



ISSN 2074-8566

# ВЕСНІК

ВІЦЕБСКАГА ДЗЯРЖАЎНАГА  
ЎНІВЕРСІТЭТА

2026 № 2(131)

# **ВЕСНІК**

## **ВІЦЕБСКАГА ДЗЯРЖАЎНАГА ЎНІВЕРСІТЭТА**

**НАВУКОВА-ПРАКТЫЧНЫ ЧАСОПІС**

Выдаецца з верасня 1996 года  
Выходзіць чатыры разы на год

**2026**  
**№ 2(131)**

**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, А.І. Нікіцін,**  
**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, педагагічных,  
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](mailto:nauka@vsu.by)  
<http://www.vsu.by>

---

Рэгістрацыйны № 750 ад 27.10.2009.  
Падпісана ў друк 27.05.2026. Фармат 60×84 1/8. Папера друкарская.  
Ум. друк. арк. 11,63. Ул.-выд. арк. 9,84. Тыраж 170 экз. Заказ 57.

© Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта, 2026

# З М Е С Т

## МАТЭМАТЫКА

- Ломовцев Ф.Е.** Смешанная задача для модельного телеграфного уравнения с двумя скоростями  $a_1(x,t)$  и  $a_2(x,t)$  при нехарактеристической косо́й производной на конце полуограниченной струны. II ..... 5
- Подоксёнов М.Н., Герасимович Н.С.** Полная группа подобий самоподобного трёхмерного лоренцевого многообразия одной специальной трёхмерной группы Ли ... 25

## БІЯЛОГІЯ

- Красовская И.А., Таджикибаева Н.Р., Галкин А.Н., Торбенко А.Б.** Оценка и управление геоэкологическими последствиями добычи полезных ископаемых открытым способом на примере территорий Республики Беларусь и Республики Узбекистан ..... 32
- Дорофеев С.А., Шаврова Е.В.** Миграционная активность дендрофильных птиц в весенний период на территории Белорусского Поозерья ..... 42
- Чиркин А.А., Данченко Е.О., Балаева-Тихомирова О.М., Толкачёва Т.А.** Динамика устойчивых нарушений обмена веществ, вызванных ионизирующей радиацией ..... 48
- Морозова И.М., Морозов И.М.** Распространение чужеродных растений на прилегающие к ботаническому саду ВГУ имени П.М. Машерова территории ..... 56

## ПЕДАГОГІКА

- Мацевская С.В., Чернявская И.Ф.** Развитие культурно-адаптивной компетентности иностранных студентов педуниверситета в процессе изучения музыкально-исполнительских дисциплин ..... 61
- Васюковіч Л.С.** Фарміраванне патрыятычных пачуццяў малодшых навучэнцаў ..... 66
- Авсейкова Н.И.** Периодизация развития дошкольного образования Республики Беларусь в конце XX — начале XXI века ..... 72
- Сёмкина И.А.** Роль координационного совета в функционировании партнерства «колледж–учреждение культуры» ..... 78
- Лесниченко-Роговская М.В.** Патриотическое воспитание студентов средствами профориентационной работы в учреждении высшего образования ..... 83
- Домино Е.С., Карелин М.А., Козлова Д.О.** Эффективность применения метода сопряженного воздействия на занятиях адаптивной физической культурой для детей с детским церебральным параличом ..... 90
- ЗВЕСТКІ ПРА АЎТАРАЎ** ..... 96

---



---

# CONTENTS

## M A T H E M A T I C S

- 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. II ..... 5
- Podoksenov M.N., Gerasimovich N.S.** Full Similarity Group of a Self-Similar Three-Dimensional Lorentzian Manifold of a Special Three-Dimensional Lie Group ..... 25

## B I O L O G Y

- Krasovskaya I.A., Tadjibayeva N.R., Galkin A.N., Torbenko A.B.** Assessment and Management of Geocological Consequences of Open-Mining Mineral Resources on the Example of Territories of the Republic of Belarus and the Republic of Uzbekistan ..... 32
- Dorofeyev S.A., Shavrova E.V.** Migration Activity of Dendrophilous Birds in the Springtime in Belarusian Poozeriye (Lake District) ..... 42
- Chirkin A.A., Danchenko E.O., Balayeva-Tikhomirova O.M., Tolkacheva T.A.** Dynamics of Persistent Metabolism Disorders Caused by Ionizing Radiation ..... 48
- Morozova I.M., Morozov I.M.** Spred of Alien Plants Into the Adjacent Territories of Vitebsk State P.M. Masherov University Botanical Garden ..... 56

## P E D A G O G Y

- Matsiyevskaya S.V., Cherniavskaya I.F.** Development of Culturally Adaptive Competence of Foreign Students at Pedagogical University in the Process of Doing Musical Performance Disciplines ..... 61
- Vasiukovich L.S.** Shaping Primary School Student Patriotic Feelings ..... 66
- Avseikova N.I.** Periodization of the Development of Preschool Education in the Republic of Belarus in the Late XX — Early XXI Centuries ..... 72
- Siomkina I.A.** Role of the Coordinating Council in the Operation of College-Establishment of Culture Partnership ..... 78
- Lesnichenko-Rogovskaya M.V.** Patriotic Education of Students by Means of Career Guidance Work at the University ..... 83
- Domino E.S., Karelin M.A., Kozlova D.O.** Efficiency of the Application of Connected Influence Method in Adaptive Physical Education Classes for Children with Cerebral Palsy .... 90
- INFORMATION ABOUT THE AUTHORS** ..... 96



# МАТЭМАТЫКА

УДК 517.956

## 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. II

Ф.Е. Ломовцев

Белорусский государственный университет

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

*Цель статьи — разработка метода неявных характеристик для вывода полного, окончательного и неупрощаемого 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 настоящей статьи выведена глобальная теорема корректности смешанной задачи для двухскоростного модельного телеграфного уравнения с переменными коэффициентами при начальных условиях и нехарактеристической косоугольной производной граничного режима в первой четверти плоскости. Глобальной теоремой корректности мы называем 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 уже вычислены ее явные решения, доказана их дважды непрерывная дифференцируемость вне критической характеристики и непрерывная дифференцируемость на критической характеристике.*

*В этой части статьи доказана непрерывность их вторых производных на критической характеристике.*

**Заключение.** *Таким образом, доказана непрерывность на критической характеристике вторых частных производных от найденных решений смешанной задачи для двухскоростного модельного телеграфного уравнения при нехарактеристической нестационарной косоугольной производной на конце полуограниченной струны.*

**Ключевые слова:** *двухскоростное модельное телеграфное уравнение, переменные коэффициенты, метод неявных характеристик, нехарактеристическая косоугольная 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. II

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 derived for a mixed problem for a two-speed model telegraph equation with variable coefficients at initial conditions and a noncharacteristic 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 were already calculated, their twice continuous differentiability outside the critical characteristic and continuous differentiability on the critical characteristic were proven. In this second part of the paper, the continuity of their second derivatives on the critical characteristic is proven.*

**Conclusion.** *Thus, the continuity at the critical characteristic of the second partial derivatives of the found solutions to the mixed problem for the two-speed model telegraph equation is proved with a noncharacteristic non-stationary oblique derivative at the end of a semibounded string.*

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

**В** первой части этой статьи [1] новым «методом неявных характеристик» Ф.Е. Ломовцева уже вычислены явные формулы единственных и устойчивых по Адамару решений смешанной задачи для двухскоростного неоднородного модельного телеграфного уравнения с переменными коэффициентами при нехарактеристической первой кривой производной на конце полуограниченной струны. В ней доказана дважды непрерывная дифференцируемость этих решений вне критической характеристики и их непрерывная дифференцируемость на критической характеристике телеграфного уравнения. В этой части статьи завершается доказательство теоремы 1 обоснованием непрерывности вторых частных производных данных решений на критической характеристике и тем самым критерия корректности по Адамару во множестве классических (дважды непрерывно дифференцируемых) решений изученной смешанной задачи. Здесь впервые «метод неявных характеристик» дополнен символьным исчислением “Wolfram Mathematica” на персональных компьютерах для проверки сверхсложных математических преобразований. Из доказанной теоремы 1 выведены важные следствия 1 и 2, которые дают минимальные необходимые и достаточные требования гладкости правой части двухскоростного неоднородного модельного телеграфного уравнения с переменными коэффициентами для изученной в статье нехарактеристической смешанной задачи. Единственность ее классических решений обеспечена способом их поиска методом неявных характеристик из всех дважды непрерывно дифференцируемых решений уравнения. Устойчивость ее классических решений вытекает из явных формул этих решений. В [1] используются соответствующие частные классические решения неоднородного модельного волнового уравнения с двумя переменными скоростями и критерии их дважды непрерывной дифференцируемости в первой четверти плоскости, полученные методом корректировки пробных решений в классические решения из [2]. В первой части [1] также изложена история зарождения

и развития метода неявных характеристик в случае первой и второй смешанных задач для односкоростных волновых уравнений с переменными коэффициентами на примере работ [3–11].

**Материал и методы.** В первой части этой статьи [1] новым методом неявных характеристик явно решается и исследуется корректность по Адамару нехарактеристической смешанной задачи

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

$$l_0u \equiv u(x,0) = \varphi(x), \quad l_1u \equiv u_t(x,0) = \psi(x), \quad x > 0, \quad (2)$$

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

где исходные данные смешанной задачи  $f, \varphi, \psi, \mu$  — 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  $\alpha, \beta, \gamma$  — 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.

**Результаты и их обсуждение.** В настоящей статье с новой нумерацией формул мы в ссылках используем нумерацию формул уже опубликованной первой части этой статьи из [1]. Новым методом неявных характеристик завершаем доказательство следующей теоремы.

**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

$$a_1(0,0) = a_2(0,0), \quad (a_1)_t(0,0) = (a_2)_t(0,0), \quad (a_1)_x(0,0) = (a_2)_x(0,0). \quad (4)$$

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

$$\int_0^t f(h_i\{g_i(x,t), \tau\}, \tau) d\tau \in C^1(G_\infty), \quad i=1, 2, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \int_{(-1)^{i+1}g_2(x,t)}^{h_2\{g_2(x,t), g_2(x,t)\}} f(\delta, g_2(x,t)) d\delta - \int_{g_2(x,t)}^t f(h_2\{g_2(x,t), \tau\}, \tau) d\tau - \\ & - \int_0^{g_2(x,t)} f(h_1\{g_1((-1)^{i+1}g_2(x,t), g_2(x,t)), \tau\}, \tau) d\tau \in C^1(G_\infty), \quad i=1, 2, \end{aligned} \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} & u_-(x,t) = \varphi(h_2\{g_2(x,t), 0\}) - F_1(h_2\{g_2(x,t), 0\}, 0) + \\ & + \int_{h_2\{g_2(x,t), 0\}}^{h_1\{g_1(x,t), 0\}} \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v,0)(F_1)_v(v,0) - (F_1)_t(v,0)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} dv + F_1(x,t), \quad (x,t) \in G_-, \quad (7) \\ & u_+(x,t) = \varphi(0) - F_1(0,0) + F_1(x,t) + \\ & + \int_0^{h_1\{g_1(x,t), 0\}} \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v,0)(F_1)_v(v,0) - (F_1)_t(v,0)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} dv + \\ & + \frac{1}{\eta(h^{(2)}[0, g_2(x,t)])} \int_0^{h^{(2)}[0, g_2(x,t)]} \eta(\rho) \left\{ \frac{a_1(0,\rho)\mu(\rho)}{a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right\} \times \\ & \times \left[ \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v,0)(F_1)_v(v,0) - (F_1)_t(v,0)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \Big|_{v=h_1\{g_1(0,\rho), 0\}} - \frac{\partial h_1\{g_1(0,\rho), 0\}}{\partial \rho} - \hat{F}_1'(\rho) \right] - \\ & - \frac{a_1(0,\rho)\gamma(\rho)}{a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \left[ \varphi(0) + \int_0^{h_1\{g_1(0,\rho), 0\}} \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v) - a_1(v,0)(F_1)_v(v,0) - (F_1)_t(v,0)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} dv + \right. \end{aligned}$$

$$+F_2(0, \rho) - F_1(0, 0) - \hat{F}_1(\rho)] - (F_2)_\rho(0, \rho) - \frac{[a_1(0, \rho) + a_2(0, \rho)]\beta(\rho)}{a_2(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \hat{F}_2(\rho) \Big\} d\rho, (x, t) \in G_+, \quad (8)$$

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  $(F_2)_i$  по  $t$  от  $F_2$  в (30) и интегрирующий множитель

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

Доказательство. Продолжаем доказательство теоремы 1 из [1]. Дифференцируем один раз по  $t$  выражение (38) при  $f = 0$  из [1] и получаем тождество

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u_-}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u_+}{\partial t^2} &= \frac{d^2 \varphi(h_2\{g_2(x, t), 0\})}{dh_2^2} \left( \frac{\partial h_2\{g_2(x, t), 0\}}{\partial t} \right)^2 + \frac{d\varphi(h_2\{g_2(x, t), 0\})}{dh_2} \times \\ &\times \frac{\partial^2 h_2\{g_2(x, t), 0\}}{\partial t^2} - \left( \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \right) \Big|_{v=h_2\{g_2(x, t), 0\}} \left( \frac{\partial h_2\{g_2(x, t), 0\}}{\partial t} \right)^2 - \\ &- \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \Big|_{v=h_2\{g_2(x, t), 0\}} \frac{\partial^2 h_2\{g_2(x, t), 0\}}{\partial t^2} - \\ &- \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left\{ \frac{1}{\eta(h^{(2)}[0, g_2(x, t)])} \int_0^{h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \eta(\rho) \left[ \frac{a_1(0, \rho)\mu(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0, \rho)[a_2(0, \rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \times \right. \right. \\ &\times \left. \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \Big|_{v=h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \right. \\ &\left. \left. - \frac{a_1(0, \rho)\gamma(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \left( \varphi(0) + \int_0^{h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{a_1(v, 0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} dv \right) \right] \right\} d\rho, \quad x, t \geq 0. \quad (9) \end{aligned}$$

В правой части тождества (9) сначала для любых  $x$  применяем формулу второй производной

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 G(\rho(t))}{\partial t^2} &= - \left( \frac{\tilde{\gamma}(\rho(t))\rho'(t)}{\eta(\rho(t))} \right) \Big|_t \int_0^{\rho(t)} \eta(\tau)g(\tau)d\tau + \frac{\partial g(\rho(t))}{\partial t} \rho'(t) + \\ &+ g(\rho(t))\rho''(t) - \tilde{\gamma}(\rho(t))g(\rho(t))(\rho'(t))^2 \end{aligned} \quad (10)$$

функции

$$G(\rho(t)) = \frac{1}{\eta(\rho(t))} \int_0^{\rho(t)} \eta(\tau)g(\tau)d\tau, \quad \rho(t) = h^{(2)}[0, g_2(x, t)], \quad \eta(\rho(t)) = \exp \left\{ \int_0^{\rho(t)} \tilde{\gamma}(\tilde{\tau})d\tilde{\tau} \right\},$$

и потом для всех  $x, t \geq 0$  преобразования

$$\frac{\partial^j}{\partial t^j} \left\{ \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \Big|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} \right\} = \frac{\partial^{j+1} h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)]), 0\}}{\partial t^{j+1}}, \quad j = 0, 1, \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ z(v) \Big|_{v=h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)]), 0\}} \right] = \frac{\partial z(v)}{\partial v} \Big|_{v=h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)]), 0\}} \frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)]), 0\}}{\partial t}. \quad (12)$$

Из значений (41) при  $i = 1, t = 0$  и (42) при  $t = 0$  из [1] следует, что

$$\frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)]), 0\}}{\partial t} \Big|_{x=t=0} = \left( \frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)]), 0\}}{\partial h^{(2)}} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} \right) \Big|_{x=t=0} = a_2(0, 0). \quad (13)$$

Частная производная раз по  $t$  от левой и правой частей тождеств (39) для  $x, t \geq 0$  из [1] равна

$$\frac{\partial^2 h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial t^2} = (-1)^{i+1} \left[ (a_{3-i})_i(x, t) \frac{\partial h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial x} + a_{3-i}(x, t) \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial h_i\{g_i(x, t), 0\}}{\partial t} \right) \right], \quad i = 1, 2,$$

где мы поменяли порядок следования частных производных по  $x$  и  $t$ . Здесь первые производные от  $h_i$  по  $t$  заменяем правыми частями тождеств (39) для  $x, t \geq 0$  из [1], приходим к тождествам

$$\frac{\partial^2 h_i \{g_i(x, t), 0\}}{\partial t^2} = (-1)^{i+1} \left[ (a_{3-i})_t(x, t) \frac{\partial h_i \{g_i(x, t), 0\}}{\partial x} + \right. \\ \left. + (-1)^{i+1} a_{3-i}(x, t) \left( (a_{3-i})_x(x, t) \frac{\partial h_i \{g_i(x, t), 0\}}{\partial x} + a_{3-i}(x, t) \frac{\partial^2 h_i \{g_i(x, t), 0\}}{\partial x^2} \right) \right], \quad i = 1, 2,$$

в которых используем равенства (40) с  $t = 0$  из [1] и находим равенства

$$\left. \frac{\partial^2 h_i \{g_i(x, t), 0\}}{\partial t^2} \right|_{t=0} = (-1)^{i+1} \left[ (a_{3-i})_t(x, 0) + (-1)^{i+1} a_{3-i}(x, 0) (a_{3-i})_x(x, 0) \right], \quad x \geq 0, \quad i = 1, 2. \quad (14)$$

По второму тождеству из (6) при  $i = 2, x = 0$  из [1] и ввиду (14) при  $i = 1, t = 0$  имеем

$$\left. \frac{\partial^2 h_1 \{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)], 0\}}{\partial t^2} \right|_{x=t=0} = \left. \frac{\partial^2 h_1 \{g_1(0, t), 0\}}{\partial t^2} \right|_{t=0} = (a_2)_t(0, 0) + a_2(0, 0) (a_2)_x(0, 0), \quad (15)$$

так как дифференцирование по  $t$  перестановочно с взятием следа при  $x = 0$ . Дифференцируя

$$\frac{\partial h_1 \{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)], 0\}}{\partial t} = \left( \left. \frac{\partial h_1 \{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \right|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \right) \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t}, \quad x, t \geq 0,$$

по  $t$ , мы получаем тождество

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial t} \left( \left. \frac{\partial h_1 \{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \right|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \right) \right\} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} = \frac{\partial^2 h_1 \{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)], 0\}}{\partial t^2} - \\ - \left( \left. \frac{\partial h_1 \{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \right|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \right) \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t^2}, \quad x, t \geq 0. \quad (16)$$

В тождестве (9) полагаем  $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$ , т.е.  $x = t = 0$ , и с помощью значений производных (41) при  $i = 1, 2, x = 0$ , (42) из [1], (10)–(16) выводим равенства

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

$$\begin{aligned}
 & - \left( \frac{\partial h_1 \{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \Big|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \right) \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t^2} \Bigg\} \left( \frac{1}{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)] / \partial t} \right)^2 - \left( \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho) \varphi(0)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right)'_{\rho} - \\
 & \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \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} \Bigg]_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \left( \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} \right)^2 - \\
 & - \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)]} \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\}} \right. \\
 & \quad \times \left. \frac{\partial h_1 \{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho) \varphi(0)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right]_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t^2} + \\
 & + \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \Big|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} \left[ \frac{a_1(0, \rho) \mu(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \right. \\
 & \left. \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)]} \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} - \right. \\
 & \quad \left. \left. - \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho) \varphi(0)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right]_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \Bigg\} \Bigg|_{x=0, t=0} = \\
 & = a_1^2(0, 0) \varphi''(0) - [(a_1)_t(0, 0) - a_1(0, 0)(a_1)_x(0, 0)] \varphi'(0) - a_1^2(0, 0) \left( \frac{a_1(v, 0) \varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \right)'_{v=0} + \\
 & + [(a_1)_t(0, 0) - a_1(0, 0)(a_1)_x(0, 0)] \frac{a_1(0, 0) \varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0, 0) + a_2(0, 0)} - \left\{ \left( \frac{a_1(0, \rho) \mu(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right)'_{\rho} \Big|_{\rho=0} - \right. \\
 & \quad - a_2(0, 0) \left( \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)]} \right)'_{\rho} \Big|_{\rho=0} \frac{a_1(0, 0) \varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0, 0) + a_2(0, 0)} - \\
 & \quad - a_2^2(0, 0) \frac{a_1(0, 0) [a_2(0, 0) \alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0, 0) [a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)]} \left( \frac{a_1(v, 0) \varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \right)'_{v=0} - \\
 & \quad - [(a_2)_t(0, 0) + a_2(0, 0)(a_2)_x(0, 0)] \frac{a_1(0, 0) [a_2(0, 0) \alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0, 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)} - \\
 & \quad - \left( \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right)'_{\rho} \Big|_{\rho=0} \varphi(0) - a_2(0, 0) \frac{a_1(0, 0) \gamma(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)} \Big\} + \\
 & \quad + \frac{a_1(0, 0) \gamma(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{a_1(0, 0) \mu(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} - \right. \\
 & \quad \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) \varphi(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \right\}. \quad (17)
 \end{aligned}$$

Для того, чтобы последняя фигурная скобка в равенствах (17) обратилась в нуль по первому условию согласования (9) из [1], к ней надо прибавить число

$$\frac{a_1(0, 0) [a_2(0, 0) \alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0, 0) \varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0, 0) + a_2(0, 0)} - \frac{a_1(0, 0) [\beta(0) \varphi'(0) + \alpha(0) \psi(0)]}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)}. \quad (18)$$

После прибавления этого числа по условию (9) из [1] последняя фигурная скобка равна нулю

$$\left\{ \frac{a_1(0, 0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} [\mu(0) - \alpha(0) \psi(0) - \beta(0) \varphi'(0) - \gamma(0) \varphi(0)] \right\} = 0. \quad (19)$$

Затем для сохранения равенства (17) из его правой части мы вычитаем число (18), умноженное на коэффициент перед последней фигурной скобкой в (17)

$$\frac{a_1(0,0)\gamma(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \times \left\{ \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0,0)\varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \frac{a_1(0,0)[\beta(0)\varphi'(0) + \alpha(0)\psi(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \right\}. \quad (20)$$

Не применяя равенства (4) из теоремы 1, для слагаемых правой части равенства (17) с вычитаемым (20) вместо последнего слагаемого с нулевой фигурной скобкой (19) мы вычисляем коэффициенты значений граничного данного  $\mu$ , начальных данных  $\varphi, \psi$  и их производных в начале координат  $(0, 0)$  :

$$\begin{aligned} \mu(0): & \quad - \frac{(a_1)_t(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)] - a_1(0,0)[(a_1)_t(0,0)\alpha(0) + a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0)]}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} = \\ & \quad = \frac{a_1^2(0,0)\alpha'(0) + (a_1)_t(0,0)\beta(0) - a_1(0,0)\beta'(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2}; \\ \mu'(0): & \quad - \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)}; \\ \varphi(0): & \quad \frac{a_1(0,0)\gamma'(0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)] - (a_1)_t(0,0)\gamma(0)\beta(0) - a_1(0,0)\gamma(0)[a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0)]}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} = \\ & \quad = \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)}\gamma'(0) - \frac{a_1^2(0,0)\alpha'(0) + (a_1)_t(0,0)\beta(0) - a_1(0,0)\beta'(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2}\gamma(0); \\ \gamma(0)\varphi'(0): & \quad \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \\ & \quad - a_1^2(0,0) \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)] - [a_1(0,0) + a_2(0,0)]\beta(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2[a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = \\ & \quad = a_1^2(0,0) \frac{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)] - a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)] + [a_1(0,0) + a_2(0,0)]\beta(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2[a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = 0; \\ \varphi''(0): & \quad a_1^2(0,0) - \frac{a_1^3(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} = \\ & \quad = \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} a_1(0,0)a_2(0,0)\alpha(0); \\ \gamma(0)\psi(0): & \quad \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \right. \\ & \quad \left. - \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)] - a_1(0,0)(a_1(0,0) + a_2(0,0))\alpha(0)}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \right\} = \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)}; \\ \psi'(0): & \quad - \frac{a_1^2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \frac{a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} = \\ & \quad = \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} [(a_2(0,0) - a_1(0,0))\alpha(0) + \beta(0)]. \quad (21) \end{aligned}$$

Применяя равенства (4), для правой части равенства (17) выводим два коэффициента

$$\begin{aligned} \varphi'(0): & \quad A1 \equiv - (a_1)_t(0,0) + a_1(0,0)(a_1)_x(0,0) - \frac{a_1^2(0,0)(a_1)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \frac{a_1^3(0,0)[(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)]}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \\ & \quad + \frac{a_1(0,0)[(a_1)_t(0,0) - a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)]}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \left( \frac{a_1(0,\rho)[a_2(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right)' \Bigg|_{\rho=0} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0,0)(a_2)_x(0,0) - a_2(0,0)(a_1)_x(0,0)}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \\ & + \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{a_1(0,0)[(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)]}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} = \\ & = \frac{a_1(0,0)\beta'(0) - (a_1)_t(0,0)\beta(0) - a_1^2(0,0)\alpha'(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \beta(0) + \\ & + \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} [\beta'(0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)\alpha(0)] \equiv B1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi(0): \quad A2 \equiv & \frac{a_1^2(0,0)[(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)]}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \frac{(a_1)_t(0,0) - a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \\ & + \frac{a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \left( \frac{a_1(0,\rho)[a_2(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right) \Big|_{\rho=0} - \\ & - a_2(0,0) \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \\ & + \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} = \\ & = \frac{a_1(0,0)\beta'(0) - (a_1)_t(0,0)\beta(0) - a_1^2(0,0)\alpha'(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \alpha(0) + \\ & + \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left[ \alpha'(0) + \frac{(a_2)_t(0,0)}{a_2(0,0)} \alpha(0) \right] \equiv B2. \end{aligned} \quad (22)$$

На персональном компьютере мы проверили коэффициенты (22) при  $\varphi'(0)$  и  $\psi(0)$  в (17) с помощью системы символьных и численных вычислений "Wolfram Mathematica", версия 10.1. В ходе проверки использовали функцию D для вычисления производных от математических выражений по указанным переменным и функцию FullSimplify для приведения выражений к простейшему виду. В результате мы убедились в том, что разности значений левых и правых частей равенств (22), соответственно, равны нулю

$$\begin{aligned} A1 - B1 & = \\ & = \frac{a_1(0,0)\alpha(0)\{a_1(0,0)(a_2)_t(0,0) + a_2^2(0,0)(a_1)_x(0,0) - a_2(0,0)[(a_1)_t(0,0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)]\}}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} = 0, \\ A2 - B2 & = \\ & = \frac{a_1(0,0)\alpha(0)\{a_2(0,0)[(a_1)_t(0,0) - a_2(0,0)(a_1)_x(0,0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)] - a_1(0,0)(a_2)_t(0,0)\}}{a_2(0,0)[a_1(0,0) + a_2(0,0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} = 0 \end{aligned}$$

в силу коэффициента  $\alpha(0) = 0$  в граничном режиме (3) или равенств (4) из теоремы 1.

