает более выраженное воздействие на уровень физической подготовленности учащихся. Наряду с этим организация физкультурно-оздоровительной деятельности в свободное от учебы время обладает

положительным эффектом общего физического развития, способствует формированию ценностного отношения к здоровью, совершенствует умения самостоятельно заниматься физическими упражнениями и использовать их в целях досуга и отдыха (рис.).



Рис. Средние показатели в сдаче нормативов в начале и конце исследования

Заключение. Физическое, психическое и нравственное здоровье являются важными компонентами подготовки детей к взрослой жизни. Регулярные физические нагрузки и занятия спортом помогают детям и подросткам развиваться физически, укреплять иммунную систему и поддерживать здоровый образ жизни. Школа активно участвует в формировании досуга детей разных школьных возрастов, младшего, среднего и старшего (подросткового), при этом учитываются физические, психологические и поведенческие особенности детей из каждой возрастной группы.

В любом возрасте необходимо правильно распоряжаться своим свободным временем, ведь досуг — это не просто отдых от работы или учебы, но и пространство для самореализации, творчества и развития личности. Вариантов проведения досуга достаточно много: отдых, развлечения, праздники, самообразование и творчество. Большая роль в развитии и воспитании ребенка принадлежит игре — важнейшему виду деятельности. Подвижные игры способствуют развитию ловкости, смелости и настойчивости. Вместе с тем они представляют собой увлекательный и интересный способ проведения времени. В результате, дети получают положительные эмоции и улучшают свое физическое и психологическое здоровье.

Для повышения эффективности занятий физической культурой с детьми школьного возраста в свободное от учебы время было проведено анкетирование, которое определило наиболее популярные виды двигательной активности среди детей 11–14 лет. Результаты обработанных анкет показали наибольшую заинтересованность детей и подростков в возрасте от 11 до 14 лет в занятиях таким молодежным видом спорта, как воркаут, у учащихся возник интерес к стретчингу, а на третьем месте по заинтересованности молодежи находился экстремальный городской вид спорта — скейтбординг или катание на доске, что в дальнейшем было внедрено в планы проведения тренировочного процесса экспериментальной группы. Занятия в контрольной группе исходили из типовых программ, без внесения изменений.

Занятия в группах, согласно планам, проводились с марта по октябрь 2024 года, после чего в ноябре была организована повторная сдача нормативов. Она выявила повышение уровня физической подготовленности в обеих группах по всем видам спорта, однако в экспериментальной группе показатели были на порядок выше. Под воздействием регулярных тренировок в течение исследуемого периода

средние показатели в беге на 1000 метров в контрольной группе улучшились на 0,08 с (темп роста — 102,3%), а в экспериментальной группе — на 0,05 с (темп роста — 101,5%), существенно более высокий прирост наблюдался в показателях наклона вперед из положения сидя в экспериментальной группе — 12,25±3,28 см (темп роста — 124,6%) относительно 9,25±3,70 см (темп роста — 102,7%) в контрольной группе и данных подтягивания на высокой перекладине (количество раз) — 11,83±1,95 раза (темп роста — 125,5%) в ЭГ относительно 9,25±3,72 раза (темп роста — 100,8%) в КГ, в прыжке в длину с места: 211,83±22,32 см (темп роста — 102,3%) в КГ относительно 224,42±10,24 см (темп роста — 105,9%) в ЭГ. Подобная ситуация была характерна и для динамики развития координационных способностей, представленных показателями в челночном беге: 9,58±0,27 с (темп роста — 100,0%) в КГ наряду с 9,31±0,36 с (темп роста — 105,1%) в ЭГ.

Экспериментальная методика, основанная на включении в план работы наиболее интересных для занимающихся видов двигательной активности, оказывает более выраженное воздействие на уровень физической подготовленности обучающихся. Вместе с тем организация физкультурно-оздоровительной деятельности в свободное от учебы время обладает явным положительным эффектом общего физического развития, формирует ценностное отношение к здоровью и умения самостоятельно заниматься физическими упражнениями и использовать их в целях досуга и отдыха [4–6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Физкультурно-оздоровительная работа с населением по месту жительства: курс лекций / М-во спорта и туризма Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т физ. культуры. — Минск: БГУФК, 2005. — 178 с.
2. Физическая культура и спорт по месту жительства: метод. пособие / авт.-сост.: В.П. Каширин, В.П. Якушев. — Витебск: ВГУ, 2001. — 43 с. — Библиогр.: с. 40.
3. О Государственном физкультурно-оздоровительном комплексе Республики Беларусь «Готов к труду и обороне»: постановление М-ва спорта и туризма Респ. Беларусь от 27 февр. 2023 г. № 10 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22339764> (дата обращения: 09.08.2025).
4. Фурманов, А.Г. Оздоровительная физическая культура: учебник для студентов вузов / А.Г. Фурманов, М.Б. Юспа. — Минск: Тесей, 2003. — 528 с.
5. Шпак, В.Г. Физкультурно-оздоровительная деятельность детей и учащейся молодежи в свободное время: метод. рекомендации / В.Г. Шпак, П.И. Новицкий, В.Ф. Аржанович; М-во образования Респ. Беларусь, Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»; Управление спорта и туризма Витебского областного исполнительного комитета, Государственное учреждение «Витебский областной учебно-методический центр физического воспитания населения». — Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2019. — 46 с.: ил.
6. Шкирянов, Д.Э. Эффективность организации управляемой самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физическая культура» с использованием мобильного приложения «Табата» / Д.Э. Шкирянов, А.В. Гичевский // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. — 2021. — № 2(111). — С. 37–44.

REFERENCES

1. *Fizkulturno-ozdorovitel'naya rabota s naseleniyem po mestu zhitelstva: kurs lektsii* [Physical Education and Health Work with the Population in Dwelling Areas: a Course of lectures], Minsk: BGUFK, 2005, 178 p.
2. Kashirin V.P., Yakushev V.P. *Fizicheskaya kultura i sport po mestu zhitelstva: metod. posobiye* [Physical Education and Sport in Dwelling Areas: Guidelines], Vitebsk: VGU, 2001, 43 p.
3. *O Gosudarstvennom fizkulturno-ozdorovitel'nom komplekse Respubliki Belarus "Gotov k trudu i oborone": postanovleniye M-va sporta i turizma Resp. Belarus ot 27 fevr. 2023 g. № 10* [About State Physical Education and Health Complex of the Republic of Belarus "Ready for Labor and Defence": Ministry of Sport and Tourism of the Republic of Belarus Decree of February 27, 2023 № 10]. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22339764> (Accessed: 09.08.2025).
4. Furmanov A.G., Yuspa M.B. *Ozдорovitel'naya fizicheskaya kultura: uchebnik dlia studentov vuzov* [Health Maintaining Physical Education: University Student Textbook], Minsk: Tesei, 2003, 528 p.
5. Shpak V.G., Novitski P.I., Arzhanovich V.F. *Fizkulturno-ozdorovitel'naya deyatel'nost detei i uchashcheisia molodezhi v svobodnoye vremia: metod. rekomendatsii* [Physical Education and Health Activities of Children and Students in their Free Time: Guidelines], Vitebsk: VGU imeni P.M. Masherova, 2019, 46 p.
6. Shkiryaynov D.E., Gichevski A.V. *Vesnik Vitsebskaga dziazrhaunaga universiteta* [Bulletin of Vitebsk State University], 2021, 2(111), pp. 37–44.

Поступила в редакцию 15.09.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: arzhanovich1984@mail.ru — Аржанович В.Ф.

УДК 378.091(510)

МОДЕРНИЗАЦИЯ И РЕФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ КИТАЯ

Лан Синьсинь

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет»

Идея модернизации и реформирования служит основанием для разработки теории и практического осуществления стратегического развития высшего профессионального образования в Китае на современном этапе.

Цель статьи — выявить сущность и специфику процессов модернизации и реформирования системы высшего профессионального образования Китая, установить ключевые проблемы и оценить эффективность проводимых реформ.

Материал и методы. В работе использован методологический инструментарий, помогающий достичь поставленной цели на основании теории социально-культурного трансфера, методами анализа научной литературы, политических документов и первоисточников, причинно-следственного анализа, обобщения и систематизации, проектирования педагогических процессов и их интерпретации.

Результаты и их обсуждение. Исследование педагогических процессов, условий и механизмов развития высшего профессионального образования Китая позволяет проектировать концептуальные подходы и выстраивать практические рекомендации для органов управления и учреждений образования. Успехи и достижения ведущих университетов и колледжей становятся достоянием всех учебных заведений страны. Передовым опытом в распределении ресурсов и росте качества подготовки обладают высшие профессиональные учебные заведения в восточных регионах Китая, ими созданы лучшие образовательные программы, используются инновационные методики обучения и современные образовательные технологии. Данный передовой педагогический опыт в процессе модернизации и реформирования предполагается распространить на всю систему высшего профессионального образования Китая.

Заключение. Сфера высшего профессионального образования в Китае усиливает и ускоряет модернизацию и реформы. Программные документы, такие как «План действий по инновационному развитию высшего профессионального образования (2015–2018 гг.)» и «Ежегодный доклад о качестве высшего профессионального образования», представили целенаправленный курс и обеспечили институциональные гарантии для системы высшего профессионального образования, а различные регионы активно изучают пути реформ с учетом потребностей регионального экономического развития.

Ключевые слова: высшее профессиональное образование, институциональная модернизация, сотрудничество университетов и предприятий, подготовка специалистов, реализация политики реформ.

MODERNIZATION AND REFORM OF THE SYSTEM CHINA'S HIGHER VOCATIONAL EDUCATION SYSTEM

Liang Xinxin

Education Establishment "Belarusian National Technical University"

The idea of modernization and reform is the basis for the development of the theory and practical implementation of the strategic development of higher professional education in China at the present stage.

The purpose of the work is to identify the essence and specificity of the processes of modernization and reform of the system of higher professional education in China, to identify key problems and evaluate the effectiveness of the reforms.

Material and methods. The study uses methodological tools that allow achieving the set goal based on the theory of socio-cultural transfer, the method of analyzing scientific literature, political documents and primary sources, the method of cause-and-effect analysis, methods of generalization and systematization, design of pedagogical processes and their interpretation.

Findings and their discussion. The study of pedagogical processes, conditions and mechanisms of development of higher professional education in China allows to design conceptual approaches and build practical recommendations for educational bodies and institutions. The successes and achievements of leading universities and colleges become the property of all educational institutions of the country. Higher vocational educational institutions in the eastern regions of China have advanced experience in resource allocation and improving the quality of training; they have created the best academic curricula, and use innovative teaching methods and modern educational technologies. This advanced teaching experience is expected to be extended to the entire system of higher professional education in China in the process of modernization and reform.

Conclusion. *The field of higher vocational education in China is fully aware of the importance and urgency of accelerating modernization and reform. Policy documents such as the “Action Plan for the Innovative Development of Higher Vocational Education (2015–2018)” and the “Annual Report on the Quality of Higher Vocational Education” have set a clear course and provided institutional guarantees for the higher vocational education system, and various regions are actively exploring reform paths to meet the needs of regional economic development.*

Key words: *higher vocational education, institutional modernization, university-enterprise cooperation, specialist training, reform policy implementation.*

Высшее профессиональное образование в Китае прошло этапы становления, развития и стандартизации, совершенствования подготовки кадров и повышения качества обучения. На основе открытости и последовательного совершенствования и реформирования система образования достигла значительных успехов. Высшее профессиональное образование занимает ключевую позицию в поддержке национальной экономики, подготовке технических и экономических высококвалифицированных специалистов, а также в содействии развитию предпринимательства. Однако несмотря на прогрессивные процессы становления социалистической модернизации в новую эпоху высшее профессиональное образование все еще сталкивается со многими проблемами, качество подготовки специалистов нуждается в дальнейшем улучшении, а особенности работы учебных заведений требуют пристального внимания [1]. Для содействия качественному развитию высшего профессионального образования Государственный совет, Министерство образования и другие соответствующие ведомства выпустили ряд программных документов.

Цель статьи — выявить сущность и специфику процессов модернизации и реформирования системы высшего профессионального образования Китая, установить ключевые проблемы и оценить эффективность проводимых реформ.

Материал и методы. В работе использован методологический инструментарий, позволяющий достичь поставленной цели на основании теории социально-культурного трансфера, методами анализа научной литературы, политических документов и первоисточников, причинно-следственного анализа, обобщения и систематизации, проектирования педагогических процессов и их интерпретации.

Результаты и их обсуждение. Исследование педагогических процессов, условий и механизмов развития высшего профессионального образования Китая позволяет проектировать концептуальные подходы и выстраивать практические рекомендации для органов управления и учреждений образования. Успехи и достижения ведущих университетов и колледжей становятся достоянием всех учебных заведений страны. Передовым опытом в распределении ресурсов и росте качества подготовки обладают высшие профессиональные учебные заведения в восточных регионах Китая, ими созданы лучшие образовательные программы, используются инновационные методики обучения и современные образовательные технологии. Данный передовой педагогический опыт в процессе модернизации и реформирования предполагается распространить на всю систему высшего профессионального образования Китая.

Масштабное развитие высшего профессионального образования в Китае началось в 1990-х годах. После обнародования в 1999 году «Плана действий по возрождению образования в XXI веке» процесс массовости высшего образования значительно ускорился, что привело к быстрому росту числа высших профессиональных колледжей и университетов [2]. В 1990 году их насчитывалось всего 108, однако к 2004 году это число увеличилось до 1059, с ежегодным приростом около 25%. Количество студентов за тот же период выросло с 621 тысяч до 5 млн 277 тысяч человек, что соответствует среднегодовому приросту в 40% [3]. Сегодня количество высших профессиональных колледжей и университетов насчитывает свыше 1,5 тысячи, а число студентов превысило 12 миллионов [4; 5].

В 2014 году Государственный совет представил «Решение об ускорении развития современного профессионального образования», целью которого стало создание к 2020 году системы профессионального образования с китайской спецификой, рассчитанной на 12 миллионов студентов. В 2019 году Министерство образования совместно с шестью ведомствами разработало «Национальную программу реализации реформы профессионального образования». В этой программе определены ключевые задачи, такие как ускорение развития современного профессионального образования, содействие интеграции промышленности и образования, развитие сотрудничества между учебными заведениями и предприятиями, а также совершенствование национальной системы профессиональной подготовки, системы квалификаций, улучшения стандартов профессионального образования

и инноваций в системе высшего профессионального образования [6]. Внедрение этих стратегических планов определило направление реформ для динамичного развития высшего профессионального образования в новый период.

Высшие профессиональные колледжи и университеты применяют на практике 20 программ профессионального образования, активно проводят реформу образования и преподавания, оптимизируют систему профессиональных учебных планов. Благодаря содействию промышленных предприятий совместно с ними создается база профессиональных учебных ресурсов, разрабатываются новые формы учебных пособий в виде свободных листов и рабочих тетрадей. Предприятия активно сотрудничают с учебными заведениями, создаются базы практического обучения высокого уровня, формируются команды преподавателей «с двумя учителями» (академическим и производственным), усиливается практическая подготовка студентов. Внедряются современные системы ученичества, обучение на основе заказов, проводится воспитание у студентов стремления к совершенству на принципах мастерства, инноваций и предпринимательства.

Большое количество системообразующих высших профессиональных колледжей и университетов активно изучают профессиональное строительство и внедрение подготовки высококвалифицированных специалистов, осваивают передовой опыт, который можно расширять и продвигать. По мере углубления структурной реформы высшее профессиональное образование ускоряет процесс трансформации — от больших масштабов к профессиональному развитию, качество образования и уровень подготовки специалистов постоянно повышаются, и постепенно формируется современная «Система 2».

Однако высшее профессиональное образование Китая сталкивается с такими проблемами, как акцент на масштаб вместо качества, отсутствие уникальных характеристик учебных заведений, недостаточный уровень подготовки специалистов [7]. Эти вопросы и связанные с ними противоречия разрешаются очень медленно.

Для устранения поднятых проблем правительство реализовало ряд мер, направленных на поддержку трансформации системы высшего профессионального образования. В 2006 году была принята «Программа оценки подготовки специалистов в высшем профессиональном образовании», которая заявила приоритетом внутреннее развитие, ориентированное на повышение качества подготовки кадров. Согласно 12-му пятилетнему «Плану реформирования и развития высшего образования», профессиональное образование должно было сосредоточиться на содержательном развитии и улучшении подготовки специалистов [8]. Также в указанный период началась реализация национальной и региональных программ по созданию образцовых высших профессиональных колледжей и университетов. К 2020 году их общее число в Китае достигло 200 [9]. Эти образцовые учебные заведения сыграли ключевую роль в повышении качества обучения, создании специализированных профессий и формировании новых подходов в системе образования.

В 2014 году в «Плане строительства современной системы профессионального образования» было отмечено, что необходимо сформировать современную систему высшего профессионального образования с китайской спецификой, в которой бакалавриат станет основной ступенью. Помимо этого, требовалось продолжать повышение уровня интернационализации и качества образования [10].

Согласно требованиям Государственного совета о содействии реформе и инновациям в развитии высшего профессионального образования, основными задачами становятся улучшение планирования приема студентов, развитие учебных заведений, повышение квалификации преподавателей, интеграция промышленности и образования, а также углубление реформы профессионального обучения, включая концепцию «трех учений» колледжей и университетов.

В «Набросках национального среднесрочного и долгосрочного плана реформирования и развития образования на 2010–2020 годы» подчеркивалось, что следует оптимизировать профессиональную структуру и региональное планирование, а также повысить способность содействовать экономическому и социальному развитию [1]. Высшие профессиональные колледжи и университеты должны взять на себя инициативу по удовлетворению кадровых потребностей экономической трансформации и модернизации, а также создать механизм благотворного взаимодействия между промышленным развитием и подготовкой специалистов [1].

Политика Китая в области высшего профессионального образования сосредоточена на профессиональной структурной перестройке, создании факультетов «двойного типа», диверсифицированной школьной системе и других аспектах.

Реформа системы управления высшим профессиональным образованием также является одной из ключевых задач. Центральные и местные органы власти должны совместно работать над постепенным созданием системы управления с четкими полномочиями и обязанностями и разумным разделением труда. Местные органы власти являются главным органом реформы, они должны создать и усовершенствовать механизм координации на уровне провинции и управления на местном и муниципальном уровнях, а также реализовать ответственность государства за профессиональное образование.

Одновременно поощряется участие предприятий и общественных организаций в управлении профессиональными колледжами и университетами через единоличное владение, совместные предприятия, партнерство и другие формы, что углубляет реформы смешанной собственности в системе высшего профессионального образования [3].

Так, Хунаньский профессионально-технический колледж массовых коммуникаций активно реализует стратегию «четырех оптимизаций» — «связь с промышленностью, оптимизация расположения, внедрение характеристик и усиление мотивации» — и способствует тесной стыковке профессиональной, инновационной и промышленной цепочек на основе интеграции производства и образования [4].

Аньхойский профессионально-технический колледж печати и издательства скорректировал профессиональные направления работы, в соответствии со спросом на специалистов в развивающихся технологических областях, чтобы создать модель CDIO виртуальной реальности VR и другие новые профессиональные блоки [1]. В то же время он ускоряет создание команды преподавателей «двойной учитель», постоянно совершенствует механизм внедрения и подготовки специалистов высокого уровня и механизм улучшения практических способностей преподавателей [1].

Синтайский профессионально-технический колледж в провинции Хэбэй продвинул реформу системы управления профессиональной школой через совместные инновации колледжей и предприятий, а также обеспечил регион Синтай столь необходимыми высококвалифицированными кадрами [4]. Учебные заведения и ведущие предприятия региона совместно строят центр обслуживания автомобильных технологий, объединяют силы преподавателей, учебные ресурсы и условия производственной практики колледжей и предприятий в области технического обслуживания автомобилей и производства автомобильных деталей, создают и совершенствуют режим подготовки специалистов путем «интеграция школы и предприятия», совместно разрабатывают план обучения и учебную программу на основе проектов. Колледжи и предприятия совместно разрабатывают технические стандарты, технологические процессы, совместно создают профессиональные учебные материалы для удовлетворения потребностей развития автомобильной промышленности, связывают производственную практику предприятия с технологическими рабочими стандартами, совместно разрабатывают на основе производственного содержания ключевые системы учебных планов, для достижения соответствия содержания учебного плана и профессиональных стандартов, профессиональных направлений и адекватности промышленного спроса [6]. Колледжи и предприятия создают учебные классы и центры стажировки на территории кампуса, сотрудничают с предприятиями для совместной разработки интегрированного комплексного оборудования для обучения техническому обслуживанию автомобилей, безопасности производственной линии предприятия, концепции управления 5S, контроля качества, обучения профессиональным навыкам и другого содержания, введенного в среду обучения и стажировки, строительства имитации производственной среды предприятия [8]. Предприятия направляют старших техников, квалифицированных мастеров в качестве инструкторов в колледжи, регулярно обучая студентов рабочим навыкам. Колледжи и ряд региональных опорных автомобильных предприятий устанавливают отношения сотрудничества.

Чжэцзянский финансовый профессиональный колледж соответствует отраслевому кадровому спросу благодаря проектному обучению, заказным занятиям и другим способам, что значительно повышает качество подготовки специалистов.

Шанхай раскрывает потенциал подготовки инновационных специалистов за счет сотрудничества профессиональной высшей школы и предприятий в режиме обучения, сочетающего работу и учебу, в интересах построения научно-технического инновационного центра.

Чэнду–Чунцин активно включает высшие профессиональные колледжи и университеты в экономический круг, придавая особое значение роли профессионального образования в поддержке занятости населения и развитии предпринимательства.

Заклучение. Сфера высшего профессионального образования в Китае усиливает и ускоряет модернизацию и реформы. Программные документы, такие как «План действий по инновационному развитию высшего профессионального образования (2015–2018 гг.)» и «Ежегодный доклад о качестве высшего профессионального образования», представили целенаправленный курс и обеспечили институциональные гарантии для системы высшего профессионального образования, а различные регионы активно изучают пути реформ с учетом потребностей регионального экономического развития.

В практической деятельности многие учебные заведения и университеты продолжают внедрять инновации в процесс обучения, уделяя особое внимание совершенствованию практических навыков и инновационных способностей студентов, а также успешно учитывают отраслевой спрос на специалистов, используют заказные программы, проектное и ориентированное обучение. Согласно статистике, ежегодно профессиональные колледжи и университеты по всей стране реализуют около 200 тысяч проектов сотрудничества с предприятиями, в которых принимают участие до 3,5 миллиона студентов, что значительно содействует тесной связи между подготовкой специалистов и промышленным спросом.

В целом высшее профессиональное образование должно еще больше ускорить темпы модернизации и реформ, усовершенствовать институциональный механизм и инновационную модель развития, чтобы соответствовать потребностям технологической революции и промышленной трансформации. Правительству, учебным заведениям и предприятиям необходимо объединить усилия по поддержке политики привлечения ресурсов, создания платформ сотрудничества и т.д. Важно постоянно повышать качество профессионального образования и создавать надежную основу для достижения целей построения сильной образовательной системы и укрепления человеческого потенциала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптимизация функций управления в процессе развития высшего профессионального образования // Чжэнчжоуский университет. — 2017. — С. 12–18.
2. Нань Хай. Теоретическое объяснение и практическое исследование качественного развития профессионального образования в Китае / Нань Хай, Лю Шо // Современное профессиональное образование. — 2022. — № 8. — С. 32–40.
3. Хоу Синьин. Ценностный анализ политики высшего профессионального образования в Китае: исследование на основе теории закрепления / Хоу Синьин // Исследования высшего профессионального образования. — 2020. — № 6. — С. 60–66.
4. Ли Дунхан. Эволюция, проблемы и инновации в системе развития высшего профессионального образования в Китае / Ли Дунхан // Журнал профессионально-технического колледжа Лючжоу. — 2018. — № 6. — С. 40–45.
5. Не Цзинь. Проблемы и стратегии решения текущих вопросов высшего профессионального образования в Китае / Не Цзинь // Профессиональные технологии. — 2017. — № 4. — С. 24–25.
6. Лю Сян. Исследование реформы системы учебных программ в высшем профессиональном образовании / Лю Сян // Китайское образование для взрослых. — 2007. — № 1. — С. 140–141.
7. Ван Цзянтао. Современное построение системы профессионального образования в Китае / Ван Цзянтао, Юй Цидин // Профессионально-техническое образование. — 2016. — № 4. — С. 14–19.
8. Лю Гоцян. Реформа учебных программ по педагогике в высших профессиональных колледжах: практическое изменение подходов / Лю Гоцян // Наука Хэйлунцзяна. — 2020. — № 10. — С. 162–164.
9. Лю Чжэньчжэнь. Стратегии повышения привлекательности высшего профессионального образования в провинции Хэнань / Лю Чжэньчжэнь // Исследования высшего профессионального образования. — 2023. — № 2. — С. 45–50.
10. Ling, Y. Research on the reform of higher vocational education management system in China based on personalized standards / Y. Ling, C.S. Jin, L. Wang // Current Psychology. — 2023. — № 3. — С. 120–130.