В результате подстановки значений коэффициентов (21), (22) в правую часть равенства (17) с вычитаемым (20) вместо последнего слагаемого с нулевой фигурной скобкой (19) мы имеем

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{\partial^2 u_-}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u_+}{\partial t^2} \right] \Big|_{x=0, t=0} = \frac{a_1^2(0,0)\alpha'(0) + (a_1)_t(0,0)\beta(0) - a_1(0,0)\beta'(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \times \\ & \times [\mu(0) - \alpha(0)\psi(0) - \beta(0)\varphi'(0) - \gamma(0)\varphi(0)] + \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \times \\ & \times \{ \alpha'(0)\psi(0) + \beta'(0)\varphi'(0) + \gamma'(0)\varphi(0) + \beta(0)\psi'(0) + \gamma(0)\psi(0) + [(a_2(0,0) - a_1(0,0))\psi'(0) + \\ & + a_1(0,0)a_2(0,0)\varphi''(0) + ((a_2)_t(0,0) / a_2(0,0))\psi(0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)\varphi'(0)]\alpha(0) - \mu'(0) \} = 0. \end{aligned}$$

Значит, ввиду условий согласования (9) и (10) при  $f(0,0) = 0$  из [1] вторые частные производные по  $t$  от решений (7) и (8) при  $f(x,t) = 0$  нехарактеристической смешанной задачи (1)–(3) на  $G_\infty$  непрерывны на критической характеристике  $g_2(x,t) = g_2(0,0)$ .

Дифференцируем еще раз по  $x$  выражение (44) при  $f = 0$  из [1] и приходим к тождеству

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u_-}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u_+}{\partial x^2} = & \frac{d^2 \varphi(h_2\{g_2(x,t), 0\})}{dh_2^2} \left( \frac{\partial h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial x} \right)^2 + \frac{d\varphi(h_2\{g_2(x,t), 0\})}{dh_2} \frac{\partial^2 h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial x^2} - \\ & - \left( \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \right) \Big|_{v=h_2\{g_2(x,t), 0\}} \left( \frac{\partial h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial x} \right)^2 - \\ & - \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \Big|_{v=h_2\{g_2(x,t), 0\}} \frac{\partial^2 h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial x^2} - \\ & - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left\{ \frac{1}{\eta(h^{(2)}[0, g_2(x,t)])} \int_0^{h^{(2)}[0, g_2(x,t)]} \eta(\rho) \left[ \frac{a_1(0, \rho)\mu(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0, \rho)[a_2(0, \rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right] \times \right. \\ & \times \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \Big|_{v=h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \\ & \left. - \frac{a_1(0, \rho)\gamma(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \left( \varphi(0) + \int_0^{h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} dv \right) \right\} d\rho, \quad x, t \geq 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Благодаря тождеству (21) при  $i = 2$  из [1] для  $x, t \geq 0$  справедливо тождество

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial x} &= \frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial g_2} (g_2)_x = \\ &= -\frac{1}{a_1(x,t)} \frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial g_2} (g_2)_t = -\frac{1}{a_1(x,t)} \frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial t}, \end{aligned} \quad (24)$$

из которого в силу равенства (13) получаем равенство

$$\frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial x} \Big|_{x=t=0} = -\frac{a_2(0,0)}{a_1(0,0)}. \quad (25)$$

Дифференцируя левую и правую части тождества (24) по  $t$  и по  $x$ , соответственно, имеем

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial t \partial x} &= \\ &= \frac{(a_1)_t(x,t)}{a_1^2(x,t)} \frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial t} - \frac{1}{a_1(x,t)} \frac{\partial^2 h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial t^2}, \quad x, t \geq 0, \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial x^2} &= \\ &= \frac{(a_1)_x(x,t)}{a_1^2(x,t)} \frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial t} - \frac{1}{a_1(x,t)} \frac{\partial^2 h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial x \partial t}, \quad x, t \geq 0. \end{aligned} \quad (27)$$

Выражая смешанную производную в правой части равенства (27) через правую часть равенства (26), с помощью равенств (13) и (15) находим вторую производную по  $x$  при  $x = t = 0$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial x^2} \Big|_{x=t=0} &= a_2(0,0) \left[ \frac{(a_1)_x(0,0)}{a_1^2(0,0)} - \frac{(a_1)_t(0,0)}{a_1^3(0,0)} \right] + \\ &+ \frac{1}{a_1^2(0,0)} [(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)]. \end{aligned} \quad (28)$$

Дифференцируя левую и правую части тождества (45) из [1] раз по  $t$  и раз по  $x$ , аналогично тождествам (26), (27), соответственно, получаем тождества

$$\frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t \partial x} = \frac{(a_1)_t(x, t)}{a_1^2(x, t)} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} - \frac{1}{a_1(x, t)} \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t^2}, \quad x, t \geq 0, \quad (29)$$

$$\frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x^2} = \frac{(a_1)_x(x, t)}{a_1^2(x, t)} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t} - \frac{1}{a_1(x, t)} \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t \partial x}, \quad x, t \geq 0. \quad (30)$$

Аналогично формуле (28) мы заменяем смешанную производную в правой части равенства (30) правой частью равенства (29) и с помощью равенства (42) из [1] выводим значение второй производной по  $x$  при  $x=0$

$$\left. \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x^2} \right|_{x=0} = \frac{(a_1)_x(0, t)}{a_1^2(0, t)} - \frac{(a_1)_t(0, t)}{a_1^3(0, t)}, \quad t \geq 0. \quad (31)$$

Из тождества

$$\frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)], 0\}}{\partial x} = \left( \left. \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \right|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \right) \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x}, \quad x, t \geq 0,$$

дифференцированием по  $x$  выводим тождество

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( \left. \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \right|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \right) \right\} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x} = \frac{\partial^2 h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x, t)], 0\}}{\partial x^2} - \left( \left. \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \right|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \right) \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x^2}, \quad x, t \geq 0. \quad (32)$$

В тождестве (23) мы полагаем  $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$ , т.е.  $x=t=0$ , и сначала для  $\forall t = \text{fix}$  с помощью формулы второй производной (10) при  $t=x$  и потом значений производных (40) при  $i=2, x=0$ , (41) при  $i=1, x=0$ , (46) при  $t=0$  из [1], (25), (28), (31) при  $t=0$ , (32) при  $x=t=0$  и находим

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

$$\begin{aligned}
 & - \left( \frac{\partial h_1 \{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \Big|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \right) \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x^2} \Bigg/ \left( \frac{1}{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)] / \partial x} \right)^2 - \left( \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho) \varphi(0)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right)'_{\rho} - \\
 & - \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \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} \Bigg|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \left( \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x} \right)^2 - \\
 & - \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)]} \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\}} \right. \times \\
 & \quad \times \left. \frac{\partial h_1 \{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho) \varphi(0)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right] \Bigg|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x^2} + \\
 & \quad + \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \Big|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x} \times \\
 & \quad \times \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)]} \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\}} \right. \times \\
 & \quad \times \left. \frac{\partial h_1 \{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho) \varphi(0)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right] \Bigg|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x, t)]} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x} \Bigg|_{x=0, t=0} = \\
 & = \varphi''(0) - \left( \frac{a_1(v, 0) \varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \right)'_{v=0} - \left\{ \left( \frac{a_1(0, \rho) \mu(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right)'_{\rho} \Big|_{\rho=0} - \right. \\
 & \quad - a_2(0, 0) \left( \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)]} \right)'_{\rho} \Big|_{\rho=0} \frac{a_1(0, 0) \varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0, 0) + a_2(0, 0)} - \\
 & \quad - a_2^2(0, 0) \frac{a_1(0, 0) [a_2(0, 0) \alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0, 0) [a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)]} \left( \frac{a_1(v, 0) \varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v, 0) + a_2(v, 0)} \right)'_{v=0} - \\
 & \quad - \frac{(a_2)_i(0, 0) + a_2(0, 0) (a_2)_x(0, 0)}{a_1^2(0, 0)} \frac{a_1(0, 0) [a_2(0, 0) \alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0, 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)} a_1^2(0, 0) - \\
 & \quad - \left( \frac{a_1(0, \rho) \gamma(\rho)}{a_1(0, \rho) \alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right)'_{\rho} \Big|_{\rho=0} \left\{ \varphi(0) - a_2(0, 0) \frac{a_1(0, 0) \gamma(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)} \right\} \frac{1}{a_1^2(0, 0)} - \\
 & \quad - \left\{ \frac{a_1(0, 0) \mu(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} - \frac{a_1(0, 0) [a_2(0, 0) \alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0, 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)} a_2(0, 0) - \right. \\
 & \quad - \left. \frac{a_1(0, 0) \gamma(0) \varphi(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \right\} \left\{ \frac{(a_1)_x(0, 0)}{a_1^2(0, 0)} - \frac{(a_1)_i(0, 0)}{a_1^3(0, 0)} \right\} + \frac{a_1(0, 0) \gamma(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{a_1(0, 0) \mu(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} - \right. \\
 & \quad - \left. \frac{a_1(0, 0) [a_2(0, 0) \alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0, 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)} a_2(0, 0) - \frac{a_1(0, 0) \gamma(0) \varphi(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \right\} \frac{1}{a_1^2(0, 0)}. \quad (33)
 \end{aligned}$$

Чтобы последняя фигурная скобка в равенствах (33) равнялась нулю по первому условию согласования (9) из [1], к ней мы тоже прибавляем предыдущее число (18). Потом для сохранения равенства (33) из его правой части вычитаем число (18), умноженное на сомножители этой фигурной скобки в (33):

$$\frac{\gamma(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{a_2(0, 0) \alpha(0) + \beta(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0, 0) \varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0, 0) + a_2(0, 0)} - \frac{\beta(0) \varphi'(0) + \alpha(0) \psi(0)}{a_1(0, 0) \alpha(0) - \beta(0)} \right\}. \quad (34)$$

Не используя равенства (4) теоремы 1, для слагаемых правой части равенства (33) с вычитаемым (34) вместо нулевой последней фигурной скобки с сомножителями мы вычисляем коэффициенты значений граничного данного  $\mu$ , начальных данных  $\varphi, \psi$  и их производных в точке  $(0, 0)$ :

$$\begin{aligned} \mu(0): & \frac{a_1^2(0,0)\alpha'(0) + (a_1)_t(0,0)\beta(0) - a_1(0,0)\beta'(0)}{a_1^2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} - \frac{a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)}{a_1^2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} = \\ & = \frac{a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0) + [(a_1)_t(0,0) - a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)]\alpha(0) + (a_1)_x(0,0)\beta(0)}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2}; \\ \mu'(0): & -\frac{1}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]}; \\ \varphi(0): & \frac{a_1(0,0)(a_1)_x(0,0) - (a_1)_t(0,0)}{a_1^2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \gamma(0) + \frac{[(a_1)_t(0,0)\gamma(0) + a_1(0,0)\gamma'(0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]}{a_1^2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} - \\ & - \frac{a_1(0,0)\gamma(0)[(a_1)_t(0,0)\alpha(0) + a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0)]}{a_1^2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} = \\ & = \frac{1}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \gamma'(0) - \frac{a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0)}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \gamma(0) - \\ & - \frac{[(a_1)_t(0,0) - a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)]\alpha(0) + (a_1)_x(0,0)\beta(0)}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \gamma(0); \\ \gamma(0)\varphi'(0): & \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{1}{a_1^2(0,0)} - \\ & - \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)] - [a_1(0,0) + a_2(0,0)]\beta(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2[a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = \\ & = \frac{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)] - a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)] + [a_1(0,0) + a_2(0,0)]\beta(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2[a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = 0; \\ \varphi''(0): & 1 - \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} a_2^2(0,0) \frac{1}{a_1^2(0,0)} = \\ & = \frac{1}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} a_1(0,0)a_2(0,0)\alpha(0); \\ \gamma(0)\psi(0): & \frac{1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{1}{a_1^2(0,0)} - \right. \\ & \left. \frac{[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)] - [a_1(0,0) + a_2(0,0)]\alpha(0)}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \right\} = \frac{1}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]}; \\ \psi'(0): & -\frac{1}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \frac{a_2^2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{1}{a_1^2(0,0)} = \\ & = \frac{1}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} [(a_2(0,0) - a_1(0,0))\alpha(0) + \beta(0)]. \end{aligned} \quad (35)$$

Используя равенства (4), для правой части равенства (33) находим два коэффициента

$$\begin{aligned} \varphi'(0): & A3 = \frac{a_1(0,0)[(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)]}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} - \frac{(a_1)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \\ & + \frac{a_2(0,0)}{a_1(0,0)[a_1(0,0) + a_2(0,0)]} \left( \frac{a_1(0,\rho)[a_2(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right) \Big|_{\rho=0} - \\ & - \frac{a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{a_1(0,0)[(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)]}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{(a_1)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \\
 & + \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \\
 & + \frac{a_1^2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left( \frac{(a_1)_x(0,0)}{a_1^2(0,0)} - \frac{(a_1)_t(0,0)}{a_1^3(0,0)} \right) = \\
 & = \frac{\beta'(0) - a_1(0,0)\alpha'(0) - [(a_1)_t(0,0) - a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)]\alpha(0) - (a_1)_x(0,0)\beta(0)}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \beta(0) + \\
 & + \frac{1}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} [\beta'(0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)\alpha(0)] = B3; \\
 \psi(0): A4 = & \frac{(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \frac{a_2(0,0)}{a_1^2(0,0)[a_1(0,0) + a_2(0,0)]} \left( \frac{a_1(0,\rho)[a_2(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right) \Big|_{\rho=0} - \\
 & - \frac{a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \\
 & + \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{a_1(0,0)a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \\
 & + \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left( \frac{(a_1)_x(0,0)}{a_1^2(0,0)} - \frac{(a_1)_t(0,0)}{a_1^3(0,0)} \right) = \\
 & = \frac{\beta'(0) - a_1(0,0)\alpha'(0) - [(a_1)_t(0,0) - a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)]\alpha(0) - (a_1)_x(0,0)\beta(0)}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \alpha(0) + \\
 & + \frac{1}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \left[ \alpha'(0) + \frac{(a_2)_t(0,0)}{a_2(0,0)} \alpha(0) \right] = B4. \tag{36}
 \end{aligned}$$

С целью проверки вычисления этих коэффициентов (36) при  $\varphi'(0)$  и  $\psi(0)$  в (33) мы воспользовались персональным компьютером, на котором пакет символьного исчисления “Wolfram Mathematica” подтвердил обращение в нуль, соответственно, разности значений левых и правых частей двух равенств (36):

$$\begin{aligned}
 A3 - B3 &= \frac{\alpha(0)\{a_1(0,0)(a_2)_t(0,0) + a_2^2(0,0)(a_1)_x(0,0) - a_2(0,0)[(a_1)_t(0,0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)]\}}{a_1(0,0)[a_1(0,0) + a_2(0,0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} = 0, \\
 A4 - B4 &= \frac{\alpha(0)\{a_2(0,0)[(a_1)_t(0,0) - a_2(0,0)(a_1)_x(0,0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)] - a_1(0,0)(a_2)_t(0,0)\}}{a_1(0,0)a_2(0,0)[a_1(0,0) + a_2(0,0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} = 0
 \end{aligned}$$

в силу коэффициента  $\alpha(0) = 0$  в граничном режиме (3) или равенств (4) из теоремы 1.

Значения коэффициентов (35), (36) дают то, что правая часть равенства (33) с вычитаемым (34) вместо нулевой последней фигурной скобки с сомножителями ввиду (9) и (10) из [1] равна нулю

$$\begin{aligned}
 \left[ \frac{\partial^2 u_-}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u_+}{\partial x^2} \right]_{x=0, t=0} &= \frac{a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0) + [(a_1)_t(0,0) - a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)]\alpha(0) + (a_1)_x(0,0)\beta(0)}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \times \\
 &\times [\mu(0) - \alpha(0)\psi(0) - \beta(0)\varphi'(0) - \gamma(0)\varphi(0)] + \frac{1}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \{ \alpha'(0)\psi(0) + \beta'(0)\varphi'(0) + \\
 & + \gamma'(0)\varphi(0) + \beta(0)\psi'(0) + \gamma(0)\psi(0) + [(a_2(0,0) - a_1(0,0))\psi'(0) + a_1(0,0)a_2(0,0)\varphi''(0) + \\
 & + ((a_2)_t(0,0) / a_2(0,0))\psi(0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)\varphi'(0) \} \alpha(0) - \mu'(0) \} = 0.
 \end{aligned}$$

Итак, согласно условиям согласования (9) и (10) при  $f(0,0) = 0$  из [1] вторые частные производные по  $x$  от решений (7) и (8) при  $f(x,t) = 0$  нехарактеристической смешанной задачи (1)–(3) на  $G_\infty$  непрерывны на критической характеристике  $g_2(x,t) = g_2(0,0)$ .

Дифференцируем выражение (38) при  $f = 0$  из [1] один раз по  $x$  и приходим к тождеству

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u_-}{\partial x \partial t} - \frac{\partial^2 u_+}{\partial x \partial t} = & \frac{d^2 \varphi(h_2\{g_2(x,t), 0\})}{dh_2^2} \frac{\partial h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial x} \frac{\partial h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial t} + \frac{d\varphi(h_2\{g_2(x,t), 0\})}{dh_2} \times \\ & \times \frac{\partial^2 h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial x \partial t} - \left( \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \right) \Big|_{v=h_2\{g_2(x,t), 0\}} \frac{\partial h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial x} \frac{\partial h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial t} - \\ & - \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \Big|_{v=h_2\{g_2(x,t), 0\}} \frac{\partial^2 h_2\{g_2(x,t), 0\}}{\partial x \partial t} - \\ & - \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} \left\{ \frac{1}{\eta(h^{(2)}[0, g_2(x,t)])} \int_0^{h^{(2)}[0, g_2(x,t)]} \eta(\rho) \left[ \frac{a_1(0, \rho)\mu(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} - \frac{a_1(0, \rho)[a_2(0, \rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0, \rho)[a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right] \times \right. \\ & \times \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \Big|_{v=h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} - \\ & \left. - \frac{a_1(0, \rho)\gamma(\rho)}{a_1(0, \rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \left( \varphi(0) + \int_0^{h_1\{g_1(0, \rho), 0\}} \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} dv \right) \right\} d\rho, \quad x, t \geq 0. \end{aligned} \quad (37)$$

Сначала в правой части тождества (37) мы используем формулу смешанной производной

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 G(\rho(x,t))}{\partial x \partial t} = & - \left( \frac{\tilde{\gamma}(\rho(x,t))\rho_t(x,t)}{\eta(\rho(x,t))} \right)'_x \int_0^{\rho(x,t)} \eta(\tau)g(\tau)d\tau + \frac{\partial g(\rho(x,t))}{\partial x} \rho_t(x,t) + \\ & + g(\rho(x,t))\rho_{xt}(x,t) - \tilde{\gamma}(\rho(x,t))\rho_t(x,t)g(\rho(x,t))\rho_x(x,t) \end{aligned} \quad (38)$$

функции

$$G(\rho(x,t)) = \frac{1}{\eta(\rho(x,t))} \int_0^{\rho(x,t)} \eta(\tau)g(\tau)d\tau, \quad \rho(x,t) = h^{(2)}[0, g_2(x,t)], \quad \eta(\rho(x,t)) = \exp \left\{ \int_0^{\rho(x,t)} \tilde{\gamma}(\tilde{\tau})d\tilde{\tau} \right\}.$$

Дифференцируем левую и правую части тождества (39) из [1] по  $x$  и приходим к тождествам

$$\frac{\partial^2 h_i\{g_i(x,t), 0\}}{\partial x \partial t} = (-1)^{i+1} \left[ (a_{3-i})_x(x,t) \frac{\partial h_i\{g_i(x,t), 0\}}{\partial x} + a_{3-i}(x,t) \frac{\partial^2 h_i\{g_i(x,t), 0\}}{\partial x^2} \right], \quad i = 1, 2,$$

где при  $t = 0$ , заменяя первые производные от  $h_i$  по  $x$  правой частью тождеств (40) из [1], имеем

$$\frac{\partial^2 h_i\{g_i(x,t), 0\}}{\partial x \partial t} \Big|_{t=0} = (-1)^{i+1} (a_{3-i})_x(x,0), \quad x \geq 0, \quad i = 1, 2. \quad (39)$$

Из тождества (26) с помощью равенств (13) и (15) выводим равенство

$$\frac{\partial^2 h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial t \partial x} \Big|_{x=t=0} = \frac{(a_1)_t(0,0)a_2(0,0)}{a_1^2(0,0)} - \frac{(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)}{a_1(0,0)}. \quad (40)$$

Дифференцированием по  $x$  тождества

$$\frac{\partial h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial t} = \left( \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \Big|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x,t)]} \right) \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x,t)]}{\partial t}, \quad x, t \geq 0,$$

мы находим тождество

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \Big|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x,t)]} \right) \right\} \frac{\partial h^{(2)}[0, g_2(x,t)]}{\partial t} = & \frac{\partial^2 h_1\{g_1(0, h^{(2)}[0, g_2(x,t)], 0\}}{\partial x \partial t} - \\ & - \left( \frac{\partial h_1\{g_1(0, \rho), 0\}}{\partial \rho} \Big|_{\rho=h^{(2)}[0, g_2(x,t)]} \right) \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x,t)]}{\partial x \partial t}, \quad x, t \geq 0. \end{aligned} \quad (41)$$

Первая производная по  $t$  тождества (46) при  $x=0$  из [1] дает тождество

$$\left. \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial x \partial t} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial^2 h^{(2)}[0, g_2(x, t)]}{\partial t \partial x} \right|_{x=0} = \frac{(a_1)_i(0, t)}{a_1^2(0, t)}, \quad t \geq 0, \quad (42)$$

так как функции  $g_2$  и  $h^{(2)}$  дважды непрерывно дифференцируемы по своим переменным.

В тождестве (37) полагаем  $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$ , т.е.  $x = t = 0$ , и ввиду значений производных (40) при  $i = 1, 2, x = 0$ , (41) при  $i = 1, 2, x = 0$ , (42) при  $t = 0$ , (46) при  $t = 0$  из [1], (39)–(42) имеем

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

$$\begin{aligned}
 &= -a_1(0,0)\varphi''(0) - (a_1)_x(0,0)\varphi'(0) + a_1(0,0) \left( \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \right)' \Big|_{v=0} + \\
 &\quad + (a_1)_x(0,0) \frac{a_1(0,0)\varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \left\{ \left( \frac{a_1(0,\rho)\mu(\rho)}{a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right)' \Big|_{\rho=0} - \right. \\
 &\quad - a_2(0,0) \left( \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)]} \right)' \Big|_{\rho=0} \frac{a_1(0,0)\varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \\
 &\quad - a_2(0,0) \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left( \frac{a_1(v,0)\varphi'(v) + \psi(v)}{a_1(v,0) + a_2(v,0)} \right)' \Big|_{v=0} - \\
 &\quad - \left\{ \left[ \frac{(a_1)_t(0,0)a_2(0,0)}{a_1^2(0,0)} - \frac{(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)}{a_1(0,0)} - \frac{(a_1)_t(0,0)a_2(0,0)}{a_1^2(0,0)} \right] \times \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0,0)[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)} \right\} (-a_1(0,0)) - \\
 &\quad - \left( \frac{a_1(0,\rho)\gamma(\rho)\varphi(0)}{a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)} \right)' \Big|_{\rho=0} - a_2(0,0) \frac{a_1(0,0)\gamma(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)} \left\} \frac{-1}{a_1(0,0)} - \right. \\
 &\quad - \left\{ \frac{a_1(0,0)\mu(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} - \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)} - \right. \\
 &\quad - \left. \frac{a_1(0,0)\gamma(0)\varphi(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \right\} \frac{(a_1)_t(0,0)}{a_1^2(0,0)} - \frac{\gamma(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{a_1(0,0)\mu(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} - \right. \\
 &\quad \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)\varphi(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \right\}. \quad (43)
 \end{aligned}$$

Чтобы последняя фигурная скобка в равенствах (43) равнялась нулю по условию согласования (9) из [1], в ней мы прибавляем предыдущее число (17). Для сохранения равенства (43) из его правой части вычитается число (18), умноженное на отрицательный сомножитель этой последней фигурной скобки в (43). В итоге, в равенствах (43) вместо последней фигурной скобки с отрицательным множителем мы прибавляем число

$$\frac{a_1(0,0)\gamma(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0,0)\varphi'(0) + \psi(0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \frac{\beta(0)\varphi'(0) + \alpha(0)\psi(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \right\}. \quad (44)$$

Не применяя равенства (4) теоремы 1, в правой части равенства (43) со слагаемым (44) вместо нулевой последней фигурной скобки с отрицательным сомножителем находим коэффициенты значений граничного данного  $\mu$ , начальных данных  $\varphi, \psi$  и их следующих производных в  $(0,0)$ :

$$\begin{aligned}
 \mu(0): & \left\{ \frac{-(a_1)_t(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} + \frac{a_1(0,0)[(a_1)_t(0,0)\alpha(0) + a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0)]}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \right\} \frac{-1}{a_1(0,0)} - \\
 & - \frac{a_1(0,0)(a_1)_t(0,0)}{a_1^2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} = \frac{\beta'(0) - a_1(0,0)\alpha'(0) - (a_1)_t(0,0)\alpha(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2}; \\
 \mu'(0): & - \frac{-a_1(0,0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]a_1(0,0)} = \frac{1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)}; \\
 \varphi(0): & \left\{ \frac{(a_1)_t(0,0)\gamma(0) + a_1(0,0)\gamma'(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} - \frac{a_1(0,0)\gamma(0)[(a_1)_t(0,0)\alpha(0) + a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0)]}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \right\} \frac{-1}{a_1(0,0)} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{a_1(0,0)(a_1)_t(0,0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2 a_1^2(0,0)} = \frac{a_1(0,0)\gamma(0)[(a_1)_t(0,0)\alpha(0) + a_1(0,0)\alpha'(0) - \beta'(0)]}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} - \\
 & - \frac{[(a_1)_t(0,0)\gamma(0) + a_1(0,0)\gamma'(0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]}{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} + \frac{(a_1)_t(0,0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2 a_1(0,0)} = \\
 & = \frac{-1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \gamma'(0) + \frac{a_1(0,0)\alpha'(0) + (a_1)_t(0,0)\alpha(0) - \beta'(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \gamma(0); \\
 \gamma(0)\varphi'(0): & \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{-1}{a_1(0,0)} + \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \times \\
 & \times \frac{a_1^2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \frac{a_1(0,0)\beta(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} = \frac{a_1^2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2 [a_1(0,0) + a_2(0,0)]} - \\
 & - \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)] + a_1(0,0)[a_1(0,0) + a_2(0,0)]\beta(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2 [a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = 0; \\
 \varphi''(0): & - \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{-1}{a_1(0,0)} = \\
 & = \frac{-a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)][a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = \frac{-1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} a_1(0,0)a_2(0,0)\alpha(0); \\
 \gamma(0)\psi(0): & \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{1}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{-1}{a_1(0,0)} + \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \times \right. \\
 & \times \left. \frac{1}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \frac{\alpha(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \right\} = \frac{-a_2(0,0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)][a_1(0,0) + a_2(0,0)]} + \\
 & + \frac{-a_1(0,0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)][a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = \frac{-1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)}; \\
 \psi'(0): & \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{-1}{a_1(0,0)} = \\
 & = \frac{a_1(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)] - a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)][a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = \\
 & = \frac{[a_1^2(0,0) - a_2^2(0,0)]\alpha(0) - [a_1(0,0) + a_2(0,0)]\beta(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)][a_1(0,0) + a_2(0,0)]} = \\
 & = \frac{-1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} [(a_2(0,0) - a_1(0,0))\alpha(0) + \beta(0)]. \tag{45}
 \end{aligned}$$