REFERENCES

1. Chzhenxhzhouski universitet [Zhengzhou University], 2017, pp. 12–18.
2. Nan Hai, Liu Sho. *Sovremennoye professionalnoye obrazovaniye* [Modern Vocational Education], 2022, 8, pp. 32–40.
3. Hou Xining. *Issledovaniya vysshego professionalnogo obrazovaniya* [Higher Vocational Education Research], 2020, 6, pp. 60–66.
4. Li Dunhan. *Zhurnal professionalno-tekhnicheskogo kolledzha Liudzhou* [Journal of Liuzhou Vocational and Technical College], 2018, 6, pp. 40–45.
5. Ne Jin. *Professionalniye tekhnologii* [Professional Technologies], 2017, 4, pp. 24–25.
6. Liu Xiang. *Kitayskoye obrazovaniye dlia vzroslykh* [Chinese Adult Education], 2007, 1, pp. 140–141.
7. Wang Jiantao, Yu Qiding. *Professionalno-tekhnicheskoye obrazovaniye* [Vocational Education], 2016, 4, pp. 14–19.
8. Liu Guoqiang. *Nauka Kheiluntsziana* [Heilongjiang Science], 2020, 10, pp. 162–164.
9. Zhenzhen Liu. *Issledovaniya vysshego professionalnogo obrazovaniya* [Higher Vocational Education Research], 2023, 2, pp. 45–50.
10. Ling, Y. Research on the reform of higher vocational education management system in China based on personalized standards / Y. Ling, C.S. Jin, L. Wang // Current Psychology. — 2023. — № 3. — С. 120–130.

Поступила в редакцию 11.03.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: 18do.lyan.S@pdu.by — Лан Синьсинь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CLIL НА ПРИМЕРЕ ПРЕДМЕТНО-ЯЗЫКОВОГО ИНТЕГРИРОВАННОГО УРОКА ГЕОГРАФИИ И АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА

Е.В. Шаматульская, А.О. Дубинкина

Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»

Процесс формирования функциональной грамотности требует от учителя использования методов, приемов и методик обучения, позволяющих развивать инициативных, самостоятельно и творчески мыслящих обучающихся.

Цель статьи — апробирование технологии CLIL на примере предметно-языкового интегрированного урока по учебному предмету «География», проведенного на английском языке, по теме «Воздействие деятельности человека на воды суши/The impact of human activities on land waters».

Материал и методы. *Материал: нормативно-правовая, программно-методическая документация по проблеме исследования (Инструктивно-методическое письмо Министерства образования Республики Беларусь, учебные программы и планы), опыт работы авторов с лицеистами. Исследование проводилось на базе Лицея ВГУ имени П.М. Машерова. Методы: словесный (беседа), наглядный — методы иллюстрации и демонстрации (показ слайдов), практический — метод упражнений (фонетическая разминка, лексико-грамматические упражнения), наблюдение, метод проектов.*

Результаты и их обсуждение. *В данной научной публикации раскрыты методические аспекты организации обучения лицеистов на базе интегрированного урока по предметам «География» и «Английский язык» с помощью технологии CLIL с целью разработки и верификации методики преподавания общеобразовательных учебных предметов, анализа их взаимосвязей и единых методических подходов.*

Заключение. *Практика и наблюдения авторов свидетельствуют, что наибольшее взаимодействие учебных предметов «География» и «Английский язык» на основе технологии CLIL обнаруживается при коммуникативном подходе; при культурной направленности это взаимодействие присутствует в меньшей степени.*

Ключевые слова: *технология CLIL, метод проектов, география, английский язык, интегрированный урок, междисциплинарные знания.*

USING CLIL (CONTENT AND LANGUAGE INTEGRATED LEARNING) TECHNOLOGY IN GEOGRAPHY AND ENGLISH LANGUAGE INTEGRATED LESSON

E.V. Shamatulskaya, A.O. Dubinkina

Education Establishment "Vitebsk State P.M. Masherov University"

The process of forming functional literacy requires teachers to use teaching methods and techniques that allow them to develop proactive, independent and creative learners.

The aim of the publication is to test the CLIL technology using the example of an integrated lesson on the academic subject "Geography" and "English" on the topic "The impact of human activities on land waters".

Material and methods. *The material was regulatory, programmatic and methodological documentation on the research problem (Instructional and Methodological Letter of the Republic of Belarus, curricula and plans), the experience of the authors with lyceum students. The study was conducted on the basis of the Lyceum of the VSU named after P.M. Masherov. The research methods: verbal (conversation), visual — the method of illustration and the method of demonstration (slide show), practical — exercises (phonetic warm-up, lexical and grammatical exercises), observation, the method of projects.*

Findings and their discussion. *The article reveals the methodological aspects of the organization of lyceum students' education on the basis of an integrated lesson in the subjects "Geography" and "The English language" using CLIL technology in order to develop and verify methods of teaching general education subjects, analyze their interrelations and unified methodological approaches.*

Conclusion. *The authors' observations indicate that the greatest interaction of academic subjects "Geography" and "English" based on CLIL technology is found out with a communicative approach; with a cultural orientation, this interaction is less present.*

Key words: *CLIL technology, project method, Geography, English, integrated lesson, interdisciplinary knowledge.*

Процесс формирования функциональной грамотности требует от учителя использования методов, приемов и технологий обучения, позволяющих развивать инициативного, самостоятельно и творчески мыслящего обучающегося. Применение методов проектов коммуникативного, проблемного и эвристического характера при изучении учебных предметов «География» и «Английский язык» предполагает развитие способностей использования приобретаемых знаний, умений и навыков для решения широкого спектра жизненных целей, для выполнения которых необходимо обращаться к межпредметным знаниям и умениям, универсальным учебным действиям, включающим «разные типы мышления, навыки поиска и переработки информации» [1].

Одним из таких подходов, при котором иностранный язык выступает как средство обучения предметам общеобразовательной программы, является технология CLIL.

CLIL как предметно-языковое интегрированное обучение или Content and Language Integrated Learning предложил в 1990-х гг. Дэвид Марш. По его мнению, CLIL — это образовательный подход, в котором языковые методологии (общее название для теоретических принципов, приемов, методик и средств, связанных с определенной лингвистической теорией и использующихся в изучении языковых явлений) «ведут к двойной форме обучения: одновременно уделяется внимание содержанию предмета и языку, на котором осуществляется обучение данному предмету, а именно, языковая дисциплина преподается не на иностранном языке, а через него» [2].

Н.Н. Олюнина подчеркивает, что CLIL представляет собой подход, при котором иностранный язык выступает как средство обучения предметам школьной программы: учащиеся усваивают материал школьных предметов на иностранном языке, «одновременно совершенствуют иноязычные коммуникативные компетенции, включая их профессиональные ориентации» [2].

Н.В. Дакуко утверждает, что методика CLIL выполняет широкий круг задач и «формирует интернационализацию и самостоятельность учащегося» [3].

По мнению И.Н. Мироновой, содержание предмета и язык, на котором данный предмет подается, тесно переплетены, методика CLIL — это инновационное «предметно-языковое интегрированное обучение» [4], так как оно дает ответ на требования и ожидания современности в эпоху глобализации.

На наш взгляд, методика CLIL или «предметно-языковое интегрированное обучение» имеет двойной фокус: образовательную направленность, нацеленную на развитие языковых навыков и увеличение объема предметных знаний, а также культурный вектор: уважение к культуре и традициям других народов, мультиграмотность и самостоятельность учащихся.

Основное отличие данной методики от классических способов обучения заключается в том, что она может использоваться при изучении практически любого предмета на иностранном языке.

Актуальность рассматриваемой технологии обусловлена использованием межпредметного подхода, подразумевающего систему интеграции знаний. Как известно, междисциплинарность предполагает участие исследователей, учащихся и учителей в достижении целей, связанных с объединением нескольких учебных предметов.

Интеграция знаний таких учебных предметов, как «География» и «Иностранный язык», позволяет получать более полное представление о разнообразии образовательных процессов (методов), способствует развитию научного знания в целом.

География предоставляет успешную «платформу» для междисциплинарного синтеза, реализуемого в формате проведения комплексной самостоятельной работы обучающихся, в том числе и на иностранном языке.

Согласимся с Н.Н. Олюниной, что иностранные языки характеризуются полифункциональностью, то есть выступают как цель обучения и как средство получения знаний, что, в свою очередь, «позволяет успешно применять данную технологию на всех ступенях обучения» [2].

В технологии CLIL исследователи выделяют четыре компонента «С»: «содержание (content), общение (communication), познание (cognition) и культура (culture)» [2–4]. Специфика компонента «содержание» состоит в том, что знание иностранного языка становится инструментом изучения предмета «География». Внимание акцентируется на лексике. Существует целый набор приемов введения и закрепления лексических единиц; «для более эффективного запоминания лексики следует использовать повторительные упражнения; подготовительные тренировочные упражнения на базе работы с текстом

способствуют формированию коммуникативной компетенции учащихся; подстановочные и конструктивные упражнения очень важны на этапе тренировки и закрепления лексики, а для ее активизации в речи необходимо прослушивание диалогов, конструирование концовки рассказа при использовании ключевых слов; тестирование лексики может проводиться на основе подбора синонимов, антонимов и т.п., а также соотнесения словосочетаний с изображениями на картинках. Значимым элементом на этом этапе является разработка заданий по уровню сложности» [5].

Компонент «общение» в данной технологии включает в себя языковой материал, то есть язык выступает инструментом общения, а не самоцелью. Особенность данного компонента заключается в том, что учащиеся являются главными в обучении: сокращается время речи учителя и увеличивается время речи учащихся.

Развитие мышления (компонент «познание») предполагает применение учащимися уже имеющихся знаний, а также новые знания для выполнения заданий по изучаемой теме. Задача педагога на указанном этапе стимулировать учащихся на более высокий уровень анализа и синтеза информации.

Компонент «культура» направлен на понимание собственной роли учащегося в межкультурном пространстве, определение своего места в нем и формирование позитивного отношения к другим культурам.

Цель статьи — апробирование технологии CLIL на примере предметно-языкового интегрированного урока по учебному предмету «География», проведенного на английском языке, по теме «Воздействие деятельности человека на воды суши/The impact of human activities on land waters».

Материал и методы. Материал: нормативно-правовая, программно-методическая документация по проблеме исследования (Инструктивно-методическое письмо Министерства образования Республики Беларусь, учебные программы и планы), опыт работы авторов с лицеистами. Исследование проводилось на базе Лицея ВГУ имени П.М. Машерова. Выборку составили учащиеся 11 классов в количестве 72 человек и 2 педагога. На уроке использовались учебные пособия [6; 7].

Методы: словесный (беседа), наглядный — методы иллюстрации и демонстрации (показ слайдов), практический — метод упражнений (фонетическая разминка, лексико-грамматические упражнения), наблюдение, метод проектов.

Результаты и их обсуждение. В данной научной публикации детально рассматриваются особенности процессуально-деятельностного и оценочно-результативного компонентов модели преподавания «География» и «Английский язык» на базе технологии CLIL через содержательные взаимосвязи и единые методические подходы.

В результате исследования нами были проанализированы особенности применения инновационной технологии предметно-языкового интегрированного обучения на уроках географии и английского языка в 11-х классах Лицея ВГУ имени П.М. Машерова по теме «Воздействие деятельности человека на воды суши/The impact of human activities on land waters», так как на указанных выше предметах учащиеся изучают темы, связанные с экологическими проблемами современности.

У выпускного класса уже имеются полиязычное мышление и базовые навыки мультязычия, что позволяет им с легкостью учить и использовать различные иностранные языки и на других предметах, в том числе на географии. Иными словами, учащиеся могут изучать предмет «География» на английском языке, одновременно совершенствуя иноязычную коммуникативную компетенцию, при этом углублять знания в географии, что удовлетворяет потребности лицеистов в целях самообразования в интересующих их областях, включая их профессиональные ориентации.

Ниже предлагаем примерный план интегрированного урока.

Тема урока: «Воздействие деятельности человека на воды суши/The impact of human activities on land waters».

Тип урока: урок закрепления знаний.

Форма урока: интегрированный урок географии и английского языка.

Формы работы: индивидуальная, групповая.

Образовательная цель урока: формирование навыков говорения через расширение кругозора о глобальных проблемах, характерных для нашей страны.

Развивающая цель урока: способствовать развитию интеллектуальной, эмоциональной и мотивационной сфер обучения посредством основных способов умственной деятельности (сравнение, анализ, обобщение).

Воспитательные цели: совершенствование навыков сотрудничества (групповая работа), уважения к собеседнику, умения выслушать; формирование социальной активной позиции.

Задачи личностного развития учащихся: активизировать лексический материал по теме с применением географической терминологии, повторить лексику по теме «Глобальные проблемы человечества»; способствовать формированию умения планировать свое коммуникативное высказывание и поведение — развить навыки диалогической и монологической речи; создавать условия для активного взаимодействия, развития аналитического и критического мышления, памяти и воображения.

Задачи воспитательные: расширить кругозор, воспитать толерантность, бережное отношение к окружающей среде; приобрести умения рассуждать, анализировать и оценивать результаты.

Предполагается, что к концу урока учащиеся овладеют различными компетенциями: учебно-познавательной, коммуникативной, лингвострановедческой, личностного самосовершенствования.

Методы: интерактивный, проектный, коммуникативный, проблемный.

Оборудование: мультимедийный проектор, настенная географическая карта, географические атласы, раздаточный материал.

План урока

1. Организационно-мотивационный этап. Время: 2 минуты.

Процедура урока (пошаговый сценарий деятельности преподавателей и учащихся).

Учитель озвучивает заранее предложенную тему занятия: «The impact of human activities on land waters», предлагает определить цель. Учащиеся самостоятельно формулируют цель урока. Проверка умений отвечать на вопросы (неподготовленное монологическое высказывание). Установление более открытых отношений между обучающимися и учителями во время диалога. Тренировка умения выступать перед аудиторией.

Форма работы: индивидуальная, парная, фронтальная.

Формируемая на данном этапе компетенция/Результаты обучения на каждом этапе.

Личностная — мысленное воспроизведение ситуации, свое отношение к ней, эмоции.

Регулятивная — планирование алгоритма построения монолога и (или) диалога.

2. Операционно-познавательный + физкультминутка. Время: 30 минут.

Процедура урока (пошаговый сценарий деятельности преподавателей и учащихся).

Фонетическая разминка.

Phonetic warm-up (repeat after teacher): climate change, water pollution, nuclear waste, resource depletion, deforestation, animal extinction.

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. Но с тех пор, как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу резко усилилось.

At all stages of the development, man was closely connected with the outside world. But since the emergence of a highly industrial society, dangerous human interference in nature has increased dramatically.

Для того, чтобы достичь цели сегодняшнего урока, нам нужно знать лексику, связанную с темой «Глобальные проблемы человечества». Давайте переведем данные слова и словосочетания на русский язык (табл.).

In order to achieve the goal of today's lesson, we need to know the vocabulary related to the topic «Global problems of humanity». Let's translate these words and phrases into Russian.

Таблица

Лексика по теме урока [на основе 6, с. 73–79]

Русскоязычный вариант	Англоязычный вариант
Воздействие деятельности человека на воды суши	The impact of human activities on land waters
Источники загрязнения природных вод	Sources of pollution of natural waters
Сельское хозяйство	Agricultural industry
Минеральные удобрения	Mineral fertilizers

Пестициды	Pesticides
Сточные воды	Waste water
Механические, химические и биологические методы очистки воды	Mechanical, chemical and biological methods of water purification
Нехватка пресной воды	Lack of fresh water
Дефицит водных ресурсов	Water scarcity
Потребление пресной воды на душу населения	Reshwater consumption per capita
Стандарты качества воды	Water quality standards
Последствия строительства плотин и водохранилищ	The consequences of the construction of dams and reservoirs

Следующим этапом служит квиз на общие знания, связанный с экологическими проблемами, а также задание на устное высказывание о воздействии деятельности человека на воды суши.

Answer the questions in the quiz and give your personal opinion about the impact of human activities on land waters [на основе 7, с. 62–63].

- Where does the Earth get energy to keep warm?
 - from the world ocean;
 - from the Sun;
 - from the Moon.
- When there is too much heat on the Earth...
 - some of it should be released back into space;
 - all of it must be absorbed by the Earth;
 - it stays in the upper layers of the atmosphere.
- What might happen if there is too much carbon dioxide in the atmosphere?
 - the gases won't let the heat reach the Earth and the temperature will go down;
 - the gases will trap the heat creating the greenhouse effect and increasing world temperatures;
 - the gasses will lower the sea level and reduce marine biodiversity.
- The biggest amount of carbon dioxide is released into the atmosphere...
 - when it rains;
 - when fuel is burnt;
 - when plants grow.
- The main way carbon dioxide is absorbed...
 - by some animals species to breathe;
 - by plants and phytoplankton for photosynthesis;
 - by factories to produce cars.
- If the world temperature rises too much, one of the most dramatic results of global warming will be that:
 - some areas will actually get forever cold making them uncomfortable to live in;
 - warmer weather all over the world will boost tourism;
 - glaciers will melt, the sea level will rise and a lot of coastal regions will drown.
- Some scientists say we wouldn't have damaged the environment so much if...
 - we had invested more money in agriculture;
 - we hadn't started the Industrial Revolution in the 18th century;
 - we had made the emissions of greenhouse gasses go into the outer space.
- If the climate changed enough, ...
 - a lot of areas would become unbearably hot, which would lead to animal and people extinction;
 - the Earth would lose all of its liquid water supplies;
 - we could try to do the same with other planets to make them suitable for living.
- What is the main impact of human activities on land waters?
 - the gases of factories and plants;
 - glaciers will melt, the sea level will rise and water pollution will grow;
 - ebbs and flows.

Форма работы: индивидуальная, групповая.

Формируемая на данном этапе компетенция/Результаты обучения на каждом этапе.

Коммуникативная — продуктивное взаимодействие во время занятия (повторение слов и словосочетаний хором за учителем), а именно, обсуждение правильных вариантов ответов (допускается дискуссия); тренировка переводческих умений; участие в небольших устных высказываниях, логично, с примерами, с собственной точкой зрения.

Класс разбивается на группы по 5–6 человек, получает задание и в течение 7 мин готовится. Затем учащиеся выступают и предлагают свой сценарий решения проблемы:

– *Использование стоков городских коммунальных систем и очищенных отработанных вод промышленных предприятий для сельского хозяйства/The use of wastewater from urban communal systems and treated wastewater from industrial enterprises for agriculture.*

– *Строительство водохранилищ и плотин для регулирования речного стока/Construction of reservoirs and dams to regulate river flow.*

– *Реализация проектов переброски речного стока при дефиците водных ресурсов/Implementation of projects for the transfer of river flow with a shortage of water resources.*

– «Водные» конфликты XXI века/«Water» conflicts of the XXI century.

Ответы учащихся.

3. Контрольно-оценочный. Время: 2 минуты.

Процедура урока (пошаговый сценарий деятельности преподавателей и учащихся).

Выяснение уровня овладения умениями, обеспечение коррекции (учитель комментирует недочеты и фокусирует внимание на наиболее удачных моментах в устной речи учащихся с точки зрения фонетики и смыслового содержания).

Форма работы: консультирование (при необходимости).

Формируемая на данном этапе компетенция/Результаты обучения на каждом этапе.

Информация о достижении учащимися планируемых результатов обучения.

4. Информация о домашнем задании. Время: 2 минуты.

Процедура урока (пошаговый сценарий деятельности преподавателей и учащихся).

Разъяснение содержания домашнего задания.

Подумайте и объясните, что означает выражение: «Мы не унаследовали Землю от наших предков. Мы берем ее взаймы от наших потомков»?

Think about it and explain what the expression means: «We did not inherit the Land from our ancestors. Are we borrowing it from our descendants?»

Форма работы: формулировка домашнего задания, учащиеся делают запись в дневник.

Формируемая на данном этапе компетенция/Результаты обучения на каждом этапе.

Домашнее задание в соответствии с актуальным уровнем развития учащихся.

5. Рефлексивный. Время: 4 минуты.

Процедура урока (пошаговый сценарий деятельности преподавателей и учащихся).

Результат учебной деятельности лицеистов проявляется в устных высказываниях обучающихся.

Оцените свой уровень усвоения материала, выберите ту фразу, номер которой соответствует смыслу, предложенному на экране:

1) *успоил тему в полной мере, могу поделиться полученными знаниями;*

2) *частично успоил тему, могу самостоятельно устранить пробелы;*

3) *не успоил тему, требуется помощь.*

Evaluate your level of assimilation of the material, select the phrase whose number corresponds to the meaning proposed on the screen:

1. I have fully mastered the topic, I can share the knowledge I have gained.

2. I have partially mastered the topic, I can eliminate the gaps on my own.

3. I have not mastered the topic, I need help.

Спасибо за урок! Хорошего дня!

Thanks for the lesson! Have a nice day!

Форма работы: индивидуальная.

Формируемая на данном этапе компетенция/Результаты обучения на каждом этапе.

Регулятивная — владение навыками самоанализа и самооценки своей деятельности по критериям: **говорение — 6 баллов: 16** = организация высказывания (вступление, основная часть, заключение); **16** = употребление не менее 8 новых слов; **26** = содержание (тема раскрыта в полном объеме); **26** = 1–2 речевые ошибки; **погружение в тему — 4 балла: 26** = умение отстаивать собственную точку зрения, приводить примеры аргументированно; **26** = дополнительные знания, связанные с темой.

Заключение. Правильный учет и применение всех особенностей технологии CLIL позволяет:

- повысить мотивацию учащихся к изучению иностранных языков;
- научить учащихся осознанно использовать иностранный язык в разных ситуациях;
- развивать коммуникативные и лингвистические компетенции.

Использование данной технологии имеет ряд плюсов. Учащиеся усваивают достаточно большой объем языкового материала, знают перевод специфических терминов и языковых конструкций, пополняют словарный запас. Но можно выделить и некоторые минусы внедрения данной технологии в учебный процесс: низкий уровень взаимодействия преподавателей-предметников и преподавателей иностранных языков; нежелание преподавательского состава осваивать новые методы и подходы; низкий уровень владения иностранным языком и культурными особенностями англоговорящих стран самими учащимися, что ведет к некоторым проблемам, связанным с усвоением материала.

Конечно, такое обучение не может полностью заменить классическое изучение предметов на родном языке, однако оно может существенно его дополнить.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об организации в 2024/2025 учебном году образовательного процесса при изучении учебных предметов при реализации образовательных программ общего среднего образования. Приложение 10: Особенности организации образовательного процесса при изучении учебного предмета «География»: инструктивно-методическое письмо М-ва образования Респ. Беларусь от 1 авг. 2024 г. / Государственное учреждение образования «Академия образования». — URL: <https://edu.gov.by/2024-2025-uchebnyy-god> (дата обращения: 30.11.2024).
2. Олюнина, Н.Н. Использование технологии CLIL на уроках английского языка / Н.Н. Олюнина // Пермский педагогический журнал. — 2021. — № 12. — С. 121–125.
3. Дакуко, Н.В. Использование подхода CLIL в процессе обучения иностранному языку / Н.В. Дакуко // Эпоха науки. — 2022. — № 29. — С. 224–227. — URL: <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/15807/1/Dakuko-N-V-Ispolzovanie-podhoda-CLIL-v-processe-obucheniya-inostrannomu-yazyku.pdf> (дата обращения: 30.11.2024).
4. Миронова, И.Н. Определение содержания понятия «предметно-языковое интегрированное обучение» / И.Н. Миронова // Научные труды Московского гуманитарного университета. — 2020. — № 3. — С. 13–17.
5. Дубинкина, А.О. Квест-игра как способ закрепления лексического материала на занятиях по английскому языку / А.О. Дубинкина, А.Н. Береснева // Лингвокультурное образование в системе вузовской подготовки специалистов: сб. науч. тр. / Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина; под общ. ред. В.Ф. Сатиновой. — Брест, 2019. — С. 335–343.
6. Витченко, А.Н. География. Глобальные проблемы человечества: учеб. пособие для 11 класса учреждений общего среднего образования с русским языком обучения / А.Н. Витченко, Е.А. Антипова, О.Н. Гузова. — Минск: Адукацыя і выхаванне, 2019. — 248 с.
7. Английский язык. 11 класс / Н.В. Юхнель [и др.]. — Минск: Вышэйшая школа, 2021. — 352 с.