Используя равенства (4), для правой части равенства (43) находим два коэффициента

$$\begin{aligned}
 \varphi'(0): & A5 = -(a_1)_x(0,0) + \frac{2a_1(0,0)(a_1)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \frac{a_1^2(0,0)[(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)]}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \\
 & + \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \left( \frac{a_1(0,\rho)[a_2(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right) \Bigg|_{\rho=0} \frac{-1}{a_1(0,0)} + \\
 & + \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left\{ \frac{(a_1)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} - \frac{a_1(0,0)[(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)]}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} \right\} \frac{-1}{a_1(0,0)} - \\
 & - \frac{(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)}{a_1(0,0)} \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{-a_1^2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{-1}{a_1(0,0)} + \\
 & + \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{a_1(0,0)(a_1)_t(0,0)}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]a_1^2(0,0)} =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{a_1(0,0)\alpha'(0) + (a_1)_t(0,0)\alpha(0) - \beta'(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \beta(0) - \\
 &\quad - \frac{1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} [\beta'(0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)\alpha(0)] = B5; \\
 \psi(0): \quad A6 = & - \frac{a_1(0,0)[(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)]}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} + \frac{(a_1)_x(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} + \\
 & + \frac{a_2(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \left( \frac{a_1(0,\rho)[a_2(0,\rho)\alpha(\rho) + \beta(\rho)]}{a_2(0,\rho)[a_1(0,\rho)\alpha(\rho) - \beta(\rho)]} \right)' \Bigg|_{\rho=0} - \frac{-1}{a_1(0,0)} - \\
 & - \frac{a_1(0,0)a_2(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{(a_1)_x(0,0) + (a_2)_x(0,0)}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)]^2} \frac{-1}{a_1(0,0)} - \\
 & - \frac{a_1(0,0)[a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)]}{a_2(0,0)[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} \frac{(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)(a_2)_x(0,0)}{a_1(0,0)[a_1(0,0) + a_2(0,0)]} (-a_1(0,0)) \frac{-1}{a_1(0,0)} + \\
 & + \frac{a_1(0,0)}{a_1(0,0) + a_2(0,0)} \frac{a_2(0,0)\alpha(0) + \beta(0)}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \frac{(a_1)_t(0,0)}{a_1^2(0,0)} = \\
 & = \frac{a_1(0,0)\alpha'(0) + (a_1)_t(0,0)\alpha(0) - \beta'(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \alpha(0) - \\
 & - \frac{1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \left[ \alpha'(0) + \frac{(a_2)_t(0,0)}{a_2(0,0)} \alpha(0) \right] = B6. \tag{46}
 \end{aligned}$$

С целью проверки вычисления этих коэффициентов (46) при  $\varphi'(0)$  и  $\psi(0)$  в (43) мы воспользовались персональным компьютером, на котором пакет символьного исчисления “Wolfram Mathematica” подтвердил обращение в нуль, соответственно, разности значений левых и правых частей двух равенств (46):

$$\begin{aligned}
 &A5 - B5 = \\
 &= \frac{\alpha(0)\{-a_1(0,0)(a_2)_t(0,0) + a_2(0,0)[(a_1)_t(0,0) - a_2(0,0)(a_1)_x(0,0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)]\}}{[a_1(0,0) + a_2(0,0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} = 0, \\
 &A6 - B6 = \\
 &= \frac{\alpha(0)\{a_1(0,0)(a_2)_t(0,0) + a_2^2(0,0)(a_1)_x(0,0) - a_2(0,0)[(a_1)_t(0,0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)]\}}{a_2(0,0)[a_1(0,0) + a_2(0,0)][a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]} = 0
 \end{aligned}$$

в силу значения коэффициента  $\alpha(0) = 0$  в граничном режиме (3) или равенств (4) из теоремы 1.

Из значений коэффициентов (45), (46) видим, что правая часть равенства (43) со слагаемым (44) вместо нулевой последней фигурной скобки с сомножителем ввиду (9) и (10) из [1] равна нулю:

$$\begin{aligned}
 &\left[ \frac{\partial^2 u_-}{\partial x \partial t} - \frac{\partial^2 u_+}{\partial x \partial t} \right]_{x=0, t=0} = \frac{\beta'(0) - a_1(0,0)\alpha'(0) - (a_1)_t(0,0)\alpha(0)}{[a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)]^2} \times \\
 &\times [\mu(0) - \alpha(0)\psi(0) - \beta(0)\varphi'(0) - \gamma(0)\varphi(0)] + \frac{1}{a_1(0,0)\alpha(0) - \beta(0)} \{ \mu'(0) - \alpha'(0)\psi(0) - \beta'(0)\varphi'(0) - \\
 &\quad - \gamma'(0)\varphi(0) - \beta(0)\psi'(0) - \gamma(0)\psi(0) - [(a_2(0,0) - a_1(0,0))\psi'(0) + a_1(0,0)a_2(0,0)\varphi''(0) + \\
 &\quad + ((a_2)_t(0,0) / a_2(0,0))\psi(0) + a_1(0,0)(a_2)_x(0,0)\varphi'(0)]\alpha(0) \} = 0.
 \end{aligned}$$

Таким образом, согласно условиям согласования (9) и (10) при  $f(0,0) = 0$  из [1] вторые смешанные производные по  $t$  и  $x$  от решений (7) и (8) при  $f(x,t) = 0$  нехарактеристической смешанной задачи (1)–(3) на  $G_\infty$  непрерывны на критической характеристике  $g_2(x,t) = g_2(0,0)$ .

Нами завершена проверка достаточности гладкости (8) из [1], (5), (6) и условий согласования (9), (10) из [1] для дважды непрерывной дифференцируемости решения (7), (8) смешанной задачи (1)–(3) в первой четверти плоскости  $G_\infty$ . Справедливость равенств (1)–(3) для функций (7) на  $G_-$  и (8) на  $G_+$  следует из решения {(24), (25)} системы уравнений (19), решений (29), (36) в [1] соответствующих уравнений гладкости и может быть проверена в пакете “Wolfram Mathematica”.

Доказательство теоремы 1 завершено.

**Следствие 1.** Если правая часть  $f$  уравнения (1) зависит только от  $x$  или  $t$  и соответственно непрерывна по  $x$  или  $t$ , то теорема 1 справедлива без гладкости (5) и (6) на  $f$ .

**Доказательство.** Если правая часть  $f$  уравнения (1) зависит только от  $x$  или  $t$  и непрерывна по  $x$  или  $t$ , то интегральные требования гладкости (5) и (6) на  $f$  всегда выполняются.

Пусть правая часть  $f = f(x)$  уравнения (1) зависит только от  $x$  и непрерывна по  $x$ . Тогда согласно доказательству аналогичного следствия 1 из [2] первые частные производные от функции  $F_2(x, t)$  в (11) из [1] в теореме 1 настоящей статьи очевидно еще раз непрерывно дифференцируемы по  $x$  и  $t$  на  $G_+$ . Пусть правая часть  $f = f(t)$  уравнения (1) зависит только от  $t$  и непрерывна по  $t$ . Тогда после замены порядка интегрирования в функции  $F_2(x, t)$  в (11) из [1] теоремы 1 настоящей статьи согласно доказательству следствия 1 из [2] их первые частные производные по  $x$  и  $t$  будут еще раз непрерывно дифференцируемыми на  $G_+$ .

Аналогично доказывается дважды непрерывная дифференцируемость на  $G_-$  функции  $F_1(x, t)$  в (11) из [1] теоремы 1 настоящей статьи для правой части  $f$  уравнения (1), которая зависит только от  $x$  или  $t$  и соответственно непрерывна по  $x$  или  $t$ . Поэтому в следствии 1 дважды непрерывная дифференцируемость функций  $F_i(x, t), i=1, 2$ , в (11) из [1] теоремы 1 настоящей статьи на характеристике  $g_2(x, t) = g_2(0, 0)$  и, тем самым, на  $G_\infty$  вытекает при  $\tilde{\mathcal{J}} = \tilde{\varepsilon} + 2$  из следствия 3 работы [2]. Следствие 1 доказано.

**Следствие 2.** Пусть правая часть  $f$  уравнения (1) зависит от  $x$  и  $t$ . Тогда в интегральной гладкости (5) и (6) для непрерывной функции  $f \in C(G_\infty)$  принадлежность интегралов множеству  $C^1(G_\infty)$  равносильна их принадлежности множеству  $C^{(1,0)}(G_\infty)$  или  $C^{(0,1)}(G_\infty)$ . Здесь множества  $C^{(1,0)}(G_\infty)$  и  $C^{(0,1)}(G_\infty)$  — это множества один раз непрерывно дифференцируемых функций по  $x$  или непрерывных функций по  $t$  и непрерывных функций по  $x$  или один раз непрерывно дифференцируемых функций по  $t$  на  $G_\infty$ .

**Доказательство.** Наше следствие 2 является аналогом следствия 4 работы [2], в которой изложено его доказательство. Сначала для более гладких правых частей  $f \in C^1(G_\infty)$  первые частные производные по  $t$  от каждого из интегралов в (5) и (6) преобразуют в первые частные производные по  $x$  на  $G_+, G_-$  и  $G_\infty$ . Полученные выражения первых производных по  $t$  через первые производные по  $x$  от интегралов из (5) и (6) на  $G_\infty$  распространяются предельным переходом с непрерывно дифференцируемых  $f \in C^1(G_\infty)$  на  $f \in C(G_\infty)$  с условиями (5) и (6) на  $G_\infty$ .

**Замечание 1.** В случае односкоростного модельного телеграфного уравнения (1) с  $a_1(x, t) = a_2(x, t)$  на  $G_\infty$  теорема 1 верна и при  $\alpha(0) \neq 0$  в граничном режиме (3) с производной  $u_t$ , т.е. когда приложена динамическая сила в точке  $x=0$  при  $t=0$ . В случае двухскоростного модельного телеграфного уравнения (1) с  $a_1(x, t) \neq a_2(x, t)$  на  $G_\infty$  и без равенств (4) теорема 1 выполняется только при значении коэффициента  $\alpha(0) = 0$  в (3). Другими словами говоря, в последнем случае нехарактеристическая смешанная задача (1)–(3) без (4) корректна лишь с граничным режимом (3) третьего рода в момент начала волнового процесса при  $t=0$ .

**Заключение.** В данной статье завершена разработка метода неявных характеристик вывода критериев корректности по Адамару и вычисления явных формул классических решений нехарактеристической смешанной задачи для двухскоростного модельного телеграфного уравнения. Этот метод впервые дополнен символьным исчислением “Wolfram Mathematica” для проверки сложных математических преобразований. Разработанным методом неявных характеристик доказана глобальная теорема 1 корректности смешанной задачи (1)–(3) для двухскоростного модельного телеграфного уравнения с переменными коэффициентами при начальных условиях и нехарактеристической косоугольной производной граничного режима в первой четверти плоскости. Доказательство глобальной теоремы корректности 1, вывод формул классических решений и поиск ее критерия корректности методом неявных характеристик основан на двенадцати тождествах обращения двух неявных функций характеристик телеграфного уравнения и их четырех обратных функций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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 полуграниченной струны. I / Ф.Е. Ломовцев // *Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта*. — 2025. — № 4(129). — С. 13–25.
2. 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.
3. 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.
4. Lomovtsev, F.E. 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.
5. Ломовцев, Ф.Е. Метод вспомогательных смешанных задач для полуграниченной 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*. — Мн.: ИМ НАН Беларуси, 2015. — Ч. 2. — С. 74–75.
6. 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. — Vol. 11, № 3. — Р. 13–26.
7. 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.
8. 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](https://doi.org/10.54341/20778708_2022_1_50_62).
9. 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.
10. 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.
11. 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 № Ф22КИ-001 от 05.11.2021 г.* — 2023. — 108 с.

## REFERENCES

1. Lomovtsev F.E. *Vestnik Vitsebskaga dziazhaunaga universiteta* [Bulletin of Vitebsk State University], 2025, 4(129), pp. 13–25.
2. Lomovtsev F.E. *Vestnik Fonda fundamentalnykh issledovani* [Bulletin of the Foundation for Fundamental Research], 2023, 4, pp. 53–83.
3. Lomovtsev F.E. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika. Informatika* [Journal of the Belarusian State University. Mathematics. Computer Science], 2021, 1, pp. 18–38.
4. Lomovtsev F.E. *Trudy 10-go mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru AMADE* [Proceedings of the 10th international scientific seminar AMADE — 2021], BSU: IVTs Minfina, 2022, pp. 43–53.
5. Lomovtsev F.E. *Shestiye Bogdanovskiyе chteniya po obyknovennym differentsialnym uravneniyam: materialy mezhdunar. matem. konf., Minsk, 7–10 dek. 2015 g.: v 2 ch.* [Sixth Bogdanov Readings on Ordinary Differential Equations: Proceedings of the International Mathem. Conf., Minsk, December 7–10, 2015: in 2 Parts], Mn.: IM NAN Belarusi, 2015, 2, pp. 74–75.
6. Lomovtsev F.E. *Vestnik Grodzenskaga dziazhaunaga universiteta imia Ianki Kupaly. Seriya 2. Matematyka. Fizika. Infarmatyka, vylichalnaya tekhnika i kiravanne* [Bulletin of Grodno State Yanaka Kupala University. 2, Mathematics. Physics. Information Technology and Computer Science], 2021, 11(3), pp. 13–26.
7. Lomovtsev F.E. *Vestnik Magileuskaga dziazhaunaga universiteta imia A.A. Kuliashova. Seriya B, Pryrodaznauchiya navuki (matematyka, fizika, biyalogiya)* [Bulletin of A.A. Kulyashov Mogilev State University. B, Natural Sciences (Mathematics, Physics, Biology)], 2023, 2(62), pp. 16–31.
8. 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](https://doi.org/10.54341/20778708_2022_1_50_62).
9. Lomovtsev F.E. *Vestnik Grodzenskaga dziazhaunaga universiteta imia Ianki Kupaly. Seriya 2. Matematyka. Fizika. Infarmatyka, vylichalnaya tekhnika i kiravanne* [Bulletin of Grodno State Yanaka Kupala University. 2, Mathematics. Physics. Information Technology and Computer Science], 2023, 13(1), pp. 39–63.
10. Lomovtsev F.E. *Vestnik Grodzenskaga dziazhaunaga universiteta imia Ianki Kupaly. Seriya 2. Matematyka. Fizika. Infarmatyka, vylichalnaya tekhnika i kiravanne* [Bulletin of Grodno State Yanaka Kupala University. 2, Mathematics. Physics. Information Technology and Computer Science], 2022, 12(3), pp. 50–70.
11. Lomovtsev F.E. *Zakliuchitelny otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote sovmestnogo nauchnogo proyekta BRFFI-NFENK No. F22KI-001 ot 05.11.2021 g.* [Final report on the research work of the joint scientific project BRFFI-NFENK No. F22KI-001 dated 05.11.2021 g.], 2023, 108 p.

Поступила в редакцию 11.06.2025

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

УДК 514.765+512.812.4

# ПОЛНАЯ ГРУППА ПОДОБИЙ САМОПОДОБНОГО ТРЁХМЕРНОГО ЛОРЕНЦЕВОГО МНОГООБРАЗИЯ ОДНОЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТРЁХМЕРНОЙ ГРУППЫ ЛИ

М.Н. Подоксёнов, Н.С. Герасимович

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

*В ряде работ были построены самоподобные лоренцевы многообразия различных трёхмерных и четырёхмерных групп Ли. Цель работы — построить такое многообразие одной специальной трёхмерной неунимодулярной группы Ли и исследовать её полную группу подобий.*

**Материал и методы.** Рассматривается специальная трёхмерная неунимодулярная алгебра Ли и соответствующая ей связанная односвязная группа Ли  $S_3$ . Используются методы дифференциальной геометрии.

**Результаты и их обсуждение.** На группе Ли  $S_3$  находится левоинвариантная лоренцева метрика, при которой эта группа Ли допускает сильно существенную однопараметрическую группу подобий, оставляющую неподвижным единичный элемент группы Ли. Тем самым с найденной метрикой рассматриваемая группа Ли превращается в однородное самоподобное лоренцево многообразие. Такое многообразие является единственным с точностью до изометрии. Найденны формулы, по которым действуют указанная существенная однопараметрическая группа подобий и полная группа подобий  $FH(S_3)$  полученного многообразия относительно естественных координат, а также найдено матричное представление группы  $FH(S_3)$  и показано, что она является полупрямым произведением двух двумерных коммутативных групп Ли.

**Заключение.** Авторы построили самоподобное однородное многообразие группы Ли  $S_3$  и исследовали его полную группу подобий. Ближайшая цель: построить такое многообразие для четырёхмерной группы Ли  $S_3 \times \mathbf{R}^+$  ( $\mathbf{R}^+$  — группа положительных действительных чисел по сложению).

**Ключевые слова:** группа Ли, алгебра Ли, лоренцева метрика, самоподобное многообразие, подобие, однопараметрическая группа подобий.

# FULL SIMILARITY GROUP OF A SELF-SIMILAR THREE-DIMENSIONAL LORENTZIAN MANIFOLD OF A SPECIAL THREE-DIMENSIONAL LIE GROUP

M.N. Podoksenov, N.S. Gerasimovich

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

*Self-similar Lorentzian manifolds of various three- and four-dimensional Lie groups have been constructed in a number of papers. The goal of the paper is to construct such a manifold of a special three-dimensional non-unimodular Lie group and to investigate its complete similarity group.*

**Materials and methods.** We consider a special three-dimensional non-unimodular Lie algebra and the corresponding connected simply connected Lie group  $S_3$ . Methods of differential geometry are used.

**Findings and their discussion.** A left-invariant Lorentzian metric is found on the Lie group  $S_3$  such that this Lie group admits a strongly essential one-parameter similarity group that leaves the identity element of the Lie group fixed. Thus, with the found metric, the Lie group under consideration turns into a homogeneous self-similar Lorentzian manifold. Such a manifold is unique up to isometry. Formulas are found for the actions of this essential one-parameter similarity group and the full similarity group  $FH(S_3)$  of the resulting manifold with respect to natural coordinates. A matrix representation of  $FH(S_3)$  is also found, and it is shown that it is a semidirect product of two two-dimensional commutative Lie groups.

**Conclusion.** We have constructed a self-similar homogeneous manifold of the Lie group  $S_3$ , and investigated its full similarity group. Our next goal is to construct such a manifold for the four-dimensional Lie group  $S_3 \times \mathbf{R}^+$  ( $\mathbf{R}^+$  is the group of positive real numbers by addition).

**Key words:** Lie group, Lie algebra, Lorentz metric, self-similar manifold, similarity, one-parameter similarity group.

Пусть  $M$  — дифференцируемое многообразие,  $g$  — невырожденный метрический тензор на нём. Преобразование этого многообразия называется *подобием* с коэффициентом  $k > 0, k \neq 1$ , если  $g_{f(Q)}(f_*X, f_*Y) = k^2 g_Q(X, Y) \forall Q \in M$  и  $\forall X, Y \in T_Q M$ . При  $k = 1$  это преобразование является изометрией.

Группа, состоящая из подобий многообразия  $(M, g)$ , называется *несущественной*, если она является группой изометрий для некоторой метрики  $\bar{g}$  на  $M$ , конформно эквивалентной  $g$ .

Если многообразию  $(M, g)$  допускает существенную однопараметрическую группу подобий  $\{f_t\}, t \in \mathbf{R}$ , то оно называется *самоподобным*. Цель данной работы: найти левоинвариантную лоренцеву метрику на одной специальной трёхмерной группе Ли, вместе с которой оно является самоподобным однородным многообразием, а также найти формулы, по которым действует полная группа подобий построенного многообразия. Также мы найдём матричное представление полной группы подобий и дадим этой группе алгебраическую характеристику.

**Материал и методы.** Рассматривается специальная трёхмерная неунимодулярная связная односвязная группа Ли, на которой мы строим левоинвариантную лоренцеву метрику. Используются методы теории групп и алгебр Ли.

#### Результаты и их обсуждение.

**1. Постановка задачи и обзор результатов.** Пусть  $G$  — произвольная группа Ли, а  $\mathcal{G}$  — соответствующая ей алгебра Ли  $\mathcal{G}$ , которую мы трактуем как касательное пространство к  $G$  в единичном элементе группы Ли. Невырожденное скалярное произведение (евклидово или лоренцево) в алгебре Ли  $\mathcal{G}$  однозначно определяет левоинвариантный метрический тензор  $g$  на группе Ли  $G$ . Для того, чтобы доказать, что получившееся многообразие является самоподобным, мы построим однопараметрическую группу подобий  $\{f_t\}, t \in \mathbf{R}$ , имеющую неподвижную точку — единичный элемент группы Ли. В таком случае эта группа подобий называется *сильно существенной*: умножение метрического тензора на любую функцию не может превратить эту группу в группу изометрий.

Группа Ли  $G$  называется экспоненциальной, если экспоненциальное отображение  $\exp: \mathcal{G} \rightarrow G$  является биективным. В таком случае для построения сильно существенной однопараметрической группы подобий группы Ли мы можем использовать однопараметрическую группу автоподобий  $\{F_t\}, t \in \mathbf{R}$  соответствующей алгебры Ли  $\mathcal{G}$  (см. [1]).

Для построения полной группы подобий найденного многообразия мы используем тот факт, что любое подобие  $f: G \rightarrow G$  группы Ли  $(G, g)$  является композицией одного из преобразований  $\{f_t\}$  и левого сдвига на произвольный элемент группы Ли.

Самоподобное однородное многообразие трёхмерной группы Ли Гейзенберга  $He_3$  было построено в работе [1]. В [2] и [3] были построены такие многообразия для двумерной группы Ли  $A^+(1)$  и трёхмерной группы Ли  $A^+(1) \times \mathbf{R}$  (здесь  $A^+(1)$  — группа аффинных преобразований прямой, сохраняющих ориентацию прямой).

Оказалось (см. [4]), что на четырёхмерной алгебре Ли  $\mathcal{A}(1) \oplus \mathcal{A}(1)$  (IV типа Бианки) невозможно задать скалярное произведение так, чтобы эта алгебра Ли допускала автоподобия. Однако она допускает однопараметрическую группу автоизометрий для подходящего лоренцевого скалярного произведения. Этот результат позволил доказать в [5], что невозможно построить левоинвариантную лоренцеву метрику на группе Ли  $A^+(1) \times A^+(1)$ . При этом можно построить единственную с точностью до изометрии левоинвариантную лоренцеву метрику на  $A^+(1) \times A^+(1)$  так, чтобы полная группа изометрий получилась пятимерной (в остальных случаях она является четырёхмерной).

Наиболее интересные результаты были получены в [6] и [7]. В [6] было показано, что для четырёхмерной группы Ли  $He_3 \times \mathbf{R}^+$  существуют три неизометричных однородных самоподобных лоренцевых многообразия (в отличие от трёхмерного случая — группы Ли  $He_3$ ). Позже Ю. Шпаковой была создана рабочая книга Excel [8] для вычисления тензора кривизны левоинвариантных метрик на четырёхмерных группах Ли. С её помощью мы показали, что среди трёх указанных выше многообразий только одно является плоским. В [7] было построено самоподобное лоренцево многообразие группы Ли  $SE(2) \times \mathbf{R}^+$ . Оказалось, что оно относится к одному интересному классу многообразий, рассмотренному в [9]. Построенное многообразие является неодносвязным и имеет существенную однопараметрическую группу подобий, обладающую изотропной орбитой.

**2. Специальная трёхмерная алгебра Ли и её группа Ли.** Алгебра Ли  $\mathcal{G}$  называется *унимодулярной*, если след оператора  $\text{ad}(X): \mathcal{G} \rightarrow \mathcal{G}$  равен нулю для любого вектора  $X \in \mathcal{G}$ . Согласно классификации, изложенной в обзоре Дж. Милнора [10], существует только шесть трёхмерных унимодулярных алгебр Ли и бесконечное число неунимодулярных. Оказывается, что среди шести унимодулярных алгебр Ли есть ровно две разрешимые. В классе трёхмерных алгебр Ли неунимодулярность влечёт разрешимость.

Для любой разрешимой трёхмерной алгебры Ли идеал  $\mathcal{L} = [\mathcal{G}, \mathcal{G}]$  является двумерным и коммутативным. В случае, когда  $\mathcal{G}$  — неунимодулярная алгебра Ли, этот идеал представляет собой её унимодулярное ядро (т.е. для любого  $X \in \mathcal{L}$  выполнено  $\text{trace ad}(X) = 0$ ). Операция скобки в трёхмерной неунимодулярной алгебре Ли полностью определяется матрицей линейного преобразования  $\text{ad}(E_1)|_{\mathcal{L}}: \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}$ , если базис  $(E_1, E_2, E_3)$  выбран таким образом, что  $(E_2, E_3) \in \mathcal{L}$ . Если эту матрицу за счёт выбора нового базиса привести к виду

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & D \end{pmatrix}, \tag{1}$$

то значение  $D$  определяет алгебру Ли однозначно с точностью до изоморфизма.

Однако привести матрицу преобразования  $\text{ad}(E_1)|_{\mathcal{L}}: \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}$  к виду (1) можно не для любой трёхмерной неунимодулярной алгебры Ли. Существует один специальный случай, когда это преобразование  $\text{ad}(E_1)|_{\mathcal{L}}: \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}$  пропорционально тождественному. Тогда матрицу указанного преобразования можно привести к виду единичной матрицы.

Мы такую алгебру Ли обозначим  $\mathcal{S}_3$  и будем её называть *специальной*. Она относится к V типу Бианки. Связную односвязную группу Ли, которая соответствует алгебре Ли  $\mathcal{S}_3$ , мы будем обозначать  $S_3$  и тоже будем называть *специальной*. При подходящем выборе базиса  $(E_1, E_2, E_3) \in \mathcal{S}_3$  коммутационные в алгебре Ли  $\mathcal{S}_3$  соотношения определяются равенствами

$$[E_1, E_2] = E_2, [E_1, E_3] = E_3, [E_2, E_3] = \vec{0}. \tag{2}$$

Любой базис, в котором коммутационные соотношения имеют такой вид, мы назовём *каноническим*.

В [11] найдены матричные представления алгебры Ли  $\mathcal{S}_3$  и соответствующей связной односвязной группы Ли  $S_3$ :

$$U = \begin{pmatrix} 0 & 0 & u_1 & u_2 \\ 0 & u_1 & 0 & u_3 \\ u_1 & 0 & 0 & u_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} \text{ch } x_1 & 0 & \text{sh } x_1 & x_2 \\ 0 & e^{x_1} & 0 & x_3 \\ \text{sh } x_1 & 0 & \text{ch } x_1 & x_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Введём в  $\mathcal{S}_3$  и  $S_3$  естественные координаты, приписав указанным матрицам координаты  $(u_1, u_2, u_3)$  и  $(x_1, x_2, x_3)$ ,  $u_i \in \mathbf{R}, x_i \in \mathbf{R}, i = 1, 2, 3$ . Канонический базис составляют векторы (они же матрицы) с координатами  $(1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)$ .

В этой же работе [11] выписаны общие формулы любого автоморфизма рассматриваемой алгебры Ли в каноническом базисе:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \alpha & a_{22} & a_{23} \\ \beta & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}, \alpha, \beta \in \mathbf{R}, a_{22}a_{33} - a_{23}a_{32} \neq 0.$$

Также были найдены координатные записи групповой операции и операции нахождения обратного элемента

$$\begin{aligned} (x_1, x_2, x_3) \cdot (y_1, y_2, y_3) &= (x_1 + y_1, y_2 e^{x_1} + x_2, y_3 e^{x_1} + x_3), \\ (x_1, x_2, x_3)^{-1} &= (-x_1, e^{-x_1} x_2, e^{-x_1} x_3) \end{aligned} \tag{3}$$

в естественных координатах. Группа Ли  $\mathcal{S}_3$  является экспоненциальной, а экспоненциальное отображение  $\exp: \mathcal{S}_3 \rightarrow S_3$  биективно. Оно задаётся в естественных координатах формулами:

$$\exp(u_1, u_2, u_3) = \left( u_1, \frac{u_2}{u_1}(e^{u_1} - 1), \frac{u_3}{u_1}(e^{u_1} - 1) \right).$$

Обратное к нему отображение  $\exp^{-1}: S_3 \rightarrow S_3$  действует по формулам:

$$\exp^{-1}(x_1, x_2, x_3) = \left( x_1, \frac{x_1 x_2}{(e^{x_1} - 1)}, \frac{x_1 x_3}{(e^{x_1} - 1)} \right).$$

**3. Однопараметрическая группа подобий.** Если два многообразия, построенные на одной группе Ли, изометричны, то соответствующие левоинвариантные метрики мы относим к одному классу. Следующая теорема была доказана в [12], и мы приведём только схему доказательства.

**Теорема 1.** *Группа Ли  $S_3$  допускает единственный класс левоинвариантных лоренцевых метрик, превращающих её в самоподобное многообразие. Если выбрать естественные координаты на группе Ли  $S_3$ , то для любой метрики из данного класса метрический тензор такой метрики представляется матрицей*

$$[g(X)] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -e^{-x_1} \\ 0 & e^{-2x_1} & 0 \\ -e^{-x_1} & 0 & 0 \end{pmatrix}. \tag{4}$$

При этом сильно существенная однопараметрическая группа подобий, оставляющая неподвижным единичный элемент группы Ли, действует по формулам

$$\begin{cases} x'_1 = x_1, \\ x'_2 = e^{\mu t} x_2, \\ x'_3 = e^{2\mu t} x_3, \end{cases} t \in \mathbf{R}, \mu > 0. \tag{5}$$

**Доказательство.** Будем использовать обозначения:  $[A]$  матрица преобразования  $A$ ,  $[g(X)]$  — матрица метрического тензора  $g(X)$ ,  $X \in S_3$ ,  $E$  — единичный элемент группы Ли  $S_3$  (единичная матрица).

Согласно результатам работы [13] необходимым и достаточным условием существования однопараметрической группы автоподобий трёхмерной разрешимой алгебры Ли является вырожденность скалярного произведения, индуцированного на её коммутативном идеале  $\mathcal{L}$ . При выполнении этого условия векторное пространство  $\mathcal{L}$  является касательным к конусу изотропных векторов, в интерпретации алгебры Ли, как точечного пространства Минковского.

Зададим в алгебре Ли  $S_3$  именно такое лоренцево скалярное произведение. Выберем вектор  $E_3$  принадлежащим единственному изотропному направлению в идеале  $\mathcal{L}$ . С помощью автоморфизма алгебры Ли можно добиться, чтобы вектор  $E_1$  в каноническом базисе был изотропным, и  $E_1 \cdot E_3 = -1$ . Тогда матрица Грама скалярного произведения имеет вид

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(этого можно добиться с помощью автоморфизма алгебры Ли). Расположение идеала  $\mathcal{L}$  и базисных векторов относительно конуса изотропных векторов показано на рис.

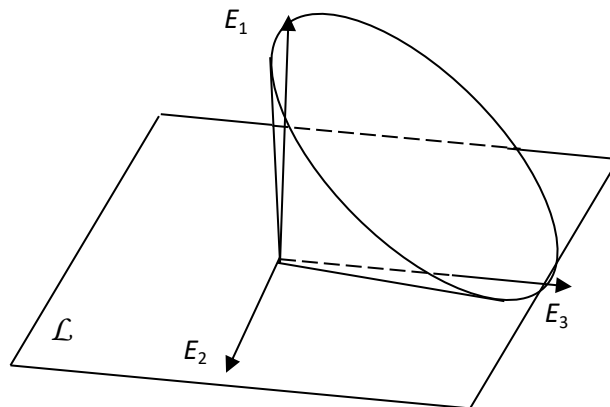


Рис. Расположение базисных векторов

Нетрудно показать, что в этом случае существует единственная (с точностью до автоморфизма) однопараметрическая группа автоподобий алгебры Ли  $S_3$ :

$$[F_t] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{\mu t} & 0 \\ 0 & 0 & e^{2\mu t} \end{pmatrix}, t \in \mathbf{R}, \mu > 0.$$

За счёт замены параметра мы можем получить любое значение  $\mu \neq 0$  (в том числе и  $\mu = 1$ ), поэтому две однопараметрические группы с разным значением  $\mu \neq 0$  изоморфны.

Находим матрицу дифференциала левого сдвига  $(L_X)_* : T_Y G_3 \rightarrow T_X G_3$  и обратную к ней матрицу:

$$[(L_X)_*] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{x_1} & 0 \\ 0 & 0 & e^{x_1} \end{pmatrix}, W = [(L_X)_*]^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-x_1} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-x_1} \end{pmatrix}.$$

Непосредственным вычислением по формуле

$$[g(X)] = W^T(X) \Gamma W(X)$$

находим матрицу метрического тензора  $g$  в точке  $X(x_1, x_2, x_3)$ . Получается матрица (3).

Непосредственным вычислением по формуле

$$f_t = \exp \circ F_t \circ \exp^{-1}, t \in \mathbf{R}$$

строим сильно существенную однопараметрическую группу подобий, под действием которой единичный элемент группы Ли остаётся неподвижным. Находим, что преобразования  $f_t$  действуют по формулам (5).

Доказательство того, что полученные преобразования представляют собой подобия при любом  $t \in \mathbf{R}$ , можно найти в [12]. Для этого нужно установить, что  $[(f_t)_* g(X)] = e^{-2\mu t} [g(X')]$ , где  $X' = f_t(X)$ . Эта группа является сильно существенной: её дифференциал  $((f_t)_*)_*$  в неподвижной точке не является изометрией при всех  $t \neq 0$ .

#### 4. Полная группа подобий и её матричное представление.

**Теорема 2.** Преобразования, образующие полную группу подобий многообразия  $(S_3, g)$ , действуют в естественных координатах согласно следующим формулам:

$$\begin{cases} x'_1 = x_1 + h_1, \\ x'_2 = e^{\mu t + h_1} x_2 + h_2, \\ x'_3 = e^{2\mu t + h_1} x_3 + h_3, \end{cases} \quad (6)$$

где  $t \in \mathbf{R}, \mu > 0, h_1, h_2, h_3 \in \mathbf{R}$ .

**Доказательство.** Произвольное подобие построенного нами многообразия  $(S_3, g)$  можно получить в результате композиции некоторого преобразования из группы  $\{f_t\}, t \in \mathbf{R}$  (см. теорему 1) и левого сдвига на некоторый элемент  $H(h_1, h_2, h_3)$  группы Ли  $S_3, h_1, h_2, h_3 \in \mathbf{R}$ .

Формулы, которыми задаётся левый сдвиг в естественных координатах, имеют вид:

$$L_H(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + h_1, x_2 e^{h_1} + h_2, x_3 e^{h_1} + h_3). \quad (7)$$

Мы составляем композицию преобразований, действующих по формулам (5) и (7). В результате получаем формулы (6). ■

Обозначим полную группу подобий построенного многообразия  $FH(S_3)$ . Найдём матричное представление этой группы. Произвольный элемент  $X(x_1, x_2, x_3) \in S_3$  мы будем представлять как столбец  $[X] = (x_1, 1, x_2, x_3, 1)^T$ . Рассмотрим произведение матриц:

$$[H][X] = \begin{pmatrix} 1 & h_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{\mu t + h_1} & 0 & h_2 \\ 0 & 0 & 0 & e^{2\mu t + h_1} & h_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ 1 \\ x_2 \\ x_3 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 + h_1 \\ 1 \\ e^{\mu t + h_1} x_2 + h_2 \\ e^{2\mu t + h_1} x_3 + h_3 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Получившийся столбец  $[X']$  соответствует элементу  $X'(x'_1, x'_2, x'_3)$ , который находится по формулам (6). Мы доказали, что группу  $FH(S_3)$  можно представить как состоящую из матриц указанного выше вида  $[H]$ . Тому преобразованию, которое задаётся матрицей  $[H]$ , мы поставим в соответствие координаты  $(t_1, h_1, h_2, h_3)$ .

Найдём координатную запись групповой операции в группе  $FH(S_3)$ . Рассмотрим два произвольных элемента группы  $FH(S_3)$ . Пусть  $(t_1, h_1, h_2, h_3)$  и  $(t_2, g_1, g_2, g_3)$  — это их координаты. Вычислим произведение соответствующих данным элементам матриц:

$$\begin{pmatrix} 1 & h_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{\mu t_1 + h_1} & 0 & h_2 \\ 0 & 0 & 0 & e^{2\mu t_1 + h_1} & h_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & g_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{\mu t_2 + g_1} & 0 & g_2 \\ 0 & 0 & 0 & e^{2\mu t_2 + g_1} & g_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & g_1 + h_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{\mu(t_1 + t_2) + h_1 + g_1} & 0 & e^{\mu t_1 + h_1} g_2 + h_2 \\ 0 & 0 & 0 & e^{2\mu(t_1 + t_2) + h_1 + g_1} & e^{2\mu t_1 + h_1} g_3 + h_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Итак, групповая операция записывается в координатах так:

$$(t_1, h_1, h_2, h_3) \cdot (t_2, g_1, g_2, g_3) = (t_1 + t_2, h_1 + g_1, e^{\mu t_1 + h_1} g_2 + h_2, e^{2\mu t_1 + h_1} g_3 + h_3).$$

**5. Алгебраическая характеристика полной группы подобий.** Рассмотрим две коммутативные группы  $G_1$  и  $G_2$ , координаты двух элементов в первой из которых будем обозначать  $(t_1, h_1)$ ,  $(t_2, g_2)$ , а во второй —  $(h_2, h_3)$  и  $(g_2, g_3)$ . Групповые операции:

$$(t_1, h_1) * (t_2, g_2) = (t_1 + t_2, h_1 + g_2) \text{ и } (h_2, h_3) * (g_2, g_3) = (g_2 + h_2, g_3 + h_3).$$

Рассмотрим оператор  $\varphi[t_1, h_1]$ , действующий на группе  $G_2$  по формуле

$$\varphi[t_1, h_1](g_2, g_3) = (e^{\mu t_1 + h_1} g_2, e^{2\mu t_1 + h_1} g_3)$$

Легко убедиться, что

$$\varphi[t_1, h_1]((h_2, h_3) * (g_2, g_3)) = (\varphi[t_1, h_1](h_2, h_3)) * (\varphi[t_1, h_1](g_2, g_3)).$$

Поэтому  $\varphi[t_1, h_1] : G_2 \rightarrow G_2$  есть автоморфизм.

Это позволяет переписать групповую операцию в  $FH(S_3)$  с помощью автоморфизма так:

$$(t_1, h_1, h_2, h_3) * (t_2, g_1, g_2, g_3) = ((t_1, h_1) * (t_2, g_2), (h_2, h_3) * \varphi[t_1, h_1](g_2, g_3)).$$

При этом следует ещё отметить, что отображение  $\varphi : G_1 \rightarrow \text{Aut}(G_2)$ , сопоставляющее элементу  $(t_1, h_1) \in G_1$  автоморфизм  $\varphi[t_1, h_1]$ , есть гомоморфизм (в группе  $\text{Aut}(G_2)$ , естественно, используется операция композиции отображений). Действительно,

$$\begin{aligned} \varphi[(t_1, h_1) * (t_2, g_1)](g_2, g_3) &= (e^{\mu(t_1 + t_2) + h_1 + h_2} g_2, e^{2\mu(t_1 + t_2) + h_1 + h_2} g_3) = \\ &= \varphi[t_1, h_1](\varphi[t_2, g_1](g_2, g_3)) = \varphi[t_2, g_1](\varphi[t_1, h_1](g_2, g_3)). \end{aligned}$$

Как результат, нами доказана следующая теорема.

**Теорема 3.** Полная группа подобий  $FH(S_3)$  построенного нами однородного самоподобного многообразия  $(S_3, g)$  является полупрямым произведением двух двумерных коммутативных групп  $G_2 \rtimes_{\varphi} G_1$ .

**Заключение.** Мы построили самоподобное лоренцево многообразие специальной неунимодулярной трёхмерной группы Ли, нашли её полную группу подобий и дали этой группе алгебраическую характеристику. Наша ближайшая задача: исследовать четырёхмерную группу Ли  $\mathbf{R}^+ \times S_3$  ( $\mathbf{R}^+$  — группа положительных действительных чисел с операцией умножения) с целью найти на ней все классы левоинвариантных лоренцевых метрик, при которых эта группа Ли является однородным самоподобным многообразием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подоксёнов, М.Н. Подобия и изометрии однородного многообразия группы Гейзенберга, снабжённой левоинвариантной лоренцевой метрикой / М.Н. Подоксёнов // Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. — 2011. — № 5(65). — С. 10–15.
2. Подоксёнов, М.Н. Самоподобные однородные двумерное и трёхмерное лоренцевы многообразия / М.Н. Подоксёнов // Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. — 2018. — № 2(99). — С. 14–19.
3. Подоксёнов, М.Н. Самоподобное однородное лоренцево многообразие трёхмерной группы Ли / М.Н. Подоксёнов, А.Н. Кабанов // Наука — образованию, производству, экономике: материалы XXIV(71) Регион. науч.-практ. конф. преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 14 февр. 2019 г.: в 2 т. / Вит. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред) [и др.]. — Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2019. — Т. 1. — С. 18–20.
4. Подоксёнов, М.Н. Автоизометрии четырёхмерной алгебры Ли IV типа Бианки / М.Н. Подоксёнов, Е.А. Иванова // Математические структуры и моделирование. — 2021. — № 2(58). — С. 28–36.
5. Подоксёнов, М.Н. Максимальная группа изометрий лоренцевой группы Ли  $A^+(1) \times A^+(1)$  / М.Н. Подоксёнов, Я.В. Гороява // Математические структуры и моделирование. — 2022. — № 2(62). — С. 154–162.
6. Подоксёнов, М.Н. Четырёхмерные самоподобные однородные многообразия группы Ли  $HS \times R^+$  / М.Н. Подоксёнов, А.К. Гуц // Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. — 2022. — № 1. — С. 5–10.
7. Подоксёнов, М.Н. Самоподобное однородное лоренцево многообразие группы Ли  $SE(2) \times R^+$  / М.Н. Подоксёнов, Ю.А. Шпакова // Математические структуры и моделирование. — 2023. — № 1(65). — С. 46–54.
8. Подоксёнов, М.Н. Тензор кривизны самоподобных лоренцевых многообразий некоторых четырёхмерных групп Ли / М.Н. Подоксёнов, Ю.А. Шпакова // Математические структуры и моделирование. — 2023. — № 3(67). — С. 16–22.
9. Подоксёнов, М.Н. Лоренцево многообразие с однопараметрической группой гомотетий имеющей замкнутую изотропную орбиту / М.Н. Подоксёнов // Сибирский математический журнал. — 1990. — Т. 30, № 5. — С. 771–773.
10. Milnor, J. Curvatures of left-invariant metrics on Lie groups / J. Milnor // Advances Mathematics. — 1976. — Vol. 21. — P. 293–329.
11. Подоксёнов, М.Н. Полная группа изометрий специальной трёхмерной группы Ли / М.Н. Подоксёнов, Г. Ян // Математические структуры и моделирование. — 2024. — № 3(71). — С. 33–43.
12. Подоксёнов, М.Н. Самоподобное лоренцево многообразие одной специальной трёхмерной группы Ли // М.Н. Подоксёнов, Н.С. Герасимович // Омская конференция по геометрии и её приложениям, Омск, 13–16 окт. 2025 г. — Омск: Издательство Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского, 2025. — С. 50–53.
13. Подоксёнов, М.Н. Гомотетические автоморфизмы трёхмерных алгебр Ли / М.Н. Подоксёнов // Учёные записки УО «ВГУ им. П.М. Машерова»: сб. науч. тр. — Витебск, 2009. — Т. 8. — С. 203–211.

## REFERENCES

1. Podoksenov M.N. *Vesnik Vitebskaya dziazhaunaga universiteta* [Journal of Vitebsk State University], 2011, 5(65), pp. 10–15.
2. Podoksenov M.N. *Vesnik Vitebskaya dziazhaunaga universiteta* [Journal of Vitebsk State University], 2018, 2(99), pp. 14–19.
3. Podoksenov M.N., Kabanov A.N. *Nauka — obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike: materialy XXIV (71) Region. nauch.-prakt. konf. prepodavatelei, nauchnykh sotridnikov i aspirantov, Vitebsk, 14 fevr. 2019 g.: v 2 t.* [Science for Education, Industry, Economy: Proceedings of the 24<sup>th</sup> (71 Regional Scientific and Practical Conference of Teachers, Researchers and Postgraduate Students, Vitebsk, February 14, 2019: in 2 Volumes), Vitebsk: VGU imeni P.M. Masherova, 2019, 1, pp. 18–20.
4. Podoksenov M.N., Ivanova E.A. *Matematicheskiye struktury i modelirovaniye* [Mathematical Structures and Modeling], 2021, 2(58), pp. 28–36.
5. Podoksenov M.N., Gorovaya Ya.V. *Matematicheskiye struktury i modelirovaniye* [Mathematical Structures and Modeling], 2022, 2(62), pp. 154–162.
6. Podoksenov M.N. *Vesnik Vitebskaya dziazhaunaga universiteta* [Bulletin of Vitebsk State University], 2022, 1, pp. 5–10.
7. Podoksenov M.N., Shpakova Yu.A. *Matematicheskiye struktury i modelirovaniye* [Mathematical Structures and Modeling], 2023, 1(65), pp. 46–54.
8. Podoksenov M.N., Shpakova Yu.A. *Matematicheskiye struktury i modelirovaniye* [Mathematical Structures and Modeling], 2023, 3(67), pp. 16–22.
9. Podoksenov M.N. *Sibirski matematicheski zhurnal* [Siberian Mathematical Journal], 1990, 5(30), pp. 771–773.
10. Milnor, J. Curvatures of left-invariant metrics on Lie groups / J. Milnor // Advances Mathematics. — 1976. — Vol. 21. — P. 293–329.
11. Podoksenov M.N., Yang G. *Matematicheskiye struktury i modelirovaniye* [Mathematical Structures and Modeling], 2024, 3(71), pp. 33–43.
12. Podoksenov M.N., Gerasimovich N.S. *Omskaya konferentsiya po geometrii i yeyo prilozheniyam, Omsk, 13–16 okt. 2025 g.* [Omsk Conference on Geometry and its Applications, Omsk, October 13–16, 2025], Omsk: Izdatelstvo Omskogo gosudarstvennogo universiteta im. F.M. Dostoyevskogo, 2025, pp. 50–53.
13. Podoksenov M.N. *Ucheniye zapiski UO "VGU im. P.M. Masherova": sb. nauch. tr.* [Scientific Notes of Vitebsk State P.M. Masherov University], Vitebsk, 2009, 8, pp. 203–211.

Поступила в редакцию 10.03.2026

Address for correspondence: e-mail: michael.vitebsk@gmail.com — Подоксёнов М.Н.



# БІАЛОГІЯ

УДК 504.12:622(476+575.1)

## ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

И.А. Красовская\*, Н.Р. Таджибаева\*\*, А.Н. Галкин\*, А.Б. Торбенко\*

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

\*\*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

*Беларусь и Узбекистан располагают значительными ресурсами полезных ископаемых. Их добыча зачастую сопряжена с трансформацией компонентов природной окружающей среды. В результате загрязняется воздух, ухудшается состояние почвы, водоотливы из карьеров приводят к снижению уровней подземных вод, формируя депрессионные воронки с радиусами, измеряемыми километрами, иссякают источники, колодцы, пересыхают малые реки и водоемы, становятся источниками питания подземных вод крупные реки, дренирующие их в естественных условиях.*

*Цель работы — рассмотреть особенности функционирования карьерно-отвальных комплексов по добыче полезных ископаемых на территориях Беларуси и Узбекистана, оказывающих негативное техногенное влияние на компоненты окружающей природной среды, для создания системы локального геоэкологического мониторинга как инструмента регулирования техногенной нагрузки.*

**Материал и методы.** *В основу исследования положен анализ опубликованной научно-технической и фондовой литературы по проблематике, информационные материалы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан, касающиеся минерально-сырьевой базы этих двух государств. Важной частью работы стали результаты собственных полевых исследований, в ходе которых оценивалась устойчивость откосов карьеров и склонов отвалов вскрышных пород, а также выявлялись инженерно-геологические процессы, возникающие при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.*

**Результаты и их обсуждение.** *Добыча полезных ископаемых открытым способом неизбежно наносит вред окружающей среде, затрагивая как сами участки добычи, так и прилегающие территории. Поэтому крайне важно активно изучать и разрабатывать методы для снижения этого негативного влияния на всех этапах — от начального проектирования до завершения эксплуатации. Для эффективной защиты компонентов природной среды необходимы актуальные данные об их состоянии, включая информацию о нарушениях, причинах и потенциальных загрязнителях. Внедрение систем локального геоэкологического мониторинга на горнодобывающих предприятиях позволяет получать эти данные. Такая система должна предусматривать непрерывное наблюдение за источниками воздействия (карьеры, отвалы), оценку текущего состояния природных компонентов, затронутых добычей, прогнозирование последствий горной добычи различной интенсивности и продолжительности, а также оперативное формирование стратегий контроля и стабилизации экологической обстановки.*

**Заключение.** Внедрение системы постоянно действующего геоэкологического мониторинга на горнодобывающих предприятиях Республики Беларусь и Республики Узбекистан будет способствовать обеспечению экологической безопасности и принятию эффективных управленческих решений для снижения влияния карьеров по открытой добыче полезных ископаемых на окружающую среду.

**Ключевые слова:** карьеры, добыча полезных ископаемых, загрязнение природных сред, геоэкологический мониторинг, Беларусь, Узбекистан.

## ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF GEOECOLOGICAL CONSEQUENCES OF OPEN-MINING MINERAL RESOURCES ON THE EXAMPLE OF TERRITORIES OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

I.A. Krasovskaya\*, N.R. Tadjibayeva\*\*, A.N. Galkin\*, A.B. Torbenko\*

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

\*\*Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan

*The Republics of Belarus and Uzbekistan possess significant mineral resources. Their extraction often involves the transformation of natural environmental components. This results in air pollution, soil degradation, quarry drainage leading to a decrease in groundwater levels, forming depressions with kilometer long radii, springs and wells drying up, small rivers and reservoirs drying up, and large rivers, which drain groundwater naturally, becoming sources of groundwater.*

*The objective of this study is to examine the operational characteristics of quarry and waste disposal facilities for mineral extraction in Belarus and Uzbekistan, which have a negative anthropogenic impact on natural environmental components, with the aim of developing a local geo-ecological monitoring system as a tool for regulating anthropogenic impacts.*

**Material and methods.** *The study is based on an analysis of published scientific, technical, and archived literature on the subject, as well as information materials from the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, the Ministry of Mining and Geology of the Republic of Uzbekistan, and the Ministry of Ecology, Environmental Protection, and Climate Change of the Republic of Uzbekistan, concerning the mineral resource base of these two countries. A key component of the work was the results of our own field studies, which assessed the stability of quarry slopes and overburden dump slopes, as well as identified the engineering and geological processes that occur during open-pit mining of mineral deposits.*

**Findings and their discussion.** *Open-pit mining inevitably harms the environment, affecting both the mining sites themselves and adjacent territories. Therefore, it is crucial to actively study and develop methods to reduce this negative impact at all stages — from initial design to completion of operation. Efficient protection of environmental components requires up-to-date data on their condition, including information on disturbances, causes, and potential pollutants. The implementation of local geoecological monitoring systems at mining enterprises enables the collection of this data. Such a system should provide for continuous monitoring of impact sources (quarries, waste heaps), assessment of the current state of natural components affected by mining, forecasting the impacts of mining operations of varying intensity and duration, and the prompt development of strategies for monitoring and stabilizing the environmental situation.*

**Conclusion.** *The implementation of a continuous geoecological monitoring system at mining enterprises in the Republics of Belarus and Uzbekistan will contribute to ensuring environmental safety and making effective management decisions to reduce the environmental impact of open-pit mining operations.*

**Key words:** *quarries, mining, environmental pollution, geoecological monitoring, Belarus, Uzbekistan.*

Технология открытой добычи полезных ископаемых (ПИ) характеризуется высокой степенью многоплановости и необратимости воздействия на окружающую среду, поэтому занимает лидирующие позиции среди аналогичных методов во многих странах. По состоянию на начало 2025 года в Республике Беларусь открытым способом разрабатывалось 335 месторождений полезных ископаемых. Из них 165 месторождений приходится на разработку строительных песков, 92 — валунно-гравийно-песчаных смесей, 38 — на добычу торфа, 8 — сапропеля, 10 — глинистого сырья для производства кирпича, аглопорита, дренажных труб, керамических камней и блоков, 12 — цементного сырья (мела, мергеля, глины, супесей). Остальные месторождения связаны с разработкой доломита (1), строительного (2) и облицовочного (1) камня, стекольных (1) и формовочных (2) песков [1]. На базе данных месторождений функционируют предприятия, специализирующиеся на производстве доломитовых и органических удобрений, топливных брикетов, а также широкого ассортимента строительных

материалов. Ведущую роль в этой индустрии играют такие предприятия, как РУПП «Гранит» (г. Мишаевичи), ОАО «Доломит», ОАО «Белорусский цементный завод» (г. Костюковичи), ОАО «Красносельскстройматериалы», ОАО «Кричевцементошифер», ОАО «Керамика» (г. Витебск), ОАО «Завод керамзитового гравия» (г. Новолукомль) и другие.