REFERENCES

1. *Ob organizatsii v 2024/2025 uchebnom godu obrazovatel'nogo protsessu pri izuchenii uchebnykh predmetov pri realizatsii obrazovatel'nykh programm obshchego srednego obrazovaniya. Prilozheniye 10* [On the organization in the 2024/2025 academic year of the educational process in the study of academic subjects in the implementation of the curricula of general secondary education. Appendix 10: Features of the organization of the educational process in the study of the academic subject "Geography"]. — URL: <https://edu.gov.by/2024-2025-uchebnyy-god> (Accessed: 30.11.2024).
2. Olunina N.N. *Permski pedagogicheski zhurnal* [Perm Pedagogical Journal], 2021, 12, pp. 121–125.
3. Dakuko N.V. *Epokha nauki* [The age of science], 2022, 29, pp. 224–227. URL: <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/15807/1/Dakuko-N-V-Ispolzovanie-podhoda-CLIL-v-processe-obucheniya-inostrannomu-yazyku.pdf> (Accessed: 30.11.2024).
4. Mironova I.N. *Nauchniye trudy Moskovskogo gumanitarnogo universiteta* [Scientific Works of Moscow Humanitarian University], 2020, 3, pp. 13–17.
5. Dubinkina A.O., Beresneva A.N. *Lingvokulturnoye obrazovaniye v sisteme vuzovskoi podgotovki spetsialistov: sb. nauch. tr.* [Linguistic and cultural education in the system of university training of specialists: a collection of scientific papers], Brest, 2019, pp. 335–343.
6. Vitchenko A.N., Antipova E.A., Guzova O.N. *Geografiya. Globalniye problemy chelovechestva: ucheb. posobiye dlia 11 klassa uchrezhdeni obshchego srednego obrazovaniya s russkim yazykom obucheniya* [Geography. Global problems of mankind: Textbook for the 11th grade of institutions of general secondary education with the Russian language of instruction], Minsk: Adukatsia i vykhavannie, 2019, 248 p.
7. Yukhnel N.V. *Angliiski yazyk. 11 klass* [English. 11th grade], Minsk: Vysheishaya shkola, 2021, 352 p.

Поступила в редакцию 04.12.2024

Адрес для корреспонденции: e-mail: shamelena08@gmail.com — Шаматурская Е.В.

УДК 796.011.1:[377:78]-055.25

ОСОБЕННОСТИ ЗАНЯТИЙ ПО ПРЕДМЕТУ «ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И ЗДОРОВЬЕ» ДЕВУШЕК МУЗЫКАЛЬНОГО КОЛЛЕДЖА

Н.В. Минина, А.Н. Коханчик*Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»*

Музыка, как и спорт, требует ежедневных, многочасовых занятий. Постоянная низкая двигательная активность приводит к ухудшению физического состояния и, как следствие, к непосещению занятий по физической культуре в школе, а затем и в колледже. Усугубляют ситуацию слабое здоровье и низкая физическая подготовленность.

Цель работы — выявить особенности занятий физическими упражнениями девушек, получающих музыкальное образование.

Материал и методы. В исследовании приняли участие девушки, обучающиеся в учреждении образования «Новополоцкий государственный музыкальный колледж». Проведен анкетный опрос, дана оценка физическому развитию и физической подготовленности.

Результаты и их обсуждение. На отделении музыкальных инструментов 38,7% девушек занимаются по классу фортепиано, 12,9% — цимбалы, 8% — домра, 8% — флейта, 8% — аккордеон, 6,5% — баян, 6,5% — скрипка, 4,8% — балалайка, 3,2% — ударные инструменты, 1,6 — виолончель, 1,6% — гитара. Опрос учащихся на предмет длительности занятий игрой на музыкальном инструменте свидетельствует: время занятий музыкой у 64% составило 4 года, у 25% — 6 лет, у 11% — более 8 лет. Сравнительный анализ результатов тестирования обучающихся показал, что отставание в развитии физических качеств наблюдается у девушек, занимающихся музыкой, по сравнению с учащимися данного возраста общеобразовательной школы, не занимающихся музыкой и спортом, практически по всем показателям. После педагогического эксперимента оценка уровня физической подготовленности увеличилась практически на 1 балл $7,7 \pm 0,19$ против $7,0 \pm 0,17$ балла в начале.

Заключение. Физическая культура и спорт играют важную роль в профилактике профессиональных заболеваний музыкантов. Поэтому перед педагогами стоит весьма важная задача по организации специально направленных занятий для сохранения здоровья музыканта.

Ключевые слова: физическая культура, профессиональные заболевания музыкантов, сколиоз, оздоровление позвоночника.

FEATURES OF CLASSES IN THE SUBJECT “PHYSICAL EDUCATION AND HEALTH” FOR GIRLS OF MUSIC COLLEGE

N.V. Minina, A.N. Kokhanchik*Education Establishment “Vitebsk State P.M. Masherov University”*

Music, like sports, requires many daily hours of practice. Constant low physical activity leads to the deterioration in physical condition and, consequently, to skipping physical education classes at school and then college. The situation is aggravated by poor health and bad physical fitness.

The purpose of the study is to identify the characteristics of physical exercise among girls receiving music education.

Material and methods. Girls studying at the education establishment “Novopolotsk State Music College” took part in the study. A questionnaire survey was conducted and an assessment of physical development and physical fitness was given.

Findings and their discussion. At the Musical Instruments Department, 38,7% of the girls study piano, 12,9% — dulcimer, 8% — domra, 8% — flute, 8% — accordion, 6,5% — button accordion, 6,5% — violin, 4,8% — balalaika, 3,2% — percussion instruments, 1,6 — cello, 1,6% — guitar. A survey of students regarding the duration of playing a musical instrument shows: the time of music lessons for 64% was 4 years, for 25% — 6 years, for 11% — more than 8 years. A comparative analysis of the test results of students showed that there is a lag in the development of physical qualities in almost all indicators of girls involved in music, compared to students of a given age in a general education school who do not engage in music and sports. After the pedagogical experiment, the assessment of the level of physical fitness increased by almost 1 point $7,7 \pm 0,19$ versus $7,0 \pm 0,17$ points at the beginning.

Conclusion. *Physical education and sports play an important role in the prevention of professional diseases of musicians. Therefore, teachers face a very important task in organizing specially targeted classes to preserve the health of the musician.*

Key words: *physical education, professional diseases of musicians, scoliosis, healing of the spine.*

Музыка, игра на музыкальных инструментах требуют многочасовых занятий. Обучение игре на различных инструментах в музыкальной школе длится от 4 до 8 лет. Занимающийся сидит или стоит длительное время в постоянной позе, что порой негативно сказывается на состоянии опорно-двигательного аппарата, зрительном анализаторе. Как правило, у детей и подростков, занимающихся музыкой, отмечается повышенная заболеваемость. Это необходимо учитывать при планировании и организации учебного процесса по физической культуре как в общеобразовательных школах с музыкальным уклоном, так и в музыкальных колледжах.

Существует несколько причин возникновения профессиональных заболеваний музыкантов: нарушение работы мышц во время неправильной позы и недостаточная тренированность организма. Игра на музыкальных инструментах предъявляет к музыканту ряд требований. Поэтому при разработке учебных программ музыкальных учебных заведений является актуальным учет особенностей музыкальной профессии и специальности музыканта. Причина большинства нарушений осанки состоит в недостаточном развитии и адаптации мышц, а также отсутствии специальных мер по формированию правильной осанки в музыкальных учебных заведениях [1].

Исполнительская деятельность связана и с психофизическими перегрузками во время публичных выступлений, переживания музыкального произведения через себя. Дети, занимающиеся в музыкальной школе, чаще болеют [2].

При игре на музыкальном инструменте организм часто находится в неестественной позе. Одно из распространенных среди музыкантов заболеваний — боли в спине в результате неудобного положения или позы во время игры на музыкальном инструменте. Особенность позы скрипачей и флейтистов — удержание головы, повернутой в сторону и слегка наклоненной; у арфистов — постоянно поднятые руки; аккордеонисты и трубачи вынуждены удерживать тяжелый инструмент. У пианистов отмечается напряжение всего тела [3].

В результате такое постоянное длительное состояние приводит к искривлению позвоночника и, как следствие, к нарушению осанки. Среди заболеваний профессиональных музыкантов распространены остеохондроз, воспаления запястья [4]. Медики относят профессию музыканта оркестра к числу опасных для здоровья.

В жизни каждого школьника, обучающихся средних специальных учебных заведений, а также учреждений высшего образования (УВО) большая роль должна отводиться физической культуре и спорту. Часто родители отдают ребенка в музыкальную школу еще в дошкольном возрасте. Постоянная низкая двигательная активность приводит к ухудшению физического состояния и, как следствие, к непосещению занятий по физической культуре в школе, а затем и в училище. Усугубляют ситуацию слабое здоровье и низкая физическая подготовленность. Боязнь получить травму во время занятий физическими упражнениями формирует у учащихся-музыкантов негативное отношение к физической культуре.

Музыканту необходимо с детства прививать любовь к занятиям физическими упражнениями как основному средству оздоровления организма. Практика показывает, что лишь малое количество учащихся детских музыкальных школ занимаются в спортивных секциях. Поэтому необходимо определить особенности методики занятий физическими упражнениями лиц, занимающихся игрой на музыкальных инструментах.

Специально направленные физические упражнения имеют важное значение как средство укрепления и оздоровления организма музыканта.

Цель работы — выявить особенности занятий физическими упражнениями девушек, получающих музыкальное образование.

Материал и методы. В исследовании приняли участие девушки 15–16 лет учреждения образования «Новополоцкий государственный музыкальный колледж». Педагогическое наблюдение применялось на занятиях при игре на музыкальном инструменте для установления позы и фиксации движений музыкантов. Проведено предварительное тестирование учащихся. Сделан сравнительный анализ с учащимися ГУО «Средняя школа № 2 им. Е.М. Трапезниковой г. Новополоцка». В результате педагогического

эксперимента выявлен текущий уровень физической подготовленности учащихся музыкального колледжа, дана его оценка. Разработана программа занятий специальными упражнениями для укрепления опорно-двигательного аппарата. По окончании эксперимента было проведено контрольное тестирование.

Методы исследования: теоретический анализ и обобщение литературных источников, педагогическое наблюдение, опрос, врачебный контроль, педагогический эксперимент, метод контрольных упражнений, математической статистики.

Результаты и их обсуждение. В УО «Новополоцкий государственный музыкальный колледж» обучаются девушки в возрасте 15–20 лет, осваивающие содержание образовательных программ среднего специального образования. Срок обучения — 4 года. «Основная часть поступающих (95%) — это лица, окончившие 9–10 классов учреждения общего среднего образования. 5% — лица после полного окончания учреждения общего среднего образования. Ежегодно на первый курс поступает 40 учащихся, из них 30 человек составляют девушки. Обучение в колледже ведется на различных инструментах: фортепиано, баяне, аккордеоне, балалайке, домре, гитаре, цимбалах, скрипке, виолончели, флейте, тромбоне, саксофоне и других. На отделении музыкальных инструментов 38,7% девушек занимаются по классу фортепиано, 12,9% — цимбалы, 8% — домра, 8% — флейта, 8% — аккордеон, 6,5% — баян, 6,5% — скрипка, 4,8% — балалайка, 3,2% — ударные инструменты, 1,6 — виолончель, 1,6% — гитара» [цит. по: 5].

Физическое воспитание обучающихся, осваивающих содержание образовательных программ профессионально-технического образования, среднего специального образования организуется в соответствии с требованиями законодательных актов. По предмету «Физическая культура и здоровье» предусматривается 3 учебных часа в учебную неделю в течение всего периода обучения (4 года, 8 семестров).

Для определения оценки уровня физической подготовленности учащихся (девушки I–IV курсов) используют общепринятые тесты. Для установления оценки уровня сформированности двигательных навыков учащихся (девушки I–IV курсов) применяют следующие контрольные упражнения: бег 100 м; прыжок в длину с разбега; прыжок в высоту с разбега; метание мяча 150 г с разбега; сгибание и разгибание рук в упоре лежа (раз); подтягивание на низкой перекладине (раз); бег на лыжах 3 км; плавание 50 м; 25 м; кросс 2000 м.

Нами опрошены учащиеся на предмет длительности занятий игрой на музыкальном инструменте. Время занятий музыкой у 64% составило 4 года, у 25% — 6 лет, у 11% — более 8 лет. Контингент абитуриентов музыкального колледжа отличается своей специфичностью по состоянию здоровья. Результаты медицинского осмотра лиц, поступивших на I курс музыкального колледжа после окончания 9 классов общеобразовательного учебного заведения, свидетельствуют, что по сравнению с общеобразовательной школой 11% учащихся отнесены к спецмедгруппе, в школе — 7% соответственно. Освобождено от занятий физической культурой в музыкальном колледже 4% учащихся, в школе — 2% соответственно. К подготовительной группе относятся лица, имеющие слабое физическое развитие, соответственно низкий уровень физической подготовленности. Данная группа поступающих составляет 31% по сравнению с ровесниками общеобразовательной школы (22%). 54% учащихся I курса относятся к основной группе и имеют удовлетворительную физическую подготовку, в школе 69% соответственно (рис. 1 и 2).