Подобная ситуация сложилась и в Республике Узбекистан. Страна богата минеральными ресурсами и драгоценными металлами, включая золото, медь, свинец, молибден, серебро, вольфрам и цинк. Наиболее часто добываемыми минералами являются золото, уран и медь. По данным Государственного баланса запасов полезных ископаемых Узбекистана, на его территории открыто 41 месторождение золота, 9 из которых разрабатывается. Золото добывается в бассейне р. Зеравшан и в Кызылкумах. Его добыча в стране сконцентрирована на двух крупнейших предприятиях — Навоийском и Алмалыкском горно-металлургических комбинатах (ГМК). Разведано около 40 месторождений урана, 27 из которых основные. При этом монопольным производителем урана в республике является Навоийский ГМК [2]. Республика располагает значительными запасами угля. Его добыча ведется на трех месторождениях: Ангренском (бурый уголь), Шаргунском и Байсунском (каменный уголь). Практически на всей территории страны добываются общераспространенные полезные ископаемые, которые сосредоточены в 522 месторождениях. Из них 163 месторождения лёссовидных глинистых пород (суглинки и супеси) для производства кирпича и аглопорита, 11 — керамзитовых глин, 73 — песчано-гравийных смесей, 32 — бутового, стенового камня и щебня, 30 — облицовочных камней (декоративных гранитов, туфов, мраморов и известняков), 8 месторождений карбонатного сырья для цемента и 23 — для производства извести [3]. Известны также месторождения гипса и ангидрита — Мамаджургатинское, Кунгуртауское, Камышбашинское и другие (всего 25 разведанных месторождений). На базе этих месторождений функционируют такие крупные предприятия Узбекистана, как АО «Карбонат», АОО «Кызылкумцемент», АО «Самаркандмрамор», Андижанский, Джизакский, Наманганский, Ташкентский строительные комбинаты, Навоийский известковый завод, Шарабадский цементный завод и многие другие [4].

Однако, несмотря на экономическую значимость, деятельность указанных горнодобывающих и перерабатывающих предприятий несет существенные экологические риски. Загрязняется воздух, ухудшается состояние почв, водоотливы из карьеров приводят к снижению уровней взаимосвязанных водоносных горизонтов, формируя депрессионные воронки с радиусами, измеряемыми километрами. В результате иссякают источники, колодцы, скважины, пересыхают малые реки и водоемы, заболоченные участки. Становятся источниками питания подземных вод крупные реки, дренирующие их в естественных условиях [5; 6].

Цель исследования — рассмотреть особенности функционирования карьерно-отвальных комплексов по открытой добыче полезных ископаемых на территориях Беларуси и Узбекистана, оказывающих негативное техногенное влияние на компоненты окружающей природной среды, для создания системы локального геоэкологического мониторинга как инструмента регулирования техногенной нагрузки.

**Материал и методы.** В основу исследования положены анализ опубликованной научно-технической и фондовой литературы по проблематике, информационные материалы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан, касающиеся минерально-сырьевой базы этих двух государств. Кроме того, использованы результаты собственных полевых исследований, в ходе которых оценивалась устойчивость откосов карьеров и склонов отвалов вскрышных пород, а также выявлялись инженерно-геологические процессы, возникающие при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

**Результаты и их обсуждение.** На территории исследуемых республик добыча большинства распространенных полезных ископаемых осуществляется открытым способом, преимущественно через карьерную разработку. Исключение составляют лишь фрезерная разработка торфяных залежей и подводная экскавация в водоемах сапропеля в Беларуси.

Разнообразие геолого-геоморфологических условий, а также различия в составе, свойствах и способах залегания полезных ископаемых обуславливают специфику воздействия открытых горных работ на природную среду и здоровье работников.

В настоящее время одной из ключевых задач на государственных уровнях является установление взаимосвязи между добычей минеральных ресурсов и специфическими инженерно-геологическими и экологическими характеристиками территорий их залегания. Особое внимание уделяется оценке масштабов и глубины воздействия на природу, разработке действенных мер по минимизации негативных последствий, рациональному использованию природных богатств и снижению антропогенной нагрузки на компоненты окружающей среды. К основным видам воздействия открытой добычи полезных ископаемых относятся:

- изъятие земельных и водных ресурсов — непосредственное использование территорий и водоемов для добычи;
- загрязнение атмосферного воздуха — выбросы газообразных веществ и взвешенных частиц;
- трансформация рельефа и изменение гидрогеологических условий — нарушение естественного ландшафта и водного баланса участка разработки и прилегающих территорий;
- шумовое загрязнение и образование отходов — воздействие шума от техники, а также накопление отходов производства и сточных вод;
- изменение социально-экономических условий — влияние на жизнь местного населения [3].

Открытая разработка месторождений полезных ископаемых (ПИ) серьезно ухудшает состояние атмосферного воздуха. Это происходит из-за образования пыли и выбросов вредных газов. Состав пыли напрямую связан с типом добываемого сырья и может включать кварц, силикаты, карбонаты и другие вещества. Например, при добыче глин и песка пыль может содержать от 20 до 70% диоксида кремния, в то время как при разработке суглинков данный показатель не превышает 20%.

Интенсивность пылеобразования во время выемки и погрузки породы зависит от ряда факторов: прочности горных пород, их естественной влажности, объема перемещаемого материала, высоты выгрузки и угла поворота экскаватора. Повышение высоты выгрузки часто приводит к обрушению верхней части уступа и может увеличить запыленность в 1,5–5 раз [7].

Серьезной экологической проблемой является пыль, поднимающаяся при транспортировке сырья по внутрикарьерным дорогам. Она образуется в результате трения груженого материала в кузовах самосвалов и колес автомобилей о дорожное покрытие. Интенсивность и объем пылеобразования зависят не только от типа дорожного покрытия, но и от скорости движения и грузоподъемности транспорта [5].

Использование конвейерного транспорта в карьерах создает новые источники пыли, связанные с работой дробильных установок, грохотов и самих конвейерных лент. Эти элементы, помимо выполнения своих основных функций, способствуют образованию пыли, что требует принятия дополнительных мер по контролю и снижению ее выделения.

При формировании отвалов вскрышных пород пылевывбросы происходят независимо от выбранного способа отваловки. Общим для всех методов является образование больших открытых участков с рыхлым материалом, которые при неблагоприятных погодных условиях становятся источниками интенсивного пылевывделения. Степень пылеобразования зависит от типа добываемого материала, его гранулометрического состава и погодных условий.

Загрязнение воздуха вблизи карьеров и на их территории также происходит из-за работы двигателей дорожно-строительной техники и автотранспорта. Выбросы включают диоксид азота, оксид азота, бензин, оксиды углерода и серы, сажу. Важно отметить, что, по данным природоохранных органов, уровень воздействия на воздушную среду при разработке карьеров ПИ обычно не превышает установленных норм. Основным источником загрязнения в таких случаях часто является автотранспорт, обслуживающий карьерные работы.

Масштабы и расположение каждого карьера и отвала могут оказывать специфическое воздействие на окружающую среду. Горнодобывающая деятельность не только создает как положительные, так и отрицательные техногенные формы рельефа, но и способствует развитию и усилению экзогенных инженерно-геологических процессов. К ним относятся выветривание, эрозия, оползни, осыпи, суффозия, дефляция, подтопление и другие явления.

Ярким примером служит месторождение легкоплавких озерно-ледниковых глин «Лукомль-1» в Чашникском районе Витебской области [8]. Добыча здесь ведется в двух карьерах: южном, разрабатываемом ОАО «Минский завод строительных материалов» с 1994 г., и северном, эксплуатируемом

ОАО «Завод керамзитового гравия» (г. Новолукомль) с 1977 г. В настоящее время на обоих карьерах наблюдаются участки с нарушением устойчивости откосов, что проявляется в локальных оползневых и иных деформациях. Первые признаки таких проблем были зафиксированы при обследовании бортов карьера керамзитового завода еще в 1978 г., а затем в период 1985–1987 гг. В карьере Минского завода стройматериалов первое крупное обрушение нерабочего борта произошло 6 марта 1996 г. В ноябре 1997 г. на активном участке борта карьера протяженностью 110 м произошли оползни, повлекшие за собой разрушение железнодорожных путей и смещение семи платформ с глиной на глубину до 5 м. Примечательно, что небольшие обрушения откосов фиксировались в карьерах ежегодно. Установлено, что подобные деформации чаще всего возникают весной и осенью на участках бортов длиной 100–150 м и высотой 21–29 м, подверженных циклам замерзания-оттаивания и интенсивному увлажнению. Весной 2023 г. на уже отработанных откосах в северо-восточной и восточной частях карьера завода керамзитового гравия в Новолукомле вновь активизировались оползни. Пострадал участок склонов длиной более 700 м (рис. 1), в движение было вовлечено свыше 55 тыс. м<sup>3</sup> грунта, включая почвенный слой и растительность [8].



Рис. 1. Фрагмент фронтального оползня выдавливания в восточном борту карьера «Лукомль-1» (фото А.Б. Торбенко, 2023)

Еще одним показательным примером оползневых и других гравитационных процессов является карьер «Гралево» в окрестностях Витебска, где добывают верхнедевонские доломиты. Вскрышные породы здесь представлены моренными супесями и суглинками поозерского и днепровского горизонтов, а также голоценовыми аллювиальными песками, общая мощность которых достигает 10–20 м. Наличие грунтового водоносного горизонта в этих породах, их выветрелость и значительная крутизна склонов (до 50°) способствуют широкому развитию оползней, объемы которых варьируются от сотен до тысяч кубических метров перемещенных грунтовых масс. При этом в доломитах, залегающих под четвертичной толщей, на откосах постоянно образуются трещины бортового отпора, вызывающие разуплотнение массива пород и снижение их прочности, что нередко приводит к осыпям и обвалам [9].

Подобные техногенные геодинамические явления наблюдаются во многих горнодобывающих объектах Беларуси. Среди них карьер «Микашевичи» РУПП «Гранит» (добыча строительного камня), меловые карьеры вблизи Кричева (Могилевская область) и поселка Красносельский (Гродненская область), месторождение «Коммунарское» (Костюковичский район Могилевщины), а также ряд разработок песчано-гравийных смесей в Минской области [10]. Примечательно, что в некоторых из них (например, в карьерах «Гралево» и «Микашевичи») проявлению склоновых процессов часто способствует проведение буровзрывных работ.

Схожая картина наблюдается и на карьерах Узбекистана. Оползневые и иные гравитационные процессы отмечены на Алмалыкском, Ангренском, Джигиристанском, Кургашиканском, Кальмакырском,

Тегенекском и других карьерах. Здесь оползни развиваются в меловых, юрских и палеозойских отложениях и характеризуются различными объемами и глубиной залегания поверхности скольжения. Одни оползни перекрывают значительную часть вскрышных и добычных уступов, другие развиваются в пределах одного или двух уступов [11]. Крупные оползни часто наблюдаются в угольных карьерах при наличии чередующихся слоев глин и песчаников. В рудных карьерах встречаются оползни в основном средних объемов, приуроченные к местам разрывных нарушений и зон сильной трещиноватости (табл.).

Таблица

Сравнительная характеристика обрушений на карьерах Узбекистана [12]

Тип месторождения	Приуроченность	Основные факторы формирования	Характер проявления	Объемы
Месторождения твердых ископаемых	Зоны разрывных нарушений	Тектоническая трещиноватость, зоны дробления	Развиваются быстро, внезапные обрушения	Средние и крупные (до десятков тыс. м <sup>3</sup> )
Месторождения Центральных Кызылкумов	Сланцевые толщи с переслаиванием песчаников и других пород	Литологическая неоднородность, климатический фактор (выветривание, осадки)	Менее стремительные, но частые	Разные, чаще средние (от единиц до десятков тыс. м <sup>3</sup> )
Угольные месторождения	Зоны, связанные с гидрогеологическими условиями	Увлажнение пород, подземные воды	Встречаются реже, обрушения меньшего объема	Разные, чаще небольшие (сотни — первые тыс. м <sup>3</sup> )

Среди меловых отложений наиболее крупные оползни обнаруживаются на Алмалыкском карьере, расположенном в северном предгорье Алайского хребта. Здесь мезо-кайнозойские отложения имеют наклон в сторону карьера 25°. Наличие слабых глинистых слоев и контактов, падающих в сторону карьера, способствует возникновению оползней. Наиболее характерным является оползень объемом 750–800 тыс. м<sup>3</sup>, перекрывший значительную часть вскрышных и добычных уступов (рис. 2).

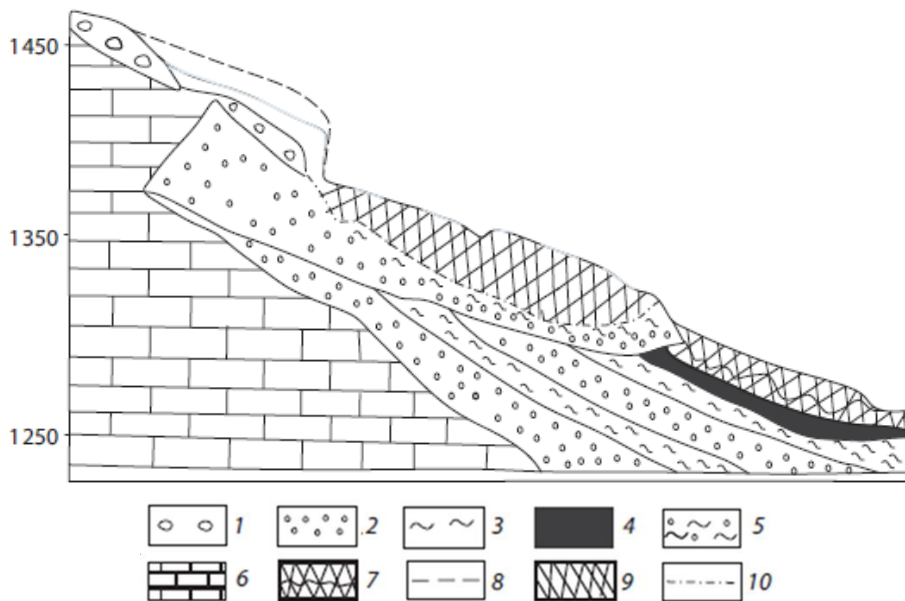


Рис. 2. Оползень карьера Алмалык [12]:

- 1 — конгломераты, песчаники, алевролиты, галечники (N–Q); 2 — карбонатизированные песчано-глинистые отложения;
- 3 — каолиновые глины и песчаники; 4 — уголь; 5 — песчаники и глины; 6 — известняки, порфириды, гранодиорит-порфириды;
- 7 — оползневые отложения; 8 — стенка оползня; 9 — поверхность оползня; 10 — поверхность скольжения

Данный оползень располагается в рабочем борту карьера и примыкает к фронтальной зоне Алмалыкского надвига. В теле оползня параллельно и перпендикулярно надвигу проходят несколько небольших разрывных нарушений. В смещении участвовали неогеновые конгломераты (верхний слой), а также меловые глины и песчаники. Под поверхностью скольжения залегают отложения меловой системы. Поверхность скольжения располагается в меловых глинах, между пластами водоносных песчаников. Глубина ее залегания составляет порядка 20 м в верхней и около 30 м в средней части. Формирование поверхности скольжения связано с увлажнением глинистого горизонта. Обычно меловые глины плотные, карбонатизированные и обладают высокими прочностными характеристиками, однако они трещиноваты; по трещинам на откосах выходят подземные воды. Высокпластичный глинистый слой мощностью 1,5–2,0 м сформировался вследствие выщелачивания глин при их увлажнении [12].

Стенка срыва оползня находится во втором уступе (сверху); ее высота составляет 150 м, крутизна — 80°. По стенке срыва обнажены неогеновые конгломераты, меловые песчаники и глины. В нижней части стенки срыва на расстоянии 20 м обнажена поверхность скольжения крутизной 35°. Мощность глинистой смазки — 5–8 см. В верхней части стенки срыва обнажены разрывные нарушения мощностью 10–20 см, заполненные глиной трения. Средняя часть оползня более широкая, оконтурена боковыми стенками срыва высотой 3–5 м. Имеются выходы подземных вод по контакту песчаников с глинистыми отложениями. Глины плотные, трещиноватые; в местах выхода подземных вод они увлажнены на 3–5 см. Языковая часть оползня расположена в нижних уступах, где добывается уголь. В этой части также обнажена поверхность скольжения, представляющая собой затвердевшие высокпластичные глины мощностью 5–10 см [12].

Более крупные оползневые процессы наблюдаются на Ангренском буроугольном карьере, где они сформированы в основном по юрским отложениям. Последние представлены сериями каолиновых глин, угленосными глинами, песчаниками и углями. В связи с эксплуатацией карьера здесь наблюдались крупные оползни, в отдельные периоды приводившие к снижению объемов добычи угля.

При открытой добыче полезных ископаемых часто приходится откачивать большие объемы воды, чтобы защитить рабочие зоны от затопления. Однако такое интенсивное понижение уровня грунтовых вод, необходимое для безопасной и экономичной разработки месторождений, запускает цепочку негативных инженерно-гидрогеологических процессов [5]. К ним относятся образование обширных зон понижения уровня воды (депрессионных воронок), истощение запасов пресных подземных вод и их загрязнение.

Наглядный пример — карьер «Микашевичи», где добывают строительный камень [13]. Постоянный водоотлив, достигающий порой более 60 тыс. м<sup>3</sup>/сут, вызван значительными притоками воды из подземных горизонтов (в среднем 43,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут, а в периоды ливневых осадков до 420 тыс. м<sup>3</sup>/сут и более). В результате этого гидродинамические характеристики всех водоносных горизонтов кардинально изменились. Химический состав подземных и карьерных вод также претерпел изменения, а гидрологический режим прилегающих территорий был нарушен [9]. Вследствие водоотлива сформировалась депрессионная воронка, которая распространилась на подземные воды в радиусе до 3 км от карьера. Это привело к снижению уровня грунтовых вод на 2–11 м и пересыханию двух небольших рек в окрестностях месторождения [14].

Подобные ситуации не редкость и при разработке карьеров в Узбекистане. Например, карьер «Кальмакыр» АО «Алмалыкский ГМК», являющийся основным поставщиком меднорудного сырья для цветной металлургии страны, разрабатывается открытым способом уже более 60 лет [15]. В результате образовалось огромное выработанное пространство в форме перевернутого усеченного конуса, достигающее в верхней части 3,9 на 1,9 км и глубиной свыше 500 м. Вода поступает в карьер за счет атмосферных осадков, грунтовых вод речных долин рек Накпайсай и Алмалыксай, а также из трещинных вод палеозойских пород, в общем объеме около 450–500 м<sup>3</sup>/час. Чтобы уменьшить приток воды, в 1984 г. русло реки Алмалыксай было перекрыто плотиной в 2 км от карьера. Между долинами рек Алмалыксай и Накпайсай, под хребтом, был проложен тоннель сечением 6 м<sup>2</sup> и длиной 930 метров, по которому вода была отведена в русло Накпайсай. Позднее были построены еще два тоннеля под хребтами, отводящие воду в русло реки Саук-булаксай. Общая протяженность всех тоннелей составила более 5,9 км. Данные меры позволили сократить приток воды в карьер примерно в 2,5 раза [16].

Однако, несмотря на это, естественный режим рек был нарушен. Кроме того, значительная минерализация (до 6 г/дм<sup>3</sup>) и жесткость (до 40 мг-экв/дм<sup>3</sup>) трещинных вод палеозойских эффузивных и интрузивных пород, вскрытых карьером, а также наличие в них таких микрокомпонентов, как марганец, цинк, свинец, медь и т.д., создали проблему утилизации этих вод [17].

Таким образом, освоение месторождений полезных ископаемых открытым способом неизбежно влечет за собой ухудшение состояния окружающей среды. Это касается как непосредственно зон добычи, так и прилегающих территорий. Поэтому критически важны активные исследования и разработка мер, призванных минимизировать негативное воздействие на природу на всех этапах — от начального проектирования до завершения эксплуатации. Для эффективной охраны природы необходима актуальная информация о ее текущем состоянии, включая данные о возникших нарушениях, их источниках и факторах, а также о потенциальных загрязнителях. Внедрение систем локального или геоэкологического мониторинга на горнодобывающих предприятиях позволяет получать нужные сведения. Такая система должна предусматривать непрерывное наблюдение за источниками воздействия (карьеры, отвалы), оценку текущего состояния природных компонентов, затронутых добычей, прогнозирование последствий горной добычи различной интенсивности и продолжительности, а также оперативное формирование стратегий контроля и стабилизации экологической обстановки. Основными объектами геоэкологического мониторинга, как правило, являются карьеры, территории, занятые отвалами вскрышных пород, а также транспортные пути, ведущие к карьерам и расположенные внутри них.

Система *локального геоэкологического мониторинга* (ЛГМ) организуется преимущественно в районах расположения карьерно-отвальных комплексов, оказывающих значительное техногенное влияние на окружающую среду. Зона мониторинга должна охватывать санитарно-защитную зону карьера и прилегающие населенные пункты, а также учитывать глубину залегания подземных вод и приземный слой атмосферы. Предлагаемая система включает наблюдение за геологической средой, воздухом, почвами, растительностью, поверхностными и подземными водами, а также животным миром в зоне влияния карьера. Особое внимание должно уделяться мониторингу геологической среды, поскольку разработка карьеров приводит к значительным изменениям рельефа, свойств грунтов и водного режима, что может спровоцировать развитие опасных экзогенных процессов, таких как оползни, обвалы и эрозия. Наблюдения за этими процессами проводятся на всех этапах работы карьера и на прилегающих территориях, чтобы оценить текущее состояние и спрогнозировать дальнейшее развитие.

Система геоэкологического мониторинга охватывает широкий спектр наблюдений, включая непрерывный контроль за состоянием атмосферного воздуха [18]. Основные задачи мониторинга *воздушной среды* включают: 1) оценку эмиссий — количественный и качественный анализ выбросов непосредственно у источников загрязнения; 2) оценку воздействия — анализ влияния антропогенных источников на атмосферу, особенно на границах санитарно-защитных зон и в жилых районах. Фоновые исследования атмосферы проводятся на различных этапах: до начала горных работ, в период активной добычи и после завершения эксплуатации карьера. Отбор проб воздуха осуществляется ежеквартально, с учетом преобладающего направления ветра, на границе санитарно-защитной зоны. Перечень анализируемых показателей включает стандартные загрязнители: оксиды азота (оксид и диоксид), оксид углерода, диоксид серы (продукты сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания техники и транспорта), сероводород (образующийся при заправке дизельным топливом), а также дорожную и сырьевую пыль [19].

Добыча полезных ископаемых неизбежно наносит ущерб *почвенно-растительному покрову*. Специальная техника и транспорт, используемые в технологическом процессе, оказывают механическое воздействие, уничтожая растительность и изменяя рельеф. Также происходит химическое загрязнение из-за утечек горюче-смазочных материалов. Для оценки состояния почв проводятся мониторинговые исследования. Отбираются пробы с наименее нарушенных участков, где анализируется ряд показателей, таких как содержание тяжелых металлов, азота, органического углерода, а также кислотность, засоленность, радиационный фон. В качестве фоновых показателей используются участки почв, не подверженные загрязнению. Мониторинг осуществляется дважды в год в пределах добычного участка и санитарно-защитной зоны, как во время активной добычи, так и после завершения восстановительных работ.

Мониторинг *поверхностных и подземных вод* в системе ЛГМ представляет собой регулярное наблюдение и измерение различных показателей водной среды с целью контроля качества воды и оценки ее воздействия на окружающую среду [19]. В рамках этого мониторинга отбираются пробы воды как из открытых водоемов, расположенных в карьере или вблизи него, так и из скважин оборудованной режимной сети. Эта сеть, обычно состоящая из 3–4 наблюдательных скважин, размещается с учетом местоположения, характера и размеров источников загрязнения, конфигурации области загрязнения подземных вод, строения водоносного горизонта (мощность, неоднородность и его граничные условия; направления естественного движения подземных вод), а также скорости движения загрязненных подземных вод [20].

Мониторинг *животного мира* в системе ЛГМ проводится для анализа видового и количественного состава животных, обитающих на данной территории, а также для отслеживания путей их миграции до начала производственных работ с целью создания аналогичных благоприятных условий в смежных районах [19]. Контроль видового и численного состава животных направлен на предотвращение их попадания в карьерные выработки, а также на исключение необходимости их отлова или уничтожения.

**Заключение.** В заключение отметим, что внедрение системы постоянно действующего геоэкологического мониторинга на горнодобывающих предприятиях Республики Беларусь и Республики Узбекистан будет способствовать обеспечению экологической безопасности и принятию эффективных управленческих решений для снижения влияния карьеров по открытой добыче полезных ископаемых на окружающую среду.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. — URL: <https://minpriroda.gov.by/ru/> (дата обращения: 16.04.2026).
2. Экономика Узбекистана // Ruwiki.ru. — 2026. — URL: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/Экономика\\_Узбекистана?ysclid=mo15d2t96y756180765](https://ru.ruwiki.ru/wiki/Экономика_Узбекистана?ysclid=mo15d2t96y756180765) (дата обращения: 16.04.2026).
3. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В.С. Білецького. — Донецьк: Донбас, 2004. — Т. 1. — 618 с.
4. Геологическая карта полезных ископаемых Узбекистана // Geoportals-uz.org. — URL: <https://www.geoportals-uz.org/ru/карта-геологических-и-минеральных-ре/> (дата обращения: 16.04.2026).
5. Галкин, А.Н. Особенности воздействия разработки месторождений общераспространенных полезных ископаемых на окружающую природную среду территории Витебской области / А.Н. Галкин, А.Б. Торбенко, К.С. Мальков // Актуальные проблемы наук о Земле: устойчивое развитие городов и регионов: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения проф. А.А. Богдасарова, Брест, 15–17 мая 2025 г.: в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т, Бел. геогр. о-во; редкол.: М.А. Богдасаров (гл. ред.) [и др.]. — Брест: БрГУ, 2025. — Ч. 1. — С. 12–16.
6. Мальков, К.С. Воздействие разработки месторождений по добыче общераспространенных полезных ископаемых на окружающую среду территории Витебской области / К.С. Мальков, А.Б. Торбенко, А.Н. Галкин // Тенденции и проблемы развития наук о Земле в современном мире: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 апр. 2024 г.: в 2 ч. / Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины; редкол.: А.П. Гусев (гл. ред.) [и др.]. — Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2024. — Ч. 1. — С. 11–16.
7. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей). — Люберцы: Нац. науч. центр горн. произв-ва, Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского, 1999. — 58 с.
8. Исследование оползневых процессов в откосах бортов карьера глины «Лукомль-1» инженерно-геологическими и дистанционными методами / А.Н. Галкин, А.Б. Торбенко, И.А. Красовская, А.И. Павловский // Літасфера. — 2024. — № 1(60). — С. 53–67.
9. Галкин, А.Н. Особенности функционирования литотехнических систем территории Белоруссии / А.Н. Галкин, В.А. Королев // Инженерная геология. — 2014. — № 4. — С. 28–44.
10. Современные геоморфологические исследования в районах добычи и переработки полезных ископаемых на территории Беларуси / А.И. Павловский, А.Н. Галкин, С.В. Андрушко, В.Л. Моляренко, И.А. Красовская // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: материалы VIII науч.-практ. конф., Воронеж, 10–13 окт. 2023 г. / под ред. И.И. Косиновой. — Воронеж: Кварта, 2023. — С. 160–164.
11. Курбанов, Э.Ш. Анализ и оценка основных факторов, влияющих на возникновение деформационных явлений на руднике Кальмакыр / Э.Ш. Курбанов, О.Г. Ашуров, А.Х. Хусанова // Разведка и охрана недр. — 2023. — № 9. — С. 44–47.
12. Бимурзаев, Г.А. Оползни, обрушения и сдвигание горных пород на месторождениях полезных ископаемых Узбекистана / Г.А. Бимурзаев, А.М. Ахунжанов, Э.Ш. Курбанов // Региональная геология и металлогения. — 2026. — Т. 33, № 1. — С. 75–90. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2026\\_105\\_75-90](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2026_105_75-90).
13. Взрывы, БелАЗы и борьба с водой: невероятная жизнь гранитного карьера «Микашевичи» // Onlinebrest.by: [сайт]. — 2026. — URL: <https://onlinebrest.by/novosti/vzryvy-belazy-i-borba-s-vodoy-neveroyatnaya-zhizn-granitnogo-karera-mikashевичи.html?ysclid=mhu7gayoab607865168> (дата обращения: 16.04.2026).
14. Ясовеев, М.Г. Геоэкологические проблемы разработки Микашевичского месторождения строительного камня / М.Г. Ясовеев, Ю.А. Гледко // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. — 2001. — № 2. — С. 71–76.
15. Косимов, М.О. Гидрогеологическая обстановка на карьере «Кальмакыр» / М.О. Косимов, Х.К. Халкулова, Н.М. Эрматов // Евразийский журнал технологий и инноваций. — 2024. — Т. 2, № 4. — С. 52–58. — URL: <https://in-academy.uz/index.php/ejti/article/view/30145> (дата обращения: 16.04.2026).
16. Раммэ, В.Ю. Карьер Кальмакыр — 50 лет в строю / В.Ю. Раммэ // O'zbekiston konchilik xabarnomasi = Горный вестник Узбекистана. — 2009. — № 3(38). — С. 3–6.