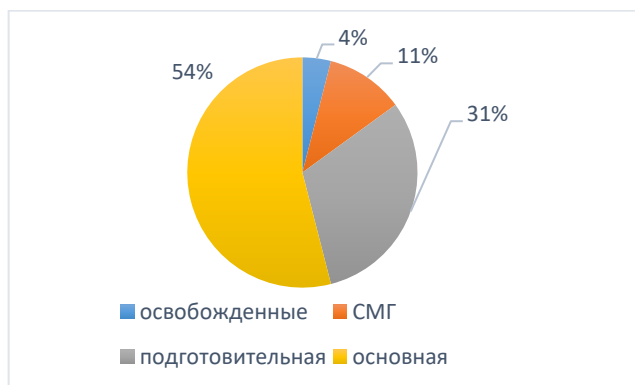


Рис. 1. Группы здоровья девушек музыкального колледжа

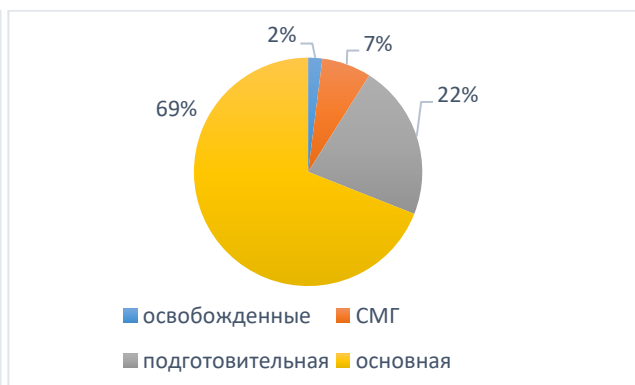


Рис. 2. Группы здоровья девушек общеобразовательной школы

Наиболее распространены среди учащихся музыкального колледжа следующие заболевания: болезни внутренних органов — 33%, миопия — 30%, сердечно-сосудистые — 21%, плоскостопие — 6% и др. Более 60% учащихся музыкального колледжа имеют нарушения осанки. Опрос показывает, что большинство учащихся (68%) не считают, что занятия физкультурой укрепят их организм, повлияют на лучшее владение инструментом, а в дальнейшем на успешную концертную деятельность. В связи с этим данные лица не в достаточной мере уделяют внимание своему здоровью. В результате анкетного опроса нами был выявлен ряд причин негативного отношения к физической культуре.

Из них 35% жалуются на нехватку свободного времени в связи с многочасовыми репетициями, 14% на слабое здоровье, 12% считают себя неспособными к занятиям физической культурой, 7% боятся получить травму пальца или кисти. Только 32% учащихся I–IV курсов регулярно систематически занимаются физической культурой и спортом в свободное от основной учебы время (табл. 1).

Таблица 1

Причины негативного отношения учащихся музыкального колледжа к физической культуре

Причины	Количество занимающихся, %
нехватка свободного времени	35%
слабое здоровье	14%
считают себя неспособными к занятиям физической культурой	12%
боязнь получить травму пальца или кисти	7%
систематически занимаются физической культурой и спортом	32%

В связи с этим руководство колледжа старается проявлять все усилия к привлечению своих учащихся к участию в спортивно-массовой работе, физкультурно-оздоровительной. Следует отметить, что финансирование специализированных колледжей по материально-технической базе для занятий физической культурой и спортом (покупка спортивного инвентаря, постройка стадиона) затруднено по ряду причин, одна из которых высокая стоимость музыкальных инструментов, необходимых для профессионального образования.

Результаты исследования массы тела продемонстрировали, что «38% девушек музыкального колледжа имеют дефицит массы тела, т.е. значение ИМТ менее 18,5 кг/м². При этом показатели располагались в ряду от 17,6 до 18,1 кг/м². Гипотрофия говорит о низкой доле мышечной массы и соответственно низких силовых показателях, что является неблагоприятным признаком при игре на музыкальных инструментах, которые имеют большой вес, или инструментах, которые надо держать на весу (флейта, труба). 57% учащихся обладают нормальной массой тела (18,5–24,9 кг/м²). Повышенную массу тела имеют 4% девушек. Следует отметить, что все показатели обследованных располагаются в начале ранга (25,0–29,9 кг/м²). Лишь 1% занимающихся страдает ожирением первой степени (30,0–34,9 кг/м²)» [цит. по: 5]. Эти данные подтверждают факт, что длительное занятие игрой на музыкальном инструменте требует значительного времени. Чем выше исполнительский уровень музыканта, тем больше времени уделяется игре на инструменте. Таким образом, возникает дефицит времени на физическую подготовку, что приводит к мышечной атрофии.

Нами были проведен анализ рабочих поз при игре на различных музыкальных инструментах. Каждой музыкальной специализации присуща своя рабочая поза. Длительная работа в положении сидя у музыкантов, особенно с наклоненным туловищем, часто приводит к сутулости. «У исполнителей на народных клавишных инструментах (баян, аккордеон) есть своя специфика. Баян и аккордеон требуют значительной физической силы мышц верхнего плечевого пояса и силовой выносливости. Большая нагрузка ложится на левую руку, которая выполняет две функции: отведение и приведение руки при растягивании мехов и точные мелкие игровые движения пальцев» [цит. по: 5]. При исполнении на духовых инструментах в положении стоя следует удерживать равновесие, особенно когда инструмент имеет значительный вес. Длительное напряжение мышц вызывает шейный остеохондроз, сколиоз. Поэтому необходимо развивать правильную осанку. Таким образом, в физическом воспитании

музыкантов особенно востребованы упражнения, направленные на расслабление мышц, которые были задействованы при игре на музыкальном инструменте. Для баянистов, аккордеонистов, пианистов это специальные упражнения для рук: встряхивание кисти, предплечья, плеча; сгибание и разгибание, приведение и отведение кисти.

На основании анализа рабочих поз музыкантов нами разработаны для экспериментальной группы комплексы упражнений с учетом получаемой музыкантом специальности. В зависимости от игры на музыкальном инструменте упражнения имели свою направленность, количество повторений и интенсивность. До начала педагогического эксперимента нами было проведено исследование физической подготовленности девушек 15–16 лет учащихся музыкального колледжа г. Новополоцка. При тестировании использовались контрольные упражнения школьной программы. Данные результаты сравнивались с результатами учащихся-ровесников ГУО «Средняя школа № 2 им. Е.М. Трапезниковой г. Новополоцка». Подробный анализ результатов тестирования обучающихся продемонстрировал, что наблюдается отставание в развитии физических качеств практически по всем показателям девушек, занимающихся музыкой, по сравнению с учащимися данного возраста общеобразовательной школы, не занимающимися музыкой и спортом (табл. 2).

Так, показатели в челночном беге 4х9 м у девушек музыкального колледжа были достоверно хуже — $10,5 \pm 0,68$ сек, чем у их ровесниц из средней школы — $9,9 \pm 0,30$ сек ($p < 0,05$). Результаты в прыжке в длину с места у музыкантов составили $168 \pm 3,46$ см против $176 \pm 2,84$ см ($p < 0,05$), что говорит о недостаточном развитии скоростно-силовых качеств. В поднимании туловища за 1 минуту лучшие показатели были также у учащихся общеобразовательного учебного заведения — $52 \pm 1,44$ раза против $44 \pm 1,73$ раза девушек колледжа ($p < 0,05$). Силовая выносливость мышц живота музыкантов-исполнителей развита недостаточно.

Таблица 2

Результаты тестирования физической подготовленности

Тесты	Учащиеся музыкального колледжа	Учащиеся общеобразовательной школы	Значение p
Челночный бег 4х9 м, с	$10,5 \pm 0,68$	$9,9 \pm 0,30$	$p < 0,05$
Прыжок в длину с места, см	$168 \pm 3,46$	$176 \pm 2,84$	$p < 0,05$
Поднимание туловища за 1 мин, раз	$44 \pm 1,73$	$52 \pm 1,44$	$p < 0,05$
Наклон вперед из положения сидя, см	$13 \pm 0,32$	$16,7 \pm 0,57$	$p < 0,05$
Бег 30 м, с	$5,3 \pm 0,26$	$5,0 \pm 0,19$	$p > 0,05$
Бег 1000 м (мин, с)	$4,57 \pm 0,12$	$3,48 \pm 0,08$	$p < 0,05$
Оценка уровня физической подготовленности, балл	$7,0 \pm 0,17$	$8,1 \pm 0,13$	$p > 0,05$

Показатели гибкости школьниц составили $16,7 \pm 0,57$ см против $13 \pm 0,32$ см музыкантов ($p < 0,05$). Результаты бега на 30 м не выявили достоверных различий ($p > 0,05$), но были у школьниц выше $5,0 \pm 0,19$ сек против $5,3 \pm 0,26$ сек учащихся колледжа. Обучающиеся школ обладают более высокими показателями общей выносливости, их результат в беге на 1000 м составил $3,48 \pm 0,08$ против $4,57 \pm 0,12$ ($p < 0,05$). Уровень физической подготовленности в соответствии 10-балльной шкалой не имел достоверных различий, хотя уровень школьниц 8,1 балла был выше уровня девушек музыкального колледжа (7,0 балла). В целом данные показатели как школьниц, так и учащихся музыкального колледжа соответствуют уровню физического развития выше среднего.

В течение года проводился педагогический эксперимент, основным отличием которого явилась специальная направленность физических упражнений для формирования правильной осанки, воспитания силовых способностей рук и гибкости. Так, для укрепления позвоночника использовались элементы йоги, упражнения лечебной физической культуры, исходные положения лежа на полу, применялись различные гимнастические предметы, такие как палка, мяч. При подборе упражнений

учитывалась специальность отделения. В эксперименте участвовали учащиеся музыкального колледжа (девушки) по специальности *инструментальное исполнительство* (фортепиано, инструменты народного оркестра, оркестровые струнно-смычковые инструменты). Уроки согласно учебной программе проводились 3 раза в неделю. Эксперимент носил последовательный характер.

По завершении эксперимента было прошло тестирование. Результаты представлены в табл. 3. Как видно из результатов исследования, специальная направленность занятий способствовала достоверному приросту результатов в поднимании туловища за 1 мин — $48 \pm 1,67$ раза против $44 \pm 1,73$ раза ($p < 0,05$), в наклоне вперед из положения сидя результат составил $16,3 \pm 1,13$ см против $13 \pm 0,32$. Силовая направленность упражнений способствовала укреплению рук, о чем свидетельствуют показатели в подтягивании из виса на низкой перекладине после эксперимента — $23,42 \pm 1,24$ раза и до начала педагогического эксперимента — $17,5 \pm 1,23$ раза.

Таблица 3

Результаты тестирования девушек музыкального колледжа до и после эксперимента

Тесты	До эксперимента	После эксперимента	Значение p
Челночный бег 4х9 м, с	$10,5 \pm 0,68$	$10,4 \pm 0,54$	$p > 0,05$
Прыжок в длину с места, см	$168 \pm 3,46$	$170 \pm 2,78$	$p > 0,05$
Поднимание туловища за 1 мин, раз	$44 \pm 1,73$	$48 \pm 1,67$	$p < 0,05$
Наклон вперед из положения сидя, см	$13 \pm 0,32$	$16,3 \pm 1,13$	$p < 0,05$
Бег 30 м, с	$5,3 \pm 0,26$	$5,2 \pm 0,19$	$p > 0,05$
Бег 1000 м (мин, с)	$4,57 \pm 0,12$	$4,53 \pm 0,22$	$p > 0,05$
Подтягивание из виса на низкой перекладине, раз	$17,5 \pm 1,23$	$23,42 \pm 1,24$	$p < 0,05$
Оценка уровня физической подготовленности, балл	$7,0 \pm 0,17$	$7,7 \pm 0,19$	$p < 0,05$

Как видно из результатов проведенного исследования, специальная направленность занятий стимулировала достоверный прирост результатов в поднимании туловища за 1 мин — $48 \pm 1,67$ раза против $44 \pm 1,73$ раза ($p < 0,05$), в наклоне вперед из положения сидя результат составил $16,3 \pm 1,13$ см против $13 \pm 0,32$. Силовая направленность упражнений способствовала укреплению рук, о чем свидетельствуют показатели в подтягивании из виса на низкой перекладине после эксперимента — $23,42 \pm 1,24$ раза и до начала педагогического эксперимента — $17,5 \pm 1,23$ раза. Оценка уровня физической подготовленности увеличилась практически на 1 балл — $7,7 \pm 0,19$ против $7,0 \pm 0,17$ балла в начале. Результаты в других видах тестирования не показали достоверного улучшения ($p > 0,05$). Челночный бег 4х9 м — $10,5 \pm 0,68$ до эксперимента и $10,4 \pm 0,54$ сек после эксперимента, в беге на 30 м — $5,3 \pm 0,26$ сек против $5,2 \pm 0,19$ сек соответственно, в беге на 1000 м — $4,57 \pm 0,12$ мин против $4,53 \pm 0,22$ мин [цит. по: 5]. Это подтверждает то, что физические качества быстрота, скоростно-силовые у учащихся старшего школьного возраста развиваются не такими быстрыми темпами, как у детей младшего или среднего школьного возраста. Развитие общей выносливости ограничено, на наш взгляд, тем, что занятия в осенне-зимний период и ранней весной проходят в помещении. Погодные условия и климат не в полной мере позволяют развивать выносливость у учащихся на занятиях физической культурой.