17. Исаматов, Ю.П. О формировании техногенного режима подземных вод при разработке месторождения Кальмакыр / Ю.П. Исаматов, Б.Ш. Шакаров, В.А. Горнов // *O'zbekiston konchilik xabarnomasi* = Горный вестник Узбекистана. — 2005. — № 4(23). — С. 22–23.
18. Геоэкологический мониторинг: учеб. пособие: в 2 ч. / В.В. Вершинин, Д.А. Шаповалов, В.А. Широкова [и др.]. — М., 2017. — Ч. 1. — 290 с.
19. Фурманова, Т.Н. Геоэкологическая оценка воздействия добычи общераспространенных полезных ископаемых на состояние окружающей среды (на примере Белгородской области): автореф. дис. ... канд. географ. наук: 25.00.36 / Фурманова Татьяна Николаевна. — Белгород, 2015. — 22 с.
20. Жогло, В.Г. Мониторинг подземных вод на водозаборах и экологически опасных объектах юго-востока Беларуси / В.Г. Жогло, А.Н. Галкин. — Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2008. — 161 с.

## REFERENCES

1. *Ministerstvo prirodnikh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus* [Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus]. — URL: <https://minpriroda.gov.by/ru/> (Accessed: 16.04.2026).
2. *Ekonomika Uzbekistana* [Economy of Uzbekistan]. — URL: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/Ekonomika\\_Uzbekistana?ysclid=mo15d2t96y756180765](https://ru.ruwiki.ru/wiki/Ekonomika_Uzbekistana?ysclid=mo15d2t96y756180765) (Accessed: 16.04.2026).
3. *Mala girnicha yentsiklopediya: u 3 t.* [Small Mining Encyclopedia: in 3 vol.], Donetsk: Donbas, 2004, Vol. 1, 618 p.
4. *Geologicheskaya karta poleznykh iskopayemykh Uzbekistana* [Geological Map of Useful Fossils of Uzbekistan]. — URL: <https://www.geoportal-uz.org/ru/karta-geologicheskikh-i-mineral'nykh-re/> (Accessed: 16.04.2026).
5. Galkin A.N., Torbenko A.B., Malkov K.S. *Aktualniye problemy nauk o Zemle: ustoychivoye razvitiye gorodov i regionov: sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauch.-prakticheskoy konferentsii, posviashchennoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya prof. A.A. Bogdasarova, Brest, 15–17 maya 2025 g.: v 2 ch., Ch. 1* [Current Issues of Earth Sciences: Sustainable Development of Cities and Regions: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the Birth of Prof. A.A. Bogdasarov, Brest, May 15–17, 2025: in 2 parts, Part 1], Brest: BRGU, 2025, pp. 12–16.
6. Malkov K.S., Torbenko A.B., Galkin A.N. *Tendentsii i problemy razvitiya nauk o Zemle v sovremennom mire: materialy II Mezhdunarodnoy nauch.-prakticheskoy konferentsii, Gomel, 25–26 aprelya 2024 g.: v 2 ch., Ch. 1* [Trends and problems of the development of Earth sciences in the modern world: Proceedings of the II International scientific and practical conference, Gomel, April 25–26, 2024: in 2 parts, Part 1], Gomel: GGU imeni F. Skoriny, 2024, pp. 11–16.
7. *Metodika rascheta vrednykh vybrosov (sbrosov) dlia kompleksa oborudovaniya otkrytykh gornykh rabot (na osnove udelnykh pokazatelei)* [Methodology for calculating harmful emissions (discharges) for a complex of equipment for open-pit mining (based on specific indicators)], Liubertsy: Nats. nauchny tsentr gornogo proizvodstva, In-t gornogo dela imeni A.A. Skochinskogo, 1999, 58 p.
8. Galkin A.N., Torbenko A.B., Krasovskaya I.A., Pavlovskiy A.I. *Litasfera* [Lithosphere], 2024, 1(60), pp. 53–67.
9. Galkin A.N., Korolev V.A. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology], 2014, 4, pp. 28–44.
10. Pavlovskiy A.I., Galkin A.N., Andrushko S.V., Moliarenko V.L., Krasovskaya I.A. *Ekologicheskaya geologiya: teoriya, praktika i regionalniye problemy: materialy VIII nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezh, 10–13 oktiabrya 2023 g.* [Environmental geology: theory, practice and regional problems: materials of the VIII scientific and practical conference, Voronezh, Oct. 10–13, 2023], Voronezh: Kvarta, 2023, pp. 160–164.
11. Kurbanov E.Sh., Ashurov O.G., Khusanova A.Kh. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and Protection of Mineral Resources], 2023, 9, pp. 44–47.
12. Bimurzayev G.A., Akhunzhanov A.M., Kurbanov E.Sh. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], 2026, 33(1), pp. 75–90. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2026\\_105\\_75-90](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2026_105_75-90).
13. *Vzryvy, BelAZy i borba s vodoy: neveroyatnaya zhizn granitnogo karyera "Mikashевичи"* [Explosions, BelAZ trucks and the fight against water: the incredible life of the Mikashевичи granite quarry]. — URL: [https://onlinebrest.by/novosti/vzryvy-belazy-i-borba-s-vodoy-neveroyatnaya-zhizn-granitnogo-karera-mikashевичи.html?ysclid=mhu7\\_gayoab607865168](https://onlinebrest.by/novosti/vzryvy-belazy-i-borba-s-vodoy-neveroyatnaya-zhizn-granitnogo-karera-mikashевичи.html?ysclid=mhu7_gayoab607865168) (Accessed: 16.04.2026).
14. Yasoveyev M.G., Gledko Yu.A. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2* [Bulletin of Belarusian State University. 2], 2001, 2, pp. 71–76.
15. Kosimov M.O., Khalkulova Kh.K., Ermatov N.M. *Yevraziyski zhurnal tekhnologiy i innovatsiy* [Eurasian Journal of Technology and Innovation], 2024, 2(4), pp. 52–58. — URL: <https://in-academy.uz/index.php/ejti/article/view/30145> (Accessed: 16.04.2026).
16. Ramme V.Yu. *Ozbekiston konchilik xabarnomasi = Gornyy vestnik Uzbekistana* [Eurasian Journal of Technology and Innovation], 2009, 3(38), pp. 3–6.
17. Isamatov Yu.P., Shakarov B.Sh., Gornov V.A. *Ozbekiston konchilik xabarnomasi = Gornyy vestnik Uzbekistana* [Eurasian Journal of Technology and Innovation], 2005, 4(23), pp. 22–23.
18. Vershinin V.V., Shapovalov D.A., Shirokova V.A. i dr. *Geoekologicheski monitoring: ucheb. posobiye: v 2 ch., Chast 1* [Geoecological monitoring: Textbook: in 2 parts, Part 1], 2017, 290 p.
19. Furmanova T.N. *Geoekologicheskaya otsenka vozdeystviya dobychi obshcherasprostranennykh poleznykh iskopayemykh na sostoyaniye okruzhayushchey sredy (na primere Belgorodskoy oblasti): avtoref. dis. ... kand. geograf. nauk* [Geoecological assessment of the impact of mining of common minerals on the state of the environment (using the Belgorod region as an example): PhD (Geography) Dissertation Abstract], Belgorod, 2015, 22 p.
20. Zhoglo V.G., Galkin A.N. *Monitoring podzemnykh vod na vodozaborakh i ekologicheskii opasnykh obyektakh yugo-vostoka Belarusi* [Groundwater monitoring at water intakes and environmentally hazardous sites in the southeast of Belarus], Vitebsk: VGU imeni P.M. Masherova, 2008, 161 p.

Поступила в редакцию 10.04.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: [galkin-alexandr@yandex.ru](mailto:galkin-alexandr@yandex.ru) — Галкин А.Н.

# МИГРАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕНДРОФИЛЬНЫХ ПТИЦ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

С.А. Дорофеев, Е.В. Шаврова

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

*Миграция птиц представляет собой сложный процесс, где ключевую роль играют остановки для восстановления энергетических запасов. Для воробьиных, в отличие от других групп, характерна гибкость в выборе мест остановок. События на миграции напрямую влияют на выживаемость и успех последующего размножения, что подчеркивает важность их изучения.*

*Цель — установить видовую и таксономическую структуру дендрофильных птиц в период весенней миграции на стационаре «Городище» за 2018–2024 гг.*

**Материал и методы.** Исследование выполнялось на стационаре «Городище» (Городокский район Витебской области) в апреле — мае 2018–2024 гг. Отлов птиц осуществлялся 21 паутинной сетью, расставленной в различных типах древостоев. Обработка и кольцевание проводились согласно международным стандартам с фиксацией видовой принадлежности, морфологических параметров, пола и жирности.

**Результаты и их обсуждение.** Всего за период исследований отловлено и окольцовано 1475 особей 51 вида. Доминирующим видом во все годы стала зарянка — 418 особей (28,34%). Второе место по численности занимает зяблик — 312 особей (21,15%). Уловистость по годам существенно варьировала: пик пришелся на 2020 г. (313 особей), минимум — на 2018 г. (131 особь). Таксономическая структура представлена преимущественно воробьинообразными (46 видов; 90,20%). Анализ показал, что основу населения формируют дендрофильные виды таежного и широколиственного фаунистических комплексов. Повторные отловы составили лишь 1,08%, что подтверждает низкую индивидуальную верность местам остановок у воробьиных.

**Заключение.** В период весенней миграции на стационаре «Городище» отмечено высокое видовое разнообразие дендрофильных птиц (51 вид) при значительной флуктуации численности по годам. Полученные данные подчеркивают ключевую роль территории в качестве миграционной остановки для птиц региона.

**Ключевые слова:** миграция, дендрофильные птицы, кольцевание, уловистость, видовая структура, Белорусское Поозерье.

# MIGRATION ACTIVITY OF DENDROPHILOUS BIRDS IN THE SPRINGTIME IN BELARUSIAN POOZERIYE (LAKE DISTRICT)

S.A. Dorofeyev, E.V. Shavrova

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

*Bird migration is a complicated process where the key role is played by stops for energy restoration. For Passerine birds, unlike other groups, flexibility in selecting places for stops is characterized. Migration events directly influence the survivability and further breeding success which stresses the significance of their study.*

*The purpose is to identify species and taxonomic structure of dendrophilous birds during spring migration at Gorodishche station between 2018 and 2024.*

**Material and methods.** The study was conducted at Gorodishche station (Gorodok District of Vitebsk Region) in April — May 2018–2024. Birds were caught with 21 spider nets placed in different types of forest stand. Treatment and ringing was done according to international standards with fixing species, morphological parameters, gender and fat content.

**Findings and their discussion.** During the study period total 1475 specimens of 51 species were caught and ringed. The dominating species was robin during all the years — 418 specimens (28,34%). Second in the number was finch — 312 specimens (21,15%). Catching was different depending on the year: the peak was in 2020 (313 specimens), the minimum was in 2018 (131 specimens).

The taxonomic structure was presented primarily by Posserine birds (46 species; 90,20%). Analysis showed that the basis of the population is formed by dendrophilous species of taiga and broad leaf fauna complexes. Repeat catchings were only 1,08%, which confirms Posserine low individual fidelity to places of stops.

**Conclusion.** During spring migration at Gorodishche station big species diversity of dendrophilous birds (51 species) was identified with considerable fluctuation depending on the year. The obtained data stress the key role of the area as a migration stop for the birds of the region.

**Key words:** migration, dendrophilous birds, ringing, catching, species structure, Belarusian Poozeriye (Lake District).

**М**ногие птицы ежегодно совершают дальние миграционные перемещения. Под миграцией зачастую подразумевают сам перелет, однако анализ имеющихся данных показывает, что роль остановок очень велика, как с точки зрения распределения времени, так и баланса энергии [1]. На остановках пополняется запас энергии, необходимый птицам для следующего миграционного броска [2].

В силу особенностей биологии мигрирующие птицы в течение годового жизненного цикла сталкиваются с совершенно разными экологическими условиями, к которым они должны быть адаптированы [3]. Воробьиные отличаются от других групп птиц тем, что могут останавливаться практически в любом, биотопически подходящем, месте на трассе миграции, а не привязываться к определенным районам остановок. Иерархическая цепочка событий при выборе биотопа мигрантами выглядит следующим образом: посадка, перераспределение по биотопам, занятие индивидуального участка и его эксплуатация [1].

События, происходящие во время миграции, оказывают непосредственное влияние на успех будущего размножения и численность птиц. У некоторых видов воробьиных птиц из категории дальних мигрантов уровень смертности во время миграции в несколько раз превышает таковой в репродуктивный период и на местах зимовки. Эти факты указывают на важность периода сезонных миграций в регуляции численности перелетных видов птиц [3].

Цель работы — установить видовую и таксономическую структуру дендрофильных птиц в период весенней миграции на стационаре «Городище» за 2018–2024 гг.

**Материал и методы.** В данной работе проведен анализ данных, собранных на станции кольцевания птиц «Городище» Городокского района Витебской области в период с первой декады апреля по первую декаду мая 2018–2024 гг.

Сети для отлова птиц (21) были расставлены в местах массового пролета птиц: большая часть располагалась в лиственных (осина, береза) насаждениях возрастом до 20 лет, а также на участке смешанного (70 лет) леса и в саду с усыхающим и фаутным древостоем. Обход сетей и извлечение птиц осуществлялись с 7:00 до 21:00 ежедневно каждые 1–1,5 часа (в зависимости от погодных условий), после чего производилась прижизненная обработка и снятие основных морфометрических параметров. Все данные об окольцованной птице — вид, возраст, пол (при возможности), жирность (по шкале от 1 до 5), формула крыла, длина крыла (мм), длина хвоста (мм) и масса (г), а также дата и время отлова определялись и записывались в журнал кольцевания согласно международным стандартам the SEEN [4].

**Результаты и их обсуждение.** Всего в период весенней миграции 2018–2024 гг. на стационаре «Городище» было отловлено и окольцовано 1475 особей 51 вида птиц (табл. 1).

Таблица 1

**Число окольцованных птиц на стационаре «Городище»  
в период весенней миграции за 2018–2024 гг.**

№ п/п	Вид	Количество отловленных особей						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Белая трясогузка	1	—	—	2	1	—	4
2	Белобровик	2	—	3	4	8	2	2
3	Большая синица	5	6	6	—	6	8	9
4	Белоспинный дятел	1	—	2	—	—	—	—
5	Буроголовая гаичка	—	1	1	—	—	2	3
6	Вертишейка	1	—	1	1	1	—	1
7	Восточный соловей	3	—	—	—	—	1	1

8	Воробьиный сычик	—	—	1	—	—	1	—
9	Вьюрок	—	2	—	7	—	—	—
10	Горихвостка-чернушка	—	—	—	—	—	—	1
11	Длиннохвостая синица	2	—	4	—	5	4	2
12	Дубонос	—	—	—	—	—	—	1
13	Желтоголовый королек	1	3	18	—	3	3	2
14	Зарянка	22	77	128	53	65	42	31
15	Зеленая пересмешка	2	—	—	—	—	—	1
16	Зеленая пеночка	—	—	—	—	—	1	—
17	Зеленушка	2	—	—	4	1	2	3
18	Зяблик	9	25	24	171	24	37	22
19	Клест-еловик	—	—	—	1	—	1	—
20	Крапивник	1	3	7	3	12	2	4
21	Лазоревка	1	2	2	3	3	2	2
22	Лесная завирушка	7	9	8	18	8	9	5
23	Лесной конек	—	—	—	—	—	1	—
24	Луговой чекан	—	1	—	—	1	—	—
25	Малый дятел	—	—	—	—	—	—	1
26	Московка	2	2	2	1	1	—	—
27	Мухоловка-пеструшка	14	4	24	2	9	6	—
28	Обыкновенная горихвостка	—	3	3	—	—	—	—
29	Обыкновенная овсянка	1	—	—	—	—	—	1
30	Обыкновенный скворец	—	—	—	—	1	—	—
31	Обыкновенная пищуха	—	—	3	—	2	—	—
32	Певчий дрозд	4	7	7	6	10	7	10
33	Пеночка-весничка	6	—	3	—	1	1	3
34	Пеночка-теньковка	11	8	8	—	14	7	14
35	Пеночка-трещотка	—	1	1	—	—	—	—
36	Пестрый дятел	—	1	1	4	—	3	4
37	Пепельная чечетка	—	1	—	—	—	—	—
38	Поползень	—	1	1	—	2	1	1
39	Рябинник	—	—	—	1	—	—	—
40	Садовая славка	4	—	—	—	—	—	—
41	Серая славка	1	—	—	—	—	—	1
42	Славка-завирушка	4	—	—	—	—	—	—
43	Сойка	1	—	1	—	1	2	—
44	Снегирь	4	5	16	2	—	9	13
45	Хохлатая синица	—	—	—	—	1	—	—
46	Черноголовая гаичка	1	—	1	1	1	1	2
47	Черноголовая славка	2	1	1	—	1	1	4
48	Черноголовый щегол	—	—	1	—	—	—	—
49	Черный дрозд	6	8	14	12	13	8	21
50	Черныш	1	—	—	—	—	—	—
51	Чиж	9	17	21	14	1	1	3
<b>Число особей</b>		<b>131</b>	<b>188</b>	<b>313</b>	<b>310</b>	<b>196</b>	<b>165</b>	<b>172</b>
<b>Число видов</b>		<b>31</b>	<b>23</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>30</b>

Доминирующим видом за все годы исследования является зарянка — в период весенней миграции отловлено и окольцовано 418 особей (28,34% от всех помеченных птиц). Зарянка относится к группе мигрантов на средние дистанции и представляет собой один из самых многочисленных насекомоядных видов воробьиных птиц Европы [3]. Весной взрослые зарянки и особи первого года жизни мигрируют в сходные сроки. Массовая весенняя миграция вида для территории средней полосы Российской Федерации протекает с конца марта по конец апреля, медианная дата весенней миграции

для обеих возрастных групп приходится на 18 апреля [3]. В рамках нашей работы прослеживаются следующие даты начала прилета: 6 апреля (2024 г.), 9 апреля (2023 г.), 10 апреля (2022 г.), 11 апреля (2020 г., 2021 г.), 14 апреля (2018 г., 2019 г.). Наибольшее число особей было отловлено в утренние (7:00–9:00) и вечерние (18:00–20:00) часы, что обусловлено миграционными особенностями вида. Практически во всей Европе в весенний период зарянки мигрируют с низкими энергетическими резервами. Это также отражает основную стратегию миграции данного вида птиц над сушей: 1) ночные миграционные броски небольшой протяженности, 2) миграция в форме серии полетов в течение нескольких ночей подряд с остановками в течение одного дня между полетами и 3) продолжительные остановки у птиц, полностью израсходовавших энергетические резервы [3].

Вторым по числу отловленных особей является зяблик — 312 (21,15%). Для средней полосы России сроки прилета зяблика находятся в границах с 9 марта по 7 апреля, медиана — 24 марта [5]. По нашим данным, сроки начала прилета зяблика следующие: 7 апреля (2018 г., 2024 г.), 9 апреля (2023 г.), 11 апреля (2020 г., 2021 г., 2022 г.), 13 апреля (2019 г.). Температурные условия оказывают большое влияние на сроки прилета: в годы с теплой весной прилет птиц начинается значительно раньше, что подтверждается данными по сопредельным регионам [5].

Уловистость по годам характеризуется значительной флуктуацией.

В 2018 году в период весенней миграции была отловлена и окольцована 131 особь (8,88% от общего числа) 31 вида птиц. Доминировали зарянки — 22 особи (16,79%). Достаточно высокая температура атмосферного воздуха в апреле (+12°С днем и +9°С ночью) способствовала раннему появлению славковых — серой, садовой, черноголовой славки и славки-завирушки; за 2018 год отловлено наибольшее для временных рамок исследования число видов (4) и особей (11) данного рода. Представители отряда воробьинообразные — 29 видов — составляют 90,32% от общего числа окольцованных видов птиц, дятлообразные — 2 (6,45%), ржанкообразные — 1 (3,23%). Большинство помеченных птиц относится к семейству славковые — 6 видов (19,35%), вьюрковые, синициевые — по 4 (12,90%), дроздовые, мухоловковые — по 3 (9,68%), дятловые — 2 (6,45%), бекасовые, врановые, длиннохвостые синицы, завирушковые, камышовковые, корольковые, крапивниковые, овсянковые, трясогузковые — по 1 (3,23% от общего числа). Среди окольцованных за весну 2018 года птиц доминируют представители европейского широколиственного леса — 17 видов (54,84%). Фаунистический комплекс лесной палеарктической фауны представлен 9 видами (29,03%), таежный — 4 (12,90%), гипоарктический — 1 (3,23%). Подавляющее большинство видов окольцованных птиц — 26 (83,87%) принадлежат к экологической группе дендрофилов; виды открытых стадий — 3 (9,67%), водные и околоводные виды — 2 (6,45%).

Весной 2019 года отловлены и окольцованы 188 особей (12,75%) 23 видов птиц, среди которых преобладала зарянка — 77 особей (40,96%). Представители отряда воробьинообразные — 22 вида — составляют 95,65% от общего числа окольцованных за данный период видов птиц, дятлообразные — 1 (4,35%). Большинство помеченных птиц относится к семейству вьюрковые — 5 видов (21,74%), мухоловковые, синициевые — по 4 (17,39%), славковые — 3 (13,04%), дроздовые — 2 (8,70%), дятловые, завирушковые, крапивниковые, корольковые, овсянковые — по 1 виду (4,35% от общего числа видов). Более половины среди отловленных и окольцованных за весну 2019 года птиц составляют представители европейского широколиственного леса — 12 видов (52,17%). Фаунистический комплекс лесной палеарктической фауны представлен 7 видами (30,43%), таежный — 4 (17,39%). Подавляющее большинство видов окольцованных птиц — 20 (86,96%) принадлежит к дендрофильной экологической группе; виды открытых стадий — 3 (13,04%).

В 2020 году в весенний период помечены 313 особей (21,22% от общего числа) 30 видов дендрофильных воробьиных птиц; среди них всецело доминировала зарянка — 128 особей (40,89%). За данный год окольцовано максимальное для временных рамок исследования число снегирей — 16 особей и желтоголовых корольков — 18, что можно связать с достаточно поздним наступлением устойчиво высокой среднесуточной температуры (+8,5°С). Представители отряда воробьинообразные — 26 видов — составляют 86,67% от общего числа окольцованных за указанный период видов птиц, дятлообразные — 3 (10,00%), совообразные — 1 (3,33%). Большая часть помеченных птиц относится к семействам вьюрковые и синициевые — по 4 вида (13,33%); отловлены представители семейств дроздовые, мухоловковые, пеночковые, дятловые — по 3 вида (10,00%), семейства врановые, длиннохвостые синицы, завирушковые, корольковые, крапивниковые, пищуховые, поползневые, славковые, совиные представлены 1 видом каждое (3,33%). Среди отловленных и окольцованных за весну 2020 года птиц 12 видов относятся к таежному

комплексу (40,00%), фаунистический комплекс лесной палеарктической фауны представлен 8 видами (26,67%), европейских широколиственных лесов — 7 (23,33%), гипоарктический комплекс — 2 (6,67%), маньчжурский — 1 (3,33%). Подавляющее большинство видов окольцованных птиц — 29 (96,67%) принадлежат к дендрофильной экологической группе; вид открытых станций — 1 (3,33%).

За весенний период 2021 года на станции кольцевания «Городище» отловлено и окольцовано 310 особей (21,02%) 20 видов птиц, среди которых более половины составляли зяблики — 171 особь (55,16%). Погодные условия 2020 и 2021 гг. характеризовались относительной устойчивостью, отсутствием сильного ветра и затяжных осадков, что оказало положительное влияние на ход миграционных процессов. Кроме того, в 2021 году весенний период отличался значительными колебаниями среднесуточной температуры атмосферного воздуха, что сдвинуло миграцию таежных видов на 5–7 дней позднее: в этот год на станции кольцевания «Городище» окольцовано наибольшее за период исследований количество зябликов. Представители отряда воробьинообразные — 18 видов — составляют 90,00% от общего числа окольцованных за данный период видов птиц, дятлообразные — 2 (10,00%). Большинство помеченных птиц относится к семейству вьюрковые — 6 видов (30,00%), синицевые и дроздовые — по 4 (20,00%), мухоловковые, дятловые — по 2 (10,00%), завирушковые, крапивниковые — по 1 виду (5,00% от общего числа видов). Таежный комплекс представлен 9 видами (45,00%), лесной палеарктической фауны — 6 (30,00%), европейских широколиственных лесов — 5 (25,00%). Все 20 видов принадлежат к экологической группе дендрофилов.

В 2022 году отловлены и окольцованы 196 особей (13,29%) 27 видов птиц. Как и в 2018–2020 гг., весной данного года доминировали зарянки — 65 особей. Представители отряда воробьинообразные — 26 видов — составляют 96,30% от общего числа окольцованных за данный период видов птиц, дятлообразные — 1 (3,70%). Большинство помеченных птиц относится к семейству синицевые — 5 видов (18,52%), семейство дроздовые представлено 4 видами (14,82%), мухоловковые, вьюрковые — по 3 (11,11%), пеночковые — 2 (7,41%), врановые, длиннохвостые синицы, дятловые, завирушковые, корольковые, крапивниковые, пищуховые, поползневые, скворцовые, славковые, трясогузковые — по 1 виду (3,70% от общего числа видов). Таежный фаунистический комплекс и лесная палеарктическая фауна включает 9 видов (по 33,33%), комплекс европейских широколиственных лесов — 8 (29,63%), аazonальный — 1 (3,70%). Дендрофильные виды (24) составляют 88,89%, открытых станций (3) — 11,11%.