Методические рекомендации: направленность упражнений на занятиях физической культурой должна учитывать специализацию; развитие общей выносливости необходимо всем музыкантам; развитие силы требуется баянистам, аккордеонистам, тромбонистам; для всех специальностей наиболее важны в первую очередь упражнения на формирование правильной осанки, для снятия мышечных спазмов; музыканту не рекомендуется играть более 30–40 минут без перерыва, обязательны физкультминутки и паузы. Разработанные нами рекомендации могут быть использованы для обеспечения оздоровительной направленности занятий и профилактики профессиональных заболеваний музыкантов-инструменталистов.

Заключение. Физическая культура и спорт играют большую роль в профилактике профессиональных заболеваний музыкантов. Поэтому перед педагогами стоит очень важная задача по организации специально направленных занятий для сохранения здоровья музыканта и приобщения его к ведению здорового образа жизни в целом. В результате проведенного исследования доказано, что внедрение в учебный процесс специальных упражнений для укрепления опорно-двигательного аппарата повысит физическую подготовленность и улучшит профилактику профессиональных заболеваний музыкантов. Выявлен, теоретически обоснован и экспериментально подтвержден новый подход к использованию системы оздоровления позвоночника для профилактики профессиональных заболеваний девушек-музыкантов. Разработка реализована в учебном процессе по предмету «Физическая культура и здоровье» УО «Новополоцкий государственный музыкальный колледж».

ЛИТЕРАТУРА

1. Притужалов, Е.С. Генезис здоровья музыканта-исполнителя и объективная необходимость его укрепления средствами физической культуры / Е.С. Притужалов, Е.Б. Ольховская // Здоровьесбережение как инновационный аспект современного образования: материалы II Междунар. науч.-практ. заоч. студен. конф., Екатеринбург, 20 марта 2015 г. / Рос. гос. проф.-пед. ун-т. — Екатеринбург, 2015. — С. 203–212. — URL: elar.rsvpu.ru/handle/123456789/3797 (дата обращения: 25.11.2022).
2. Коновалов, И.Е. Профессионально важные психические качества музыкантов и их развитие средствами физической культуры / И.Е. Коновалов, З.М. Кузнецова, И.Ш. Мутаева. — Набережные Челны: КамГАФКСиТ, 2009. — 132 с. — URL: <https://yandex.by/search/tex> (дата обращения: 15.12.2022).
3. Галичаев, М.П. Здоровье и физическая культура музыканта: учеб. пособие / М.П. Галичаев. — Ростов н/Д: РГК им. С.В. Рахманинова, 2015. — 250 с.
4. Коновалов, И.Е. Структура и программно-содержательное обеспечение системы современного физического воспитания студентов музыкальных средних специальных учебных заведений: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04 / Коновалов Игорь Евгеньевич; Поволж. гос. акад. физ. культуры, спорта и туризма. — Набережные Челны, 2012. — 236 с.
5. Коханчик, А.Н. Влияние занятий физическими упражнениями на организм лиц, занимающихся игрой на музыкальных инструментах / А.Н. Коханчик // Медико-биологические и педагогические основы адаптации, спортивной деятельности и здорового образа жизни: сб. науч. ст. XIII Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 18–19 апр. 2024 г. / Воронеж. гос. акад. спорта; под. ред. А.В. Сысоева, И.Е. Поповой. — Воронеж, 2024. — С. 277–280.

REFERENCES

1. Prituzhalov E.S., Olkhovskaya E.B. *Zdorovyesberezheniye kak innovatsionnyy aspekt sovremennogo obrazovaniya: materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. zaoch. student. konf., Yekaterinburg, 20 marta 2015 g.* [Health Preservation as an Innovative Aspect of the Contemporary Education: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Student Correspondence Conference, Yekaterinburg, March 20, 2015], Yekaterinburg, 2015, pp. 203–212. — URL: elar.rsvpu.ru/handle/123456789/3797 (Accessed: 25.11.2022).
2. Konovalov I.E., Kuznetsova Z.M., Mutayeva I.Sh. *Professionalno vazhniye psikhicheskiye kachestva muzykantov i ikh razvitiye sredstvami fizicheskoi kultury* [Professionally Relevant Psychic Qualities of Musicians and their Development by Means of Physical Education], Naberezhniye Chelny: KamGAFKSIT, 2009, 132 p. — URL: <https://yandex.by/search/tex> (Accessed: 15.12.2022).
3. Galichayev M.P. *Zdorovye i fizicheskaya kultura muzykanta: ucheb. posobiye* [Health and Physical Education of the Musician: Textbook], Rostov n/D: RGK im. S.V. Rakhmaninova, 2015, 250 p.
4. Konovalov I.E. *Struktura i programmno-soderzhatelnoye obespecheniye sistemy sovremennogo fizicheskogo vospitaniya studentov muzykalnykh srednikh spetsialnykh uchebnykh zavedeni: dis. ... d-ra ped. nauk* [Structure and Curriculum and Content Provision of the System of the Contemporary Physical Education of Music Secondary Special Education Establishment Students: Dr.Sc. (Education) Dissertation], Naberezhniye Chelny, 2012, 236 p.
5. Kokhanchik A.N. *Mediko-biologicheskkiye i pedagogicheskkiye osnovy adaptatsii, sportivnoi deyatel'nosti i zdorovogo obraza zhizni: sb. nauch. st. XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Voronezh, 18–19 apr. 2014 g.* [Medical and Biological and Pedagogical Bases of Adaptation, Sport Activities and Healthy Lifestyle: a Collection of Articles of the XIII International Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 18–19, 2024], Voronezh, 2024, pp. 277–280.

Поступила в редакцию 12.02.2025

Адрес для корреспонденции: e-mail: mininata@mail.ru — Минина Н.В.

ЗВЕСТКІ ПРА АЎТАРАЎ

АРЖАНОВІЧ Вадзім Феліксавіч — дырэктар Віцебскага абласнога вучэбна-метадычнага цэнтра фізічнага выхавання насельніцтва, магістр педагогічных навук.

БЕЛАЯ Алена Валянцінаўна — прафесар кафедры геаграфіі і экалогіі чалавека БДПУ імя Максіма Танка, доктар біялагічных навук, дацэнт.

ДАЙЛІД Анастасія Сяргееўна — студэнтка V курса факультэта тэхналогіі арганічных рэчываў БДТУ.

ДЗЯРЖЫНСКІ Яўгеній Аляксандравіч — дацэнт кафедры фундаментальнай і прыкладной біялогіі ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат біялагічных навук, дацэнт.

ДУБІНКІНА Аляксандра Алегаўна — настаўнік англійскай мовы Ліцэя ВДУ імя П.М. Машэрава.

ЖАРНАСЕКАЎ Дзмітрый Данілавіч — прафесар кафедры фундаментальнай і прыкладной біялогіі ВДУ імя П.М. Машэрава, доктар біялагічных навук, дацэнт.

ІВАНОВА Жанна Віктараўна — дацэнт кафедры матэматыкі ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт.

КАХАНЧЫК Анастасія Мікалаеўна — выкладчык фізічнага выхавання Наваполацкага дзяржаўнага музычнага каледжа, магістр педагогічных навук.

КІСІЛЕЎСКАЯ Наталля Сяргееўна — аспірант кафедры хіміі і прыродазнаўчай адукацыі ВДУ імя П.М. Машэрава.

КУНЦЭВІЧ Анастасія Уладзіславаўна — студэнтка I курса хімічнага факультэта (спецыяльнасць “Хімія”) БДУ.

ЛАН Сіньсін — аспірант кафедры прафесійнага навучання і педагогікі інжынерна-педагогічнага факультэта БНТУ.

ЛОМАЎЦАЎ Фёдар Ягоравіч — прафесар кафедры інтэлектуальных метадаў мадэлявання БДУ, доктар фізіка-матэматычных навук, прафесар.

ЛЯВОНЦЕЎ Віктар Мікалаевіч — загадчык кафедры біятэхналогіі БДТУ, кандыдат хімічных навук, дацэнт.

МІНІНА Наталля Уладзіміраўна — дацэнт кафедры тэорыі і методыкі фізічнай культуры і спартыўнай медыцыны ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат педагогічных навук, дацэнт.

НЕСЦЕР Вольга Уладзіміраўна — асістэнт кафедры біятэхналогіі БДТУ, кандыдат біялагічных навук, дацэнт.

ПЯРХАЛЬСКІ Аляксей Вячаслававіч — студэнт IV курса факультэта матэматыкі і інфармацыйных тэхналогій ВДУ імя П.М. Машэрава.

САВІЦКАЯ Карына Леанідаўна — навуковы супрацоўнік лабараторыі аптымізацыі і маніторынгу экасістэм Інстытута эксперыментальнай батанікі імя В.Ф. Купрэвіча НАН Беларусі.

ТАЛКАЧОВА Таццяна Аляксандраўна — дэкан факультэта хіміка-біялагічных і геаграфічных навук ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат біялагічных навук, дацэнт.

ФЕСЬКОВА Алена Уладзіміраўна — вядучы навуковы супрацоўнік БДТУ, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт.

ЧЫРКІН Аляксандр Аляксандравіч — прафесар кафедры хіміі і прыродазнаўчай адукацыі ВДУ імя П.М. Машэрава, доктар біялагічных навук, прафесар, лаўрэат Дзяржаўнай прэміі БССР.

ШАМАТУЛЬСКАЯ Алена Уладзіміраўна — старшы выкладчык кафедры экалогіі і геаграфіі, настаўнік геаграфіі Ліцэя ВДУ імя П.М. Машэрава.

ШАРАПАВА Іна Анатольеўна — дэкан педагогічнага факультэта ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат педагогічных навук, дацэнт.

ШПАК Віктар Гарыевіч — дацэнт кафедры тэорыі і методыкі фізічнай культуры і спартыўнай медыцыны ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат педагогічных навук, дацэнт.

ШТЭПА Уладзімір Мікалаевіч — загадчык кафедры прамысловай экалогіі БДТУ, доктар тэхнічных навук, дацэнт.

ШЫКУНЕЦ Аляксей Барысавіч — аспірант кафедры аквакультуры і дызайну экаасяроддзя ПалесДУ.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ARZHANOVICH Vadzim Feliksavich — Head of Vitebsk Region Education and Methodology Center for Physical Education of the Population, Master of Education.

BELAYA Alena Valiantsinauna — Professor of Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University Department of Geography and Ecology of Human, Dr.Sc. (Biology), Assistant Professor.

DAILID Anastasiya Siargeyeuna — student of BSTU Organic Substances Technology Faculty.

DZIARZHYNSKI Yaugeni Aliaksandravich — Assistant Professor of Vitebsk State P.M. Masherov University Department of Fundamental and Applied Biology, PhD (Biology), Assistant Professor.

DUBUNKINA Aliaksandra Alegauna — English Language Teacher of VSU Lyceum.

ZHARNASEKAU Dzmitry Danilavich — Professor of Vitebsk State P.M. Masherov University Department of Fundamental and Applied Biology, Dr.Sc. (Biology), Assistant Professor.

IVANOVA Zhanna Viktarauna — Assistant Professor of Vitebsk State P.M. Masherov University Department of Mathematics, PhD (Mathematics), Assistant Professor.

KAKHANCHYK Anastasiya Mikalayeuna — Lecturer of Physical Education of Novopolotsk State Music College, Master of Education.

KISILEUSKAYA Natallia Siargeyeuna — postgraduate student of VSU Department of Chemistry and Natural Science Education.

KUNTSEVICH Anastasiya Uladzislavauna — first year student of BSU Chemistry Faculty (Chemistry).

LIANG Xinxin — postgraduate student of BNTU Engineering and Pedagogical Faculty Department of Professional Education and Pedagogy.

LOMAUTSAU Feodar Yagoravich — Professor of BSU Department of Intellectual Methods of Modeling, Dr.Sc. (Physics and Math), Professor.

LIAVONTYEU Viktor Mikalayevich — Head of BSTU Department of Biotechnology, Ph.D. (Chemistry), Associate Professor.

MININA Natallia Uladzimirauna — Assistant Professor of VSU Department of Theory and Methods of Physical Education and Sport Medicine, PhD (Education), Assistant Professor.

NESTER Volga Uladzimirauna — assistant of BSTU Department of Biotechnology.

PIARKHALSKY Aliaksey Vyachaslavavich — 4th year student, Faculty of Mathematics and Information Technologies, VSU.

SAVITSKAYA Karyna Leanidauna — Researcher of State Scientific Institution “V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus” Laboratory of Optimization and Monitoring of Ecosystems.

TALKACHOVA Tatsiana Aliaksandrauna — Dean of VSU Faculty of Chemistry and Biology and Geography Sciences, PhD (Biology), Assistant Professor.

FESKOVA Alena Uladzimirauna — Leading researcher of Belarusian State Technological University, Ph.D. (Engineering), Associate Professor.

CHYRKIN Aliaksandr Aliaksandravich — Professor of VSU Department of Chemistry and Natural Science Education, Dr.Sc. (Biology), Professor. State Prize of the BSSR Laureate.

SHAMATULSKAYA Alena Uladzimirauna — Senior Lecturer of VSU Department of Ecology and Geography, Teacher of VSU Lyceum.

SHARAPAVA Ina Anatolyeuna — Dean of VSU Pedagogical Faculty, PhD (Education), Assistant Professor.

SHPAK Viktor Garyevich — Assistant Professor of VSU Department of Theory and Methods of Physical Education and Sport Medicine, PhD (Education), Assistant Professor.

SHTEPA Uladzimir Mikalayevich — Head of BSTU Department of Industrial Ecology, Dr.Sc. (Engineering), Assistant Professor.

SHYKUNETS Aliaksey Barysavich — postgraduate student of PalesSU Department of Aquaculture and Ecoenvironment Design.

ПРАВИЛЫ ДЛЯ АЎТАРАЎ

1. “Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта” публікуе вынікі навуковых даследаванняў, якія праводзяцца ў Віцебскім дзяржаўным універсітэце, навуковых установах і ВУН рэспублікі, СНД і іншых краін. Асноўным крытэрыем мэтазгоднасці публікацыі з’яўляецца навізна і арыгінальнасць артыкула. Навуковы часопіс уключаны ў Пералік навуковых выданняў, рэкамендаваных ВАК Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў па біялагічных, педагагічных, фізіка-матэматычных навуках. Па-за чаргой публікуюцца навуковыя артыкулы аспірантаў апошняга года навучання (уключаючы артыкулы, якія падрыхтаваны імі ў суаўтарстве) пры ўмове іх поўнай адпаведнасці патрабаванням, што прад’яўляюцца да навуковых публікацый выдання.

2. Патрабаванні да афармлення артыкула:

2.1. Рукапісы артыкулаў прадстаўляюцца на беларускай, рускай ці англійскай мове.

2.2. Кожны артыкул павінен утрымліваць наступныя элементы:

- індэкс УДК;
- назва артыкула;
- прозвішча і ініцыялы аўтара (аўтараў);
- арганізацыя, якую ён (яны) прадстаўляе;
- уводзіны;
- раздзел “Матэрыял і метады”;
- раздзел “Вынікі і іх абмеркаванне”;
- заключэнне;
- спіс выкарыстанай літаратуры.

2.3. Назва артыкула павінна адлюстроўваць яго змест, быць па магчымасці лаканічнай, утрымліваць ключавыя словы, што дазволіць індэксаваць артыкул.

2.4. Ва ўвядзеннях даецца кароткі агляд літаратуры па праблеме, указваюцца не вырашаныя раней пытанні, фармулюецца і абгрунтоўваецца мэта, падаюцца спасылкі на працы іншых аўтараў за апошнія гады, а таксама на замежныя публікацыі.

2.5. Раздзел “Матэрыял і метады” ўключае апісанне метадыкі, тэхнічных сродкаў, аб’ектаў і зместу даследаванняў, праведзеных аўтарам (аўтарамі).

2.6. У раздзеле “Вынікі і іх абмеркаванне” аўтар павінен зрабіць высновы з пункту гледжання іх навуковай навізны і супаставіць з адпаведнымі вядомымі дадзенымі. Гэты раздзел можа дзяліцца на падраздзелы з паясняльнымі падзаглаўкамі.

2.7. У заключэнні ў сціслым выглядзе павінны быць сфармуляваны атрыманыя вынікі, з указаннем на дасягненне пастаўленай мэты, навізну і магчымасці прымянення на практыцы.

2.8. Спіс літаратуры павінен уключаць не больш за 12 спасылак. Спасылкі нумаруюцца адпаведна з парадкам іх цытавання ў тэксце. Парадкавыя нумары спасылак пішуцца ў квадратных дужках па схеме: [1], [2]. Спіс літаратуры афармляецца ў адпаведнасці з патрабаваннямі ДАСТ — 7.1-2003. Спасылкі на неапублікаваныя працы, дысертацыі не дапускаюцца. Указваецца поўная назва аўтарскага пасведчання і рэдакцыянага рукапісу, а таксама арганізацыя, якая прад’явіла рукапіс да рэдагавання.

2.9. Артыкулы падаюцца ў рэдакцыю аб’ёмам не менш за 0,35 аўтарскага аркуша 14000 друкаваных знакаў, з прабеламі паміж словамі, знакамі прыпынку, лічбамі і інш.), надрукаваных праз адзін інтэрвал, шрыфт Times New Roman памерам 11 пт. У гэты аб’ём уваходзяць тэкст, табліцы, спіс літаратуры. Колькасць малюнкаў не павінна перавышаць трох. Малюнкi і схемy павінны падавацца асобнымі файламі ў фармаце jpg. Фатаграфіі ў друку не прымаюцца. Артыкулы павінны быць падрыхтаваны ў рэдактары Word для Windows. Простыя формулы і літарныя абазначэнні велічынь трэба ўстаўляць, выкарыстоўваючы Symbol (напрыклад, ∞ , A_1 , β^k , $^{\circ}\text{C}$). Складаныя формулы набіраюцца тым жа шрыфтам і памерам, што і асноўны тэкст, пры дапамозе рэдактара формул Equation.

2.10. У дадатак да папяровай версіі артыкула ў рэдакцыю здаецца электронная версія матэрыялаў. Электронная і папярсовая версіі артыкула павінны быць ідэнтычнымі. Адрас электроннай пошты ўніверсітэта (nauka@vsu.by).

3. Да артыкула дадаюцца наступныя матэрыялы (на асобных лістах):

- рэферат (100–250 слоў), які павінен дакладна перадаваць змест артыкула і быць прыдатным для апублікавання ў анатацыях да часопісаў асобна ад артыкула, і ключавыя словы на мове арыгінала. Ён павінен мець наступную структуру: уводзіны, мэту, матэрыял і метады, вынікі і іх абмеркаванне, заключэнне;
- назва артыкула, прозвішча, імя, імя па бацьку аўтара (поўнаасцю), месца яго працы, рэферат, ключавыя словы і спіс літаратуры на англійскай мове;
- нумар тэлефона, адрас электроннай пошты аўтара;
- рэкамендацыя кафедры (навуковай лабараторыі) да друку;
- экспертнае заключэнне аб магчымасці апублікавання матэрыялаў у друку;
- кароткія звесткі пра аўтара на беларускай і англійскай мовах: прозвішча, імя, імя па бацьку аўтара (поўнаасцю); пасада; месца працы; навуковая ступень; навуковае званне; адрас для карэспандэнцыі (лепш электронны).

4. Артыкулы, якія дасылаюцца ў рэдакцыю часопіса, падлягаюць абавязковай праверцы на арыгінальнасць і карэктнасць запазычанняў сістэмай “Антыплагіят.ВУН”. Для арыгінальных навуковых артыкулаў ступень арыгінальнасці павінна быць не менш за 85%, для аглядаў — не менш за 75%.

5. Па рашэнні рэдакцыі артыкул накіроўваецца на рэцэнзію, затым візіруецца членам рэдакцыі. Вяртанне артыкула аўтару на дапрацоўку не азначае, што ён прыняты да друку. Перапрацаваны варыянт артыкула зноў разглядаецца рэдакцыяй. Датай паступлення лічыцца дзень атрымання рэдакцыяй канчатковага варыянта артыкула.

6. Накіраванне ў рэдакцыю раней апублікаваных або прынятых да друку ў іншых выданнях работ не дапускаецца.

7. Адказнасць за прыведзеныя ў матэрыялах факты, змест і дакладнасць інфармацыі нясуць аўтары.

GUIDELINES FOR AUTHORS

1. "Vesnik of Vitebsk State University" publishes results of scientific research conducted at Vitebsk State University as well as at scientific institutions and universities, CIS and other countries. The main criterion for the publication is novelty and specificity of the article. The scientific journal is included into the List of scientific publications recommended by Supreme Qualification Commission (VAK) of the Republic of Belarus for publishing the results of dissertation research in biological, pedagogical, physical and mathematical sciences. The priority for publication is given to scientific articles by postgraduates in their last year (including their articles written with co-authors) on condition these articles correspond the requirements for scientific articles of the journal.

2. Guidelines for the layout of a publication:

2.1. Articles are to be in Belarusian, Russian or English.

2.2. Each article is to include the following elements:

- UDK index;
- title of the article;
- name and initial of the author (authors);
- institution he (she) represents;
- introduction;
- "Material and methods" section;
- "Findings and their discussion" section;
- conclusion;
- list of applied literature.

2.3. *The title* of the article should reflect its contents, be laconic and contain key words which will make it possible to classify the article.

2.4. *The introduction* should contain a brief review of the literature on the problem. It should indicate not yet solved problems. It should formulate the aim; give references to the recent articles of other authors including foreign publications.

2.5. *"Material and methods"* section includes the description of the method, technical aids, objects and contents of the author's (authors') research.

2.6. In *"Findings and their discussion"* section the author should draw conclusions from the point of view of their scientific novelty and compare them with the corresponding well-known data. This section can be divided into sub-sections with explanatory subtitles.

2.7. *The conclusion* should contain a brief review of the findings, indicating the achievement of this goal, their novelty and possibility of practical application.

2.8. The list of literature shouldn't include more than 12 references. The references are to be numerated in the order of their citation in the text. The order number of a reference is given in square brackets e.g. [1], [2]. The layout of the literature list layout is to correspond State Standard (GOST) — 7.1-2003. References to articles and theses which were not published earlier are not permitted. A complete name of the author's certificate and the deposited copy is indicated as well as the institution which presented the copy for depositing.

2.9. Two copies of articles of at least 0,35 of an author sheet size (14000 printing symbols with blanks, punctuation marks, numbers etc.), interval 1, Times New Roman 11 pt are sent to the editorial office. This size includes the text, charts and list of literature. Not more than three pictures are allowed. Pictures and schemes are to be presented in individual *jpg* files. Photos are not allowed. Articles should be typed in Word for Windows. Simple formulas and alphabetical symbols of dimensions should be put by using Symbol (e.g. ∞ , A_1 , β^k , $^{\circ}\text{C}$). Complicated formulas are typed by the same point and size as the basic text with the help of formula's editor Equation.

2.10. The electronic version should be attached to the paper copy of the article submitted to the editorial board. The electronic and the paper copies of the article should be identical. The university e-mail address is nauka@vsu.by).

3. Following materials (on separate sheets) are attached to the article:

- summary (100–250 words), which should precisely present the contents of the article, should be liable for being published in magazine summaries separately from the article as well as the key words in the language of the original. The structure of the summary is the following: introduction, objective, material and methods, findings and their discussion, conclusion;
- title of the article, surname, first and second names of the author (without being shortened), place of work, summary, key words and the list of literature should be in English;
- author's telephone number, e-mail address;
- recommendation of the department (scientific laboratory) to publish the article;
- expert conclusion on the feasibility of the publication;
- brief information about the author in Belarusian and Russian: the author's surname, name, patronymic; position, employment place; degree, title; post address (e-mail preferably).

4. All articles submitted to the editorial office of the journal are subject to mandatory verification of originality and correctness of borrowings by the AntiPlagiat.VUZ system. For original scientific articles the degree of originality should be at least 85%, for reviews — at least 75%.

5. On the decision of the editorial board the article is sent for a review, and then it is signed by the members of the editorial board. If the article is sent back to the author for improvement it doesn't mean that it has been accepted for publication. The improved variant of the article is reconsidered by the editorial board. The article is considered to be accepted on the day when the editorial office receives the final variant.

6. Earlier published articles as well as articles accepted for publication in other editions are not admitted.

7. The authors carry responsibility for the facts provided in the articles, the content and the accuracy of the information.

Выдавец і паліграфічнае выкананне — установа адукацыі
“Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П.М. Машэрава”.

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі ў якасці выдаўца,
вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў
№ 1/255 ад 31.03.2014.

Надрукавана на рызографе ўстановы адукацыі
“Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П.М. Машэрава”.
210038, г. Віцебск, Маскоўскі праспект, 33.

Пры перадрукаванні матэрыялаў спасылка
на “Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта” з’яўляецца абавязковай.