За весенний период 2023 года помечены 165 особей (11,19%) 28 видов птиц, среди которых численно преобладали зарянки — 42 особи (25,45%) и зяблики — 37 особей (22,42%). Большинство видов относится к отряду воробьинообразные — 26 (92,86%), отряды совообразные и дятлообразные представлены 1 видом каждый (3,57%). Среди отловленных доминируют виды семейства вьюрковые — 5 (17,86%), синицевые включают 4 вида (14,29%), мухоловковые, пеночковые, дроздовые — по 3 (10,71%), врановые, длиннохвостые синицы, дятловые, завирушковые, корольковые, крапивниковые, поползневые, славковые, совиные, трясогузковые 1 вид каждое семейство (3,57%). Таежный комплекс представлен 12 видами (42,86% от всех), лесной палеарктической фауны — 8 (28,57%), европейских широколиственных лесов — 5 (17,86%), маньчжурский — 2 (7,14%), аazonальный — 1 (3,57%). Вцелом доминируют дендрофильные виды — 26 (92,86%), виды открытых станций представлены 2 (7,14%).

Весной 2024 года отловлены и окольцованы 172 особи (11,66%) 30 видов птиц, среди них доминировали зарянки — 31 особь (18,02% от окольцованных за весенний период). Большинство видов относится к отряду воробьинообразные — 27 (90,00%), дятлообразные включает 3 вида (10,00%). Доминируют виды семейства вьюрковые — 5 видов (16,67%), синицевые и дроздовые представлены 4 (по 13,33%), мухоловковые и славковые — по 3 (10,00%), пеночковые и дятловые — по 2 (6,67%), врановые, длиннохвостые синицы, завирушковые, корольковые, крапивниковые, овсянковые, поползневые, трясогузковые 1 видом каждое (по 3,33%). Доминируют представители лесной палеарктической фауны — 10 (33,33%), таежный комплекс представлен 9 (30,00%), фауна европейских широколиственных лесов — 8 (26,67%), аazonальный — 2 (6,67%), средиземноморский — 1 (3,33%). Среди всех видов преобладали дендрофильные — 24 (80,00%), открытых станций — 6 (20,00%).

Мечение птиц также позволяет получить данные об индивидуальной верности местам остановок. По литературным источникам, процент особей, повторно использующих места остановок, в рамках общего числа мигрирующих особей, незначителен [1]. Это подтверждается и в нашем исследовании: за 7 лет в период весенней миграции повторно были отловлены 16 особей, окольцованных на стационаре в прошлые годы, что составляет 1,08% от общего числа мигрантов (табл. 2).

## Индивидуальная верность местам остановок на стационаре «Городище»

Вид	Номер кольца	Дата первичного отлова	Дата повторного отлова
Черноголовая гаичка	КА 51823	21.08.2017	15.04.2018
Длиннохвостая синица	LA 18754	31.08.2017	15.04.2018
Обыкновенная лазоревка	КА 51515	15.04.2017	15.04.2018, 27.04.2019
Черный дрозд	НА 01640	10.04.2015	28.04.2018
Зяблик	КА 51468	08.04.2017	02.05.2018
Черный дрозд	НА 01966	09.04.2016	15.04.2018, 07.04.2019, 16.04.2019
Певчий дрозд	ТА 1936	19.04.2015	24.04.2019
Большая синица	КА 58103	15.04.2019	13.04.2020
Зяблик	КА 58237	30.04.2019	18.04.2020
Малый дятел	NA 02609	19.09.2014	25.04.2020
Зяблик	КА 58107	15.04.2019	29.04.2020
Большая синица	КА 58092	07.04.2019	29.04.2020
Пеночка-теньковка	L 29009	23.04.2022	21.04.2023
Зяблик	КА 88813	17.04.2023	26.04.2024
Зяблик	КА 88835	19.04.2023	13.04.2024
Черный дрозд	НА 14123	11.04.2023	30.04.2024

Таким образом, роль прошлогоднего опыта в выборе конкретного места для миграционной остановки у воробьиных птиц пренебрежимо мала, что подтверждается данными других авторов [1].

**Заключение.** Всего в период весенней миграции 2018–2024 гг. на стационаре «Городище» отловлено и окольцовано 1475 особей 51 вида птиц. Все отловленные и окольцованные на стационаре «Городище» птицы относятся к 3 отрядам. Доминируют представители отряда воробьинообразные — 46 видов (90,20% от общего числа). Отряд дятлообразные представлен 4 видами (7,84%), ржанкообразные — 1 (1,96%).

## ЛИТЕРАТУРА

- Чернецов, Н.С. Миграция воробьиных птиц: остановки и полет / Н.С. Чернецов. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. — 173 с.
- Носков, Г.А. Миграционная активность в годовом цикле птиц и формы ее проявления / Г.А. Носков, Т.А. Рымкевич // Зоологический журнал. — 2008. — Т. 87, № 4. — С. 446–457.
- Цвей, А.Л. Стратегии миграции зарянки (*Erithacus rubecula*) в восточной Прибалтике: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.08 / Цвей Арсений Львович; Зоол. ин-т. Рос. акад. наук. — СПб., 2008. — 24 с.
- Busse, P. Bird Ringing Station Manual / P. Busse, W. Meissner. — Warsaw: De Gruyter Open Ltd., 2015. — 231 p.
- Венгеров, П.Д. Особенности сроков размножения зяблика (*Fringilla coelebs*) и мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca*) в условиях высоких весенних температур / П.Д. Венгеров // Научные ведомости. Серия естественные науки. — 2014. — № 17(188), вып. 28. — С. 76–81.

## REFERENCES

- Chernetsov N.S. *Migratsiya vorobyinykh ptits: ostanovki i polet* [Migration of Poserine Birds: Stops and Flight], M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdani KMK, 2010, 173 p.
- Noskov G.A., Rymkevich T.A. *Zoologicheski zhurnal* [Zoological Journal], 2008, 87(4), pp. 446–457.
- Tsvei A.L. *Strategii migratsii zarianki (Erithacus rubecula) v vostochnoi Pribaltike: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Robin (*Erithacus rubecula*) Migration Strategies in Eastern Baltic Region: PhD (Biology) Dissertation Abstract], SPb., 2008, 24 p.
- Busse, P. Bird Ringing Station Manual / P. Busse, W. Meissner. — Warsaw: De Gruyter Open Ltd., 2015. — 231 p.
- Vengerov P.D. *Nauchnye vedomosti. Seriya yestestvennye nauki* [Scientific Journal. Natural Sciences], 2014, 17(188), 28, pp. 76–81.

Поступила в редакцию 03.04.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: dorofeysa@gmail.com — Дорофеев С.А.

## ДИНАМИКА УСТОЙЧИВЫХ НАРУШЕНИЙ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ, ВЫЗВАННЫХ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИЕЙ

А.А. Чиркин, Е.О. Данченко, О.М. Балаева-Тихомирова, Т.А. Толкачёва  
Учреждение образования «Витебский государственный  
университет имени П.М. Машерова»

*Чернобыльская катастрофа стала символом техногенной катастрофы планетарного масштаба. Последствия для здоровья населения связаны с нецелевыми радиационными эффектами, раком щитовидной железы, другими онкологическими заболеваниями, а также проблемой повышенного риска сердечно-сосудистых заболеваний.*

*Цель статьи — обосновать и представить последовательность развития патологических процессов у человека после воздействия ионизирующей радиации с использованием данных экспериментальных и клинических исследований авторов на протяжении 35 лет.*

**Материал и методы.** В работе описаны экспериментальные и клинические подходы к изучению действия ионизирующей радиации на обмен веществ и развитие патологических процессов.

**Результаты и их обсуждение.** Определены основные этапы патологических и устойчивых нарушений обмена веществ, вызванных ионизирующей радиацией: острый/хронический стресс (радиационное воздействие как физический и психологический стрессор); нецелевые радиационные эффекты; развитие инсулинорезистентности; формирование метаболического синдрома; прогрессирование атеросклероза.

**Заключение.** Патологические процессы после облучения включают этапы от стресса к атеросклерозу. Исследователями рассмотрено биологическое действие радиационного фактора аварии на ЧАЭС и применение ионизирующего излучения в медицине, что ведет к развитию атеросклероза.

**Ключевые слова:** нецелевые радиационные эффекты, окислительный стресс, инсулинорезистентность, метаболический синдром, радиационно-индуцированный атеросклероз.

## DYNAMICS OF PERSISTENT METABOLISM DISORDERS CAUSED BY IONIZING RADIATION

A.A. Chirkin, E.O. Danchenko, O.M. Balayeva-Tikhomirova, T.A. Tolkacheva  
Education Establishment "Vitebsk State P.M. Masherov University"

*Chernobyl disaster has become a symbol of a man-made disaster on a planetary scale. Public health consequences are associated with non-target radiation effects, thyroid cancer, other oncological diseases, and an increased risk of cardiovascular disease.*

*The aim of this article is to substantiate and present the sequence of pathological processes in humans based on the authors' experimental and clinical studies over 35 years following exposure to ionizing radiation.*

**Material and methods.** The article substantiates experimental and clinical approaches to studying the effects of ionizing radiation on metabolism and the development of pathological processes.

**Findings and their discussion.** The main stages of pathological and persistent metabolic disorders caused by ionizing radiation are identified: acute/chronic stress (radiation exposure as a physical and psychological stressor); non-target radiation effects; development of insulin resistance; development of metabolic syndrome; progression of atherosclerosis.

**Conclusion.** Pathological processes after irradiation include stages from stress to atherosclerosis. The article examines the biological effects of the radiation factor from Chernobyl accident and the use of ionizing radiation in medicine, which leads to the development of atherosclerosis.

**Key words:** non-target radiation effects, oxidative stress, insulin resistance, metabolic syndrome, radiation-induced atherosclerosis.

**Н**а основании результатов 35-летней работы по изучению действия радиационного фактора на организмы животных и человека предложена следующая последовательность этапов развития патологических и устойчивых нарушений обмена веществ, вызванных ионизирующей радиацией: острый/хронический стресс (радиационное воздействие как физический и психологический стрессор) → нецелевые радиационные эффекты → развитие инсулинорезистентности (нарушение чувствительности тканей к инсулину) → формирование метаболического синдрома (комплекс метаболических нарушений, связанных с инсулинорезистентностью) → прогрессирование атеросклероза (сосудистые осложнения). На первом этапе происходит прямое радиационное повреждение эндотелия сосудов и паренхиматозных органов, связанное с окислительным стрессом и хроническим воспалением (повышение концентрации провоспалительных цитокинов). Далее следуют дисфункция вегетативной нервной системы и нейроэндокринные нарушения, ведущие к развитию инсулинорезистентности, и происходит воспалительная инфильтрация жировой ткани. На третьем этапе развивается метаболический синдром. Об этом свидетельствуют выявление компонентов метаболического синдрома у ликвидаторов и лиц, пострадавших от аварии на ЧАЭС: дислипидемия (повышение уровня триглицеридов, ЛПНП), артериальная гипертензия, абдоминальное ожирение и гипергликемия/нарушение толерантности к глюкозе. Завершает цепь патологических изменений ускоренное развитие атеросклероза: прямое повреждение эндотелия с потерей антитромбогенных свойств, активация провоспалительных путей (NF-κB, адгезивные молекулы), ускоренное старение сосудов (теломерная теория) и нарушение функции прогениторных клеток костного мозга.

**Материал и методы. Экспериментальные исследования.** В 2015 году опубликована фундаментальная статья о радиационно-индуцированном атеросклеротическом поражении аорты у мышей ApoE<sup>-/-</sup> при 300-дневном воздействии внешнего гамма-излучения в двух дозах 1 и 20 мГр/день и суммарными накопленными дозами 0,3 Гр или 6 Гр. У облученных мышей наблюдали повышенный атерогенез аорты по сравнению с контрольной группой того же возраста. Это позволило связать воздействие малой дозой излучения 0,3 Гр со стойким проатерогенным воздействием радиации на сердечно-сосудистую систему. В указанной работе был описан способ моделирования алиментарного облучения с использованием питьевой воды, содержащей <sup>137</sup>Cs в дозах 0, 4, 20 или 100 кБк/л, в течение 6 или 9 месяцев, что соответствовало диапазону концентраций на загрязненных территориях. Установлено, что хроническое воздействие низких доз <sup>137</sup>Cs через пищеварительный тракт ApoE<sup>-/-</sup> мышей повысило стабильность атеросклеротических поражений за счет образования бляшек в аорте [1]. В 2021 году опубликованы результаты совместных исследований кафедры биохимии ВГМУ с Институтом радиобиологии НАН Беларуси под руководством академика Е.Ф. Конопки. Сразу после аварии на ЧАЭС поставлены эксперименты на белых беспородных крысах. Внешнее облучение проводили на гамма-установке УГУ-420 с мощностью дозы 2,7·10<sup>-4</sup> Гр/с в дозах 0,1, 0,25, 0,5, 1,0 и 5,0 Гр. Эффект внутреннего облучения изучен на трех группах крыс: животным группы «цезий» ежедневно в течение 16 дней вводили по 20 кБк <sup>137</sup>Cs (суммарная активность 320 кБк) и в опыт брали спустя 12 месяцев (поглощенная доза внутреннего облучения крыс составила 0,25 Гр); крысам группы «цезий+йод», помимо введения цезия по аналогичной схеме, делали нагрузку <sup>131</sup>I с общей активностью 500 кБк (поглощенная доза внутреннего облучения крыс от <sup>137</sup>Cs 0,25 Гр и щитовидной железы от <sup>131</sup>I — 94,7 Гр) и животных группы «цезий+зона» после нагрузки <sup>137</sup>Cs (320 кБк) вывозили на 1 месяц в 30-километровую зону ЧАЭС (поглощенная доза внешнего облучения равнялась 13 Бэр). После внешнего облучения были выявлены ранние реакции липидтранспортной системы на 3-и сутки, включающие повышение количества общего холестерина в сыворотке крови за счет холестерина ЛПОНП и ЛПНП. Затем следовала фаза адаптационных изменений, для которой характерно увеличение холестерина антиатерогенного класса ЛПВП (0,5–5,0 Гр). К 17-м суткам после облучения развивалась типичная дислипидемия атерогенного характера: повышение уровня общего холестерина, холестерина ЛПНП и снижение холестерина ЛПВП. Таким образом, экспериментальные данные указывали на возможность проатерогенного действия радиационного фактора [2].

**Клинические наблюдения.** В этой же статье были приведены данные о признаках проатерогенного действия ионизирующей радиации на человека [2]. В частности, проф. А.Н. Стожаров и А.Р. Аветисов установили, что у лиц, проживающих на территории с плотностью загрязнения по <sup>137</sup>Cs более 555 кБк/м<sup>2</sup>, были найдены проатерогенные изменения в показателях транспорта липидов крови.

За счет уменьшения концентрации ХС ЛПВП у работающих в 30-километровой зоне выявлено достоверное увеличение индекса атерогенности в 1,56 раза. У работников, проживающих на территории с плотностью загрязнения по  $^{137}\text{Cs}$ , превышающей  $185 \text{ кБк/м}^2$ , заболеваемость ИБС была на 30% выше, чем у живущих на менее загрязненных территориях. В результате действия радиационно-экологических факторов у людей формировались атерогенные типы дислипидемий. Под руководством проф. А.А. Чиркина был осуществлен мониторинг состояния здоровья ликвидаторов, проживающих в Витебской области. Наблюдалось 1200 ликвидаторов группы 1.1 в интервале 1993–2003 гг. Выявлены изолированная гиперхолестеролемиа (до 1997 года) и изолированная гипертриглицеридемиа (1999–2003 годы). У 42% ликвидаторов найдены изменения структурно-функционального состояния щитовидной железы. Через 13 лет после аварии у 61% обследованных ликвидаторов не обнаружено изменений в системе транспорта липидов, но у 15% ликвидаторов зарегистрирована гипо-альфа-холестеролемиа. Этот тип дислипидемии выявлялся среди населения загрязненных радионуклидами территорий и был отнесен к факторам риска радиационно-индуцированного атеросклероза. Используя оригинальный алгоритм лабораторного анализа метаболического синдрома, удалось показать, что в группу риска может входить до 15% ликвидаторов. По скорости развития метаболического синдрома обследованные мужчины были распределены в следующей последовательности: ликвидаторы аварии на Чернобыльской атомной станции (1986 год) > постоянные жители г. Витебска > участники боевых действий в Афганистане (1986 год). У ликвидаторов признаки метаболического синдрома проявлялись быстрее в среднем на 10 лет.

**Результаты и их обсуждение.** Комплекс описанных выше исследований позволил в данной статье представить наиболее вероятные этапы развития радиационно-экологического атеросклероза.

### **Радиационно-индуцированные нецелевые эффекты**

Термин «нецелевые радиационно-индуцированные патологические процессы» (или нецелевые эффекты облучения) в радиобиологии и радиационной медицине означает биологические реакции, которые возникают в клетках и тканях, не подвергшихся прямому воздействию ионизирующего излучения, но находящихся в одном организме с облученными клетками. Это кардинально отличается от классической парадигмы радиобиологии, согласно которой поражение ДНК происходит исключительно в треках частиц (то есть в клетках, через которые прошло излучение).

Рассмотрим основные эффекты. *Эффект свидетеля* — клетки, не задетые излучением (не испытывавшие ни одного события ионизации), ведут себя так, как будто их облучили. Это связано с тем, что облученные клетки выделяют во внеклеточную среду сигнальные молекулы — активные формы кислорода (АФК), цитокины (например, интерлейкин-6, интерлейкин-8), фактор некроза опухоли (TNF- $\alpha$ ) и специфические белки. Они передаются через щелевые контакты между клетками, через среду (кровь или межклеточную жидкость). Последствия для необлученных клеток-свидетелей проявляются в виде повышения частоты мутаций, образования микроядер (маркеров хромосомной нестабильности), снижения выживаемости, апоптоза, изменения экспрессии генов. *Радиационно-индуцированная геномная нестабильность (РИГН)* — состояние, при котором повышенная частота мутаций и хромосомных aberrаций наблюдается в потомстве клеток спустя много поколений после облучения. Это означает, что нестабильность может передаваться по наследству в ряду клеточных делений, т.е. облученная клетка дает начало целому клону клеток с нарушенным геномом, что повышает риск злокачественной трансформации. Доказано, что сигналы от облученных клеток могут индуцировать геномную нестабильность в клетках-свидетелях, даже если те не были облучены. *Системные эффекты и эффект дальнего действия* — это наиболее широкое понятие, включающее влияние облучения локального участка на удаленные органы и ткани через регуляторные системы организма. Облучение (особенно головы) может влиять на нейроэндокринную регуляцию, что приводит к изменению гомеостаза в периферических органах, например, когнитивные нарушения могут быть связаны с развитием воспаления в необлученных отделах мозга. Повреждение гипофиза или щитовидной железы вызывает каскад гормональных сбоев во всем организме. Облучение грудной клетки опасно не только в связи с поражением сосудов сердца. К неблагоприятным последствиям можно отнести процессы системного воспаления, повышающие риск атеросклеротического поражения в периферических артериях.

Нецелевые радиационные эффекты основаны на двух механизмах. К первому относят окислительный стресс, характеризующийся образованием активных форм кислорода и оксида азота в облученных

клетках, которые могут диффундировать на небольшие расстояния (эффект свидетеля). Второй механизм связан с биохимическими и физиологическими процессами, вызывающими долгосрочные изменения в циркулирующих клетках кровеносного русла или лимфатических сосудах (системный эффект). Кроме того, в кровеносное русло и лимфу выделяются провоспалительные цитокины (IL-1, IL-6, TNF- $\alpha$ ), действующие как медиаторы воспаления, что формирует провоспалительный фон пролонгированного типа во всем организме. Наибольшее патогенетическое, а в ряде случаев инициирующее значение в развитии пострадиационных изменений играют циркулирующие экзосомы и микровезикулы, выделенные облученными клетками в виде микроскопических пузырьков, содержащих фрагменты ДНК, РНК и белков. Эти везикулы поглощаются здоровыми клетками в других частях тела, и их компоненты запускают некоторые патологические процессы.

Концепция нецелевых эффектов широко используется при радиотерапии, поскольку даже очень малые дозы радиации, не подавляющие функционирование клеток прямым физико-химическим воздействием, могут запускать патологические биохимические процессы в соседних клетках. Лучевая терапия — основа для комбинирования облучения с иммунотерапией, что усиливает поражение метастазов и уменьшает негативные системные воспалительные реакции. Радиационная защита требует поиска средств, блокирующих не только прямое повреждение ДНК, но и передачу сигналов опасности от облученных клеток к здоровым [3].

Лучевая терапия (радиотерапия) — это метод лечения рака, использующий ионизирующее излучение для повреждения ДНК раковых клеток, остановки их роста и уничтожения, что приводит к уменьшению опухоли или ремиссии. Цель радиотерапии — повредить ДНК раковых клеток, которые делятся быстрее здоровых, что делает их более чувствительными к радиации. Обычно применяют рентгеновские лучи, гамма-лучи, электроны, тяжелые частицы (протоны, нейтроны). Результаты эпидемиологических исследований последних десятилетий свидетельствуют о повышенном риске развития атеросклеротических повреждений сосудов у лиц, подвергавшихся профессиональному, техногенному и медицинскому облучению. Общая смертность, связанная с радиацией, примерно вдвое выше той, которая в настоящее время оценивается на основе анализа только по радиотерапии онкологических заболеваний и находится в пределах от 4,2 до 5,6%/Зв для этой группы населения [4]. Считается, что пороговой дозой, при которой отсутствуют клинически значимые радиационные повреждения тканей, является 100 мГр. Следует отметить, что повышенная заболеваемость психическими расстройствами в первый год после катастрофы на ЧАЭС составляла около 20% [5]. Выявлен кумулятивный эффект многократных стрессоров (радиация, эвакуация, стигматизация). Этот комплексный стресс создает «почву» для последующих метаболических нарушений через активацию воспалительных путей и нейроэндокринных нарушений.

#### **Природа стресса при радиационном воздействии**

Ионизирующее излучение вызывает: 1) прямое повреждение ДНК с образованием двунитевых разрывов, активизирующих сигнальный путь p53-ATM/ATR; 2) параллельно формируется окислительный стресс через радиолиз воды, приводящий к образованию активных форм кислорода (гидроксильный радикал, супероксидный анион-радикал, пероксид водорода, синглетный кислород). Вышеперечисленные процессы инициируют переокисление липидов мембран, включая мембраны митохондрий. Образуются клеточные и системные реакции: активация стрессовых киназ JNK, p38 MAPK, IKK $\beta$ , которые связаны с развитием инсулинорезистентности, дисфункцией митохондрий и нарушениями окислительного фосфорилирования. Эти процессы участвуют в формировании синдрома системного воспалительного ответа, возможного даже при низких дозах облучения.

В понимании инициирующих механизмов повреждающего действия ионизирующей радиации важную роль играют два фундаментальных процесса: эпигенетическая регуляция без нарушения нуклеотидного состава ДНК и сигнальный путь cGAS-STING. Эти инициирующие механизмы являются ключевыми, связывающими радиационное воздействие с развитием атеросклероза. Ионизирующее излучение вызывает долгосрочные изменения в метилировании ДНК без изменения ее нуклеотидных последовательностей. Стойкая активация генов, ответственных за адгезию лейкоцитов к эндотелию (например, CD44), способствует хроническому воспалению. Попадающая в цитоплазму при действии радиации фрагментированная *свободная ДНК* (ядерная или митохондриальная) активирует фермент cGAS (циклическая GMP-AMP-синтаза), что запускает весь сигнальный каскад cGAS-STING. Активированная

cGAS синтезирует вторичный мессенджер цАМФ (cGAMP). cGAMP связывается с белком-стимулятором интерфероновых генов STING в мембране эндоплазматического ретикулума. Затем активированный комплекс STING перемещается в аппарат Гольджи, где запускает каскад с участием TBK1, который фосфорилирует транскрипционные факторы IRF3 и TBK1. TBK1 (TANK-binding kinase 1) — это многофункциональная серин/треониновая протеинкиназа, играющая ключевую роль во врожденном иммунитете, воспалении, аутофагии и выживании клеток. Она активирует NF-κB и IRF3 пути, способствуя выработке интерферонов. Мутации и аномальная активность TBK1 связаны с БАС (боковым амиотрофическим склерозом), аутоиммунными заболеваниями и раком. Фосфорилированные IRF3 и NF-κB перемещаются в ядро и запускают транскрипцию генов интерферонов I типа и других провоспалительных цитокинов (например, IL-6, TNF-α). Ингибиторы TBK1 рассматриваются как потенциальные препараты для лечения рака и воспалительных заболеваний.

Экспрессия белков cGAS-STING пути усиливается при увеличении дозы облучения: наиболее сильный эффект наблюдается через неделю после облучения дозой 10 Гр. В исследованиях последних лет показано биологическое значение этого пути [6; 7]. Хроническая активация cGAS-STING вследствие накопления поврежденной ДНК служит драйвером системного воспаления при старении и нейродегенеративных заболеваниях. Нарушения в регуляции cGAS-STING пути могут приводить к аутоиммунным заболеваниям. В ядре cGAS инактивируется путем связывания с нуклеосомами или разрушается комплексом CRL5-SPSB3, что предотвращает ложную реакцию на собственную геномную ДНК.

Необходимо учитывать также развитие психоневрологического стресса. Острый период (авария и ликвидация) включал синдром «ожидания облучения» — тревога, вегетативные кризы, посттравматические реакции у эвакуированных и ликвидаторов. Хронический период характеризовался «радиофобией» (хроническая тревога о здоровье, канцерофобия), а также экологической тревогой и трансгенерационной передачей компонентов стресс-реакции.

Хорошо изучены нейроэндокринные оси развития стресса. Активируется гипоталамус-гипофиз-надпочечниковая ось за счет повышения уровня кортизола, нарушения циркадных ритмов и снижения чувствительности глюкокортикоидных рецепторов (глюкокортикоидная резистентность). В симпатoadреналовой системе выявляется повышение уровня катехоламинов, что ведет к сужению сосудов, тахикардии, липолизу. Кроме этого отмечается снижение вагусного тонуса [8].

### **Развитие инсулинорезистентности после радиационного воздействия**

Рассмотрим основные патогенетические механизмы инсулинорезистентности (ИР). Прежде всего отметим прямое повреждение инсулин-чувствительных тканей. В жировой ткани возможны радиационно-индуцированное повреждение адипоцитов и преадипоцитов, а также нарушение дифференцировки мезенхимальных стволовых клеток в адипоциты. Фиброз жировой ткани ведет к снижению ее метаболической пластичности. Для скелетных мышц характерны потеря мышечной массы (радиационная саркопения) и снижение плотности GLUT4-транспортёров в сарколемме. Это нарушает инсулин-стимулированное поглощение глюкозы. В печени развивается радиационный гепатит, который сопровождается нарушением глюконеогенеза. Гиперинсулинемию также вызывает снижение клиренса инсулина печенью.

При воспалительных процессах происходит активация иммунных клеток в жировой ткани. Инфильтрация макрофагами сопровождается сдвигом от M2 к M1-фенотипу. Существенную роль в патогенезе воспаления играют повышение продукции TNF-α, IL-6, MCP-1 и активация NF-κB и JNK путей в адипоцитах. Системное воспаление низкой степени у облученных лиц определяется острой фазой ответа на радиационное повреждение с повышением концентрации CRP и фибриногена.

Окислительный стресс и митохондриальная дисфункция характеризуются накоплением реактивных форм кислорода (ROS) в митохондриях. Повреждение митохондриальной ДНК (особенно чувствительной к радиации) и снижение окислительного фосфорилирования ведут к накоплению липидных промежуточных продуктов (диацилглицеролы, церамиды). Кроме того, активируются серинкиназы (JNK, IKKβ, PKCθ), фосфорилирующие IRS-1 по сериновым остаткам. IRS-1 (субстрат рецептора инсулина 1) — это ключевой внутриклеточный белок-адаптер (массой ~180 кДа), играющий центральную роль в передаче сигналов инсулина и ИФР-1 (инсулиноподобного фактора роста). Он активируется рецепторами, стимулирует перенос глюкозы в мышцах и жировой ткани, а также участвует в росте клеток и метаболизме.

Эндокринные нарушения характеризуются снижением уровня адипонектина (инсулин-сенситизирующий гормон), повышением концентрации лептина и развитием лептинорезистентности, увеличением количества резистина, а также нарушением оси инсулиноподобных факторов роста (снижение IGF-1 при повышении IGFBP-1; возможно прямое повреждение  $\beta$ -клеток поджелудочной железы).

IGFBP-1 (связывающий инсулиноподобный фактор роста) — это печеночный белок, регулирующий активность IGF-I и IGF-II, что влияет на рост, обмен веществ и пролиферацию клеток. Уровень IGFBP-1 регулируется инсулином, при этом низкие концентрации связаны с ожирением, а высокие — с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Следует также учитывать изменение микробиома кишечника. Развивается радиационно-индуцированный дисбактериоз с повышением проницаемости мембран кишечника, что ведет к эндотоксемии. Активация TLR4-рецепторов определяет развитие системного воспаления.

Динамика развития ИР может включать три фазы: ранняя фаза (месяцы) → острое воспаление, окислительный стресс; промежуточная фаза (1–5 лет) → формирование устойчивой формы ИР и поздняя фаза (5 и более лет) → манифестация СД 2 типа и сосудистые осложнения.

Анализ литературы показал зависимость развития ИР от дозы облучения. В некоторых исследованиях подтверждена линейная зависимость: низкие дозы (0,1–0,5 Гр) вызывают ИР через воспалительные механизмы; высокие дозы (>1 Гр) оказывают прямое повреждение тканей. Антиоксиданты (мелатонин, N-ацетилцистеин) в экспериментах снижают ИР, метформин обладает радиопротекторными свойствами, физическая активность важна для борьбы с радиационной саркопенией. Механизмы ИР при радиационном воздействии носят многофакторный характер, сочетая прямое повреждение тканей, хроническое воспаление и системный окислительный стресс, что создает уникальный патогенетический профиль, отличающийся от «классической» ИР при ожирении [9–11].

#### **Формирование метаболического синдрома после радиационного воздействия**

Метаболический синдром (МС) после радиационного воздействия представляет собой устойчивое патологическое состояние, при котором первичные нарушения (ИР, дислипидемия) закрепляются через хроническое воспаление, оксидативный стресс и эндокринные сдвиги, создавая порочный круг. Отметим основные компоненты радиационно-индуцированного МС. Центральное (абдоминальное) ожирение формируется путем радиационно-индуцированного перераспределения жира: уменьшение периферических депо, относительное увеличение висцерального жира. Наблюдается фиброз жировой ткани, что снижает ее метаболическую пластичность. При этом развивается дисфункция адипоцитов, которая связана с нарушением липолиза/липогенеза и секреторной функции. Формируется дислипидемия специфического профиля за счет повышения концентрации триглицеридов и малых плотных ЛПНП на фоне снижения уровня ЛПВП с нарушением их антиоксидантной функции, а также появления модифицированных липопротеинов (окисленных, гликозилированных). Артериальная гипертензия сосудистого генеза характеризуется эндотелиальной дисфункцией (снижение NO, повышение эндотелина-1). Возможны реноваскулярные изменения (фиброз почечных артериол) и повышение жесткости сосудистой стенки. Нарушения углеводного обмена включают ИР, изменение секреции инсулина при длительном воздействии и дисгликемию натощак и после приема пищи [12].

К основным механизмам устойчивых нарушений обмена веществ относятся [2; 13; 14] эпигенетическое репрограммирование (ДНК-метилирование генов, связанных с метаболизмом (PPAR $\gamma$ , адипонектин), модификации гистонов в промоторах провоспалительных генов. Важную роль играет иммунометаболическая перестройка (формирование метаболической памяти иммунных клеток (макрофагов, Т-лимфоцитов), активация инфламмосомы NLRP3 в адипоцитах и иммунных клетках. В последние годы интенсивно исследуются нарушение биогенеза митохондрий, накопление поврежденных митохондрий, транспорт митохондрий с нарушенной структурой в составе внеклеточных везикул. Также отмечается нарушение функции гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, циркадных ритмов (мелатонин, кортизол) и центральная лептинорезистентность.

#### **Ускоренное развитие атеросклероза и органических осложнений**

Рассмотрим основные механизмы ускоренного развития атеросклероза. Риск напрямую зависит от полученной дозы облучения (> 5 Гр считается пороговой) и объема облученной ткани [13; 14]. Радиационно-индуцированная эндотелиальная дисфункция связана с прямым повреждением эндотелиальных клеток и потерей их антитромбогенных свойств за счет снижения продукции NO через повреждение

eNOS и увеличения уровня асимметричного диметиларгинина (ADMA); повышением вазоконстрикторных факторов эндотелина-1, ангиотензина II и активацией адгезивных молекул VCAM-1, ICAM-1 и E-селектина. Модификация липопротеинов в условиях окислительного стресса определяется образованием окисленных ЛПНП — основного фактора атерогенеза, гликооксидацией липопротеинов при сопутствующей гипергликемии и нарушением обратного транспорта холестерина ЛПВП. Хроническое воспаление сосудистой стенки зависит от инфильтрации моноцитами/макрофагами с формированием пенистых клеток, активации NLRP3-инфламмосомы в макрофагах и эндотелиальных клетках, повышении концентрации IL-1 $\beta$ , IL-6, TNF- $\alpha$  в сосудистой стенке и неканонического воспаления через cGAS-STING путь (ответ на цитозольную ДНК). Нарушения гемостаза и фибринолиза определяются повышением количества тканевого фактора (TF) на поверхности эндотелия, снижением активности тканевого активатора плазминогена (tPA), увеличением концентрации ингибитора активатора плазминогена-1 (PAI-1) и гиперкоагуляцией и гипофибринолизом.

Радиационно-индуцированное старение сосудов обусловлено преждевременным клеточным старением (сенесценцией) эндотелиальных и гладкомышечных клеток, укорочением теломер сосудистых клеток, секреторным фенотипом, ассоциированным со старением (SASP) и потерей регенеративного потенциала за счет истощения EPC (эндотелиальных клеток-предшественников). Периваскулярное воспаление и фиброз связаны с активацией перицитов и фибробластов, с нарушением соотношения коллагена I/III типов и повышением жесткости сосудистой стенки. Органоспецифические сосудистые осложнения, представляющие угрозу жизнедеятельности организма, включают патологические процессы и заболевания:

- коронарный атеросклероз и ИБС, с ускоренным образованием коронарных бляшек с более диффузным поражением и кальцификацией и высоким риском нестабильных бляшек с тонкой фиброзной покрышкой;
- цереброваскулярные заболевания (в частности, ускоренный церебральный атеросклероз);
- периферический атеросклероз с поражением артерий нижних конечностей, раннее развитие перемежающейся хромоты и высокий риск критической ишемии;
- почечную ангиопатию с ишемической нефропатией, гипертензивным поражением почек и быстрым прогрессированием до ХБП.

Временная динамика прогрессирования атеросклероза:

фаза 1 (0–5 лет): эндотелиальная дисфункция, начальные метаболические нарушения;

фаза 2 (5–10 лет): формирование жировых полосок, увеличение ТКИМ (толщина комплекса интимамедиа) — это ультразвуковой маркер раннего атеросклероза, измеряющий толщину двух внутренних слоев сонных или бедренных артерий. Норма обычно составляет менее 0,9–1 мм. Увеличение ТКИМ >0,85 мм указывает на повышенный риск сердечно-сосудистых заболеваний (инфаркт, инсульт);

фаза 3 (10–15 лет): развитие фиброзных бляшек, клинические проявления;

фаза 4 (15 и более лет): осложненные бляшки, острые сосудистые нарушения.

**Заключение.** Радиационно-индуцированный атеросклероз представляет собой уникальную модель *ускоренного сосудистого старения*, где классические факторы риска (дислипидемия, гипергликемия, гипертензия) действуют на фоне персистирующего воспаления сосудистой стенки, дисфункции репаративных механизмов, усиленного клеточного старения и нарушения регуляции сосудистого тонуса. Это объясняет более агрессивное течение по сравнению с обычным атеросклерозом, высокую частоту рецидивов сосудистых событий, ограниченную эффективность стандартных подходов. Существует необходимость разработки специализированных алгоритмов ведения таких пациентов. Клиническая значимость: пациенты с радиационным анамнезом требуют пожизненного мониторинга сердечно-сосудистого риска и индивидуализированной агрессивной терапии с момента выявления первых признаков метаболических нарушений, а не после обнаружения клинических осложнений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Acceleration of atherogenesis in ApoE $^{-/-}$  mice exposed to acute or low-dose-rate ionizing radiation / M. Mancuso [et al.] // *Oncotarget*. — 2015. — Vol. 6. — P. 31263–31271.
2. Чиркин, А.А. Концепция радиационно-индуцированного атеросклероза спустя 35 лет после чернобыльской катастрофы / А.А. Чиркин // *Новости медико-биологических наук*. — 2021. — Т. 21, № 2. — С. 89–100.

3. Батян, А.Н. Молекулярная и клеточная радиобиология: учеб. пособие / А.Н. Батян, И.Э. Бученков, Н.Г. Власова [и др.]. — Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2024. — 240 с. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/155280.html> (дата обращения: 12.03.2026).
4. Baselet, B. Cardiovascular diseases related to ionizing radiation: The risk of low-dose exposure (Review) / B. Baselet [et al.] // International Journal of Molecular Medicine. — 2016. — Vol. 38, № 6. — P. 1623–1641.
5. Румянцева, Г.М. Радиационные инциденты и психическое здоровье населения / Г.М. Румянцева, О.В. Чинкина, Л.Н. Бежина. — М.: ГНЦССП, 2008. — 368 с.
6. A possible role for proinflammatory activation via cGAS-STING pathway in atherosclerosis induced by accumulation of DNA double-strand breaks / C. Sakai [et al.] // Scientific Reports. — 2023. — Vol. 13. — P. 16470.
7. The cGAS-STING pathway in cardiovascular diseases: from basic research to clinical perspectives / C. An [et al.] // Cell & Bioscience. — 2024. — Vol. 14. — P. 58. <https://doi.org/10.1186/s13578-024-01242-4>.
8. Иванов, В.К. Медицинские радиологические последствия Чернобыля для населения России: данные национального регистра / В.К. Иванов, А.Ф. Цыб // Радиационная гигиена. — 2008. — Т. 1, № 4. — С. 17–20.
9. Low-dose occupational exposure to ionizing radiation and cardiovascular effects: a narrative review / G. Mamenti [et al.] // Healthcare. — 2024. — Vol. 12, № 2. — P. 238.
10. Ionizing radiation-induced circulatory and metabolic diseases / S. Tapio [et al.] // Environment International. — 2021. — Vol. 146. — P. 106235.
11. Association between low-dose ionizing radiation and hypertension a cohort study in China / Wu Beining [et al.] // International Archives Occupational and Environmental Health. — 2025. — Vol. 98. — P. 243–254.
12. Association of radiation exposure with insulin resistance in adipose tissue and serum free fatty acid levels / N. Sasaki [et al.] // Diabetes Care. — 2026. — Vol. 49, № 1. — P. e1–e3. <https://doi.org/10.2337/dc25-1507>.
13. Чиркин, А.А. Метаболический синдром как критерий оценки здоровья нации / А.А. Чиркин, Е.О. Данченко, А.А. Марченко // Наука и инновации. — 2019. — № 7(197). — С. 47–52.
14. Чиркин, А.А. Атеросклероз и радиация / А.А. Чиркин // Рецепт. — 2000. — № 4(13). — С. 91–94.

## REFERENCES

1. Acceleration of atherogenesis in ApoE<sup>-/-</sup> mice exposed to acute or low-dose-rate ionizing radiation / M. Mancuso [et al.] // Oncotarget. — 2015. — Vol. 6. — P. 31263–31271.
2. Chirkin A.A. *Novosti mediko-biologicheskikh nauk* [Medical and Biological Science News], 2021, 21(2), pp. 89–100.
3. Batyan A.N., Buchenkov I.E., Vlasova N.G. *Molekulyarnaya i kletchnaya radiobiologiya: uchebnoye posobiye* [Molecular and Cell Radiobiology: Textbook], Mn.: Adukatsiya i vykhavanne, 2024, 240 p. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/155280.html> (Accessed: 12.03.2026).
4. Baselet, B. Cardiovascular diseases related to ionizing radiation: The risk of low-dose exposure (Review) / B. Baselet [et al.] // International Journal of Molecular Medicine. — 2016. — Vol. 38, № 6. — P. 1623–1641.
5. Rummyantseva G.M., Chinkina O.V., Bezhina L.N. *Radiatsionniye intsidenty i psikhicheskoye zdorovye naseleniya* [Radiation Incidents and Mental Health of the Population], M.: GNTsSSP, 2008, 368 p.
6. A possible role for proinflammatory activation via cGAS-STING pathway in atherosclerosis induced by accumulation of DNA double-strand breaks / C. Sakai [et al.] // Scientific Reports. — 2023. — Vol. 13. — P. 16470.
7. The cGAS-STING pathway in cardiovascular diseases: from basic research to clinical perspectives / C. An [et al.] // Cell & Bioscience. — 2024. — Vol. 14. — P. 58. <https://doi.org/10.1186/s13578-024-01242-4>.
8. Ivanov V.K., Tsyb A.F. *Radiatsionnaya gigiyena* [Radiation Hygiene], 2008, 1(4), pp. 17–20.
9. Low-dose occupational exposure to ionizing radiation and cardiovascular effects: a narrative review / G. Mamenti [et al.] // Healthcare. — 2024. — Vol. 12, № 2. — P. 238.
10. Ionizing radiation-induced circulatory and metabolic diseases / S. Tapio [et al.] // Environment International. — 2021. — Vol. 146. — P. 106235.
11. Association between low dose ionizing radiation and hypertension a cohort study in China / Wu Beining [et al.] // International Archives Occupational and Environmental Health. — 2025. — Vol. 98. — P. 243–254.
12. Association of radiation exposure with insulin resistance in adipose tissue and serum free fatty acid levels / N. Sasaki [et al.] // Diabetes Care. — 2026. — Vol. 49, № 1. — P. e1–e3. <https://doi.org/10.2337/dc25-1507>.
13. Chirkin A.A., Danchenko Ye.O., Marchenko A.A. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovations], 2019, 7(197), pp. 47–52.
14. Chirkin A.A. *Retsept* [Prescription], 2000, 4(13), pp. 91–94.

Поступила в редакцию 12.03.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: alexchir43@gmail.com — Чиркин А.А.

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЧУЖЕРОДНЫХ РАСТЕНИЙ НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ К БОТАНИЧЕСКОМУ САДУ ВГУ ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА ТЕРРИТОРИИ

И.М. Морозова, И.М. Морозов

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

*Исследования, проведенные в ботаническом саду Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, выявили чужеродные растения, распространившиеся за пределы сада на прилегающие территории. Всего был обнаружен 21 интродуцированный вид, покинувший территорию сада и успешно внедрившийся в местную растительность. Среди них 3 вида (14,3%) проявляют свойства эфемерофитов, 5 видов (23,8%) — колонофитов, 5 видов (23,8%) — эпекофитов и 7 видов (38,1%) относятся к агрофитам.*

*Цель исследования — отследить первоначальные периоды внедрения и способность к распространению отдельных инородных представителей на территории, прилегающие к коллекциям ботанического сада Витебского государственного университета имени П.М. Машерова.*

**Материал и методы.** *Материал исследования — завезенные представители растительных видов, выращиваемых в коллекции ботанического сада ВГУ имени П.М. Машерова.*

*Видовая принадлежность растений устанавливалась с помощью определителей. Интродукционные исследования велись по методике Главного ботанического сада РАН. Полевые работы проходили с 2015 по 2025 год с применением стандартного маршрутно-рекогносцировочного метода.*

**Результаты и их обсуждение.** *Авторами представлены результаты многолетних наблюдений инвазий интродуцированных растений в ботаническом саду ВГУ имени П.М. Машерова.*

**Заключение.** *Исследователи обнаружили представителей 21 вида, прошедших интродукцию в ботаническом саду ВГУ имени П.М. Машерова, успешно прижившихся и прочно обосновавшихся в естественной растительности, окружающей территорию сада. Эти интродуцированные виды не только выдерживают конкуренцию с местными растениями в течение определенного периода. Они способны расширять свой ареал. Главным путем их проникновения на прилегающую к саду территорию служит непреднамеренное внедрение вместе с растительными остатками и мусором в результате переборки луковиц и семян. Отдельные виды распространяются естественным путем при помощи ветра, птицами или муравьями.*

**Ключевые слова:** *интродукция, колонофит, агрофит, эфемерофит, эпекофит, биоразнообразие.*

# SPRED OF ALIEN PLANTS INTO THE ADJACENT TERRITORIES OF VITEBSK STATE P.M. MASHEROV UNIVERSITY BOTANICAL GARDEN

I.M. Morozova, I.M. Morozov

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

*Research conducted at Vitebsk State P.M. Masherov University Botanical Garden revealed alien plants that have spread beyond the garden's boundaries into adjacent areas. A total of 21 introduced species were identified that left the garden's boundaries and successfully established themselves among the local vegetation. Among them, three species (14,3%) exhibit ephemerophyte properties, five species (23,8%) are colonophytes, five species (23,8%) are epecophytes, and seven species (38,1%) are agrophytes.*

*The aim of the study is to track the initial periods of introduction and the ability to spread of individual alien representatives in the territories adjacent to the collections of the Botanical Garden of the Vitebsk State P.M. Masherov University.*

**Material and methods.** *The study material consisted of imported plant species grown in the collection of the Botanical Garden of Vitebsk State P.M. Masherov University.*

*The species of plants was determined using identification keys. Introduction studies were carried out according to the methods of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. Field work took place from 2015 to 2025 using the standard route reconnaissance method.*

**Findings and their discussion.** The authors present the results of long-term observations of invasions introduced plant in the Masherov Botanical Garden of Voronezh State University.

Plant species was identified using the identifiers. Introduction studies were conducted according to the methodology of RAS Main Botanical Gardens. Field works were conducted from 2015 to 2025 using standard route and reconnaissance method.

**Conclusion.** Our study identified representatives of 21 species introduced to the Botanical Garden of Vitebsk State P.M. Masherov University that have successfully established themselves and become firmly established in the natural vegetation surrounding the Garden. These introduced species not only successfully withstand competition with native plants for a certain period, but are also capable of expanding their range. The main route of their spread to the surrounding garden is unintentional introduction via plant debris and debris from the handling of bulbs and seeds. Some species are dispersed naturally by wind, birds, or ants.

**Key words:** introduction, colonophyte, agrophyte, ephemerophyte, epecophyte, biodiversity.

**Н**а протяжении длительного времени исследования наблюдается процесс инвазии, когда чужеродные виды, распространившиеся благодаря человеку, начинают угрожать существующему биологическому разнообразию. Внедрение агрессивных чужеродных растений сегодня является одной из ключевых причин глобальных природных трансформаций. Последствия этого процесса часто включают в себя значительное сокращение биоразнообразия и снижение экономической значимости экосистем, подверженных вторжению. В некоторых случаях инвазии могут привести к серьезным экономическим убыткам и даже создать риски для здоровья человека [1].

Цель нашего исследования — отследить первоначальные периоды внедрения и способность к распространению отдельных инородных представителей на территории, прилегающие к коллекциям ботанического сада Витебского госуниверситета имени П.М. Машерова.

**Материал и методы.** Материал исследования — завезенные представители растительных видов, выращиваемых в коллекции ботанического сада Витебского государственного университета имени П.М. Машерова.

Для выявления видовой принадлежности применяли определители и справочные материалы [2; 3]. Исследования по интродукции проводились в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными Главным ботаническим садом РАН [4; 5]. Полевые наблюдения осуществлялись в период с 2015 по 2025 год с использованием стандартного маршрутно-рекогносцировочного подхода.

**Результаты и их обсуждение.** Виды считаются интродуцированными, если они были перенесены из изначального ареала произрастания в новые места в результате человеческой деятельности. Интродукцию проводят как сознательно, так и случайно. Преднамеренное внедрение других растений мотивировано полезными для человека свойствами и способностью приумножать его благосостояние.

Инвазивные виды:

- 1) соперничают с местными видами;
- 2) упрощают структуру фитоценозов;
- 3) исполняют роль новых растений-хозяев для всевозможных вредителей и возбудителей болезней;
- 4) гибридизируют с местными видами;
- 5) вытесняют местные виды из природных фитоценозов.

Ботанический сад Витебского государственного университета имени П.М. Машерова — один из центров Беларуси по интродукции растений. Вследствие интродукции нами были завезено большое количество различных представителей растений из иных районов Земли. Многие из них приспособились к климатическим условиям севера Беларуси и успешно соперничают с местными видами. Это обуславливает не только вероятность их сохранения в коллекционных посадках, но и вероятность проникновения на прилегающие территории с последующей натурализацией. В данный момент эти виды, раньше содержащиеся в коллекции сада, отмечаются в составах полуестественных и природных ценозов ботанического сада, а также находящихся в разной степени внедрения в состав флоры прилегающих территорий. Если принять к вниманию необратимость характера биологических загрязнений растительности, требуется принятие конкретных шагов по предупреждению распространения прочих инвазионных видов. Поэтому актуально изучение по установлению инвазионной активности чужеродных видов, самостоятельно произрастающих в пределах ботанического сада и вне его границ [6].

Особое место в преднамеренном расселении видов занимает реинтродукция, которая включает возврат видов, до этого произраставших в данной местности, но затем исчезнувших ввиду человеческой деятельности. Реинтродукцией занимаются межгосударственные и местные природоохранные организации [7].

В итоге изучения обнаружен 21 вид растений из интродуцированных в ботаническом саду ВГУ имени П.М. Машерова, которые теми или иными путями оставили территорию сада и принялись внедряться в растительность примыкающих территорий. Они относятся к 14 семействам и 20 родам. 6 видов принадлежат к семейству *Asteraceae* (*Compositae*) и по два вида к семействам *Fabaceae* и *Rosaceae*.

Нами проанализированы виды растений, проникающие на сопредельную территорию ботанического сада ВГУ имени П.М. Машерова. Большинство видов имеют азиатское происхождение — 6 (28,6%). Важную долю составляют европейские виды — 5 (23,8%). Из них в одинаковом количестве насчитываются представители восточноевропейских и южноевропейских растений, меньше западноевропейских. Такая же по количеству группа видов растений североамериканского происхождения — 5 (23,8%). В меньшем числе средиземноморские представители — 3 (14,3%). Только два вида имеют кавказское происхождение.

Доминирующее положение в биоморфологическом плане как чужеродный компонент растительности, проникающий на прилегающую к саду территорию, составляют травянистые растения — 90%. Двулетние составляют 4,8%, многолетние травянистые виды — 76,2%. Состав многолетних трав различен: преобладают корневищные (52,4%), луковичные (19%) и стержнекорневые виды (4,8%). Древесных растений 19%, из них деревьев 3 вида — 14,1%, кустарники — 1 вид (4,8%).

Большой практический интерес имеет деление инородных видов на группы с разным уровнем натурализации, это дает возможность провести оценку устойчивости в аборигенной растительности и проследить инвазийную активность.

Виды интродуцированных растений, проходящих начальные стадии внедрения на прилегающую к ботаническому саду ВГУ имени П.М. Машерова территорию, нами разделены на следующие группы [9].

Эфемерофиты — чужеродные (адвентивные) растения, которые были занесены на новые территории в результате человеческой деятельности (по ошибке или преднамеренно), но не натурализовались. Такие представители произрастают в малом количестве и не формируют стабильных ценопопуляций, вскоре пропадают из местообитаний. Это первоначальный этап заселения, его характеризует низкая численность и нестабильность в других местообитаниях [9]. В указанную группу мы отнесли сильфию пронзеннолистную (*Silphium perfoliatum*), шелковицу белую (*Morus alba*), водосбор обыкновенный (*Aquilegia vulgaris*) — 14,3%.

Колонофиты — представители чужеродных видов, способных к натурализации, обладают свойством закрепляться и давать потомство в иных для них местообитаниях, формируя стабильные ценопопуляции в сообществах, нарушенных человеком. Это промежуточная стадия между заносными случайно и инвазийными [10]. К данной группе относятся лук гигантский (*Allium giganteum*), галантус весенний (*Galanthus nivalis*), кизильник блестящий (*Cotoneaster splendens*), лилейник рыжий (*Hemerocallis fulva*), птицемлечник зонтичный (*Ornithogalum umbellatum*) — 23,8%.

Эпекофиты — растения (антропофиты), которые натурализовались, главным образом, в измененных в результате человеческой деятельности местообитаниях (на поле, замусоренных местах, по обочинам дорог). Преимущественно не происходит агрессивного внедрения в природные сообщества [11] (телекия красивая (*Telekia speciosa*), лопух дубравный (*Arctium nemorosum*), белокопытник гибридный (*Petasites hybridus*), мята перечная (*Mentha piperita*), подсолнечник клубненосный (топинамбур) (*Helianthus tuberosus*) — 23,8%.

Агриофиты — это не только заносные виды растений, но и внедрившиеся в естественные или полуприродные сообщества растений. Наблюдается успешная конкуренция инвазивных видов с аборигенными растениями, к тому же инвазивные виды демонстрируют способность к существованию без антропогенного воздействия [12]. К агриофитам Витебского ботанического сада относятся: робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia*), клен ясенелистный (*Acer negundo*), рейнунтрия японская (*Reynoutria japonica*), ворсянка волосистая (*Dipsacus pilosus*), золотарник канадский (*Solidago canadensis*), борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) и козлятник восточный (*Galega orientalis*), составляющие 38,1% от общего числа. Галега восточная характеризуется широким расселением по территории сада, обильным самосевом и является типичным представителем сорной растительности. Инвазивные виды успешно соперничают с аборигенными растениями и способны к существованию без человеческого фактора [12].

Наибольшее количество видов, начавших внедрение на прилегающие к ботаническому саду территории и успешно там произрастающих, конкурирующих с произрастающими изначально в данных

сообществах представителей, мы отнесли к группе агрофитов — 38,1%. Немногим менее находим группы колонофитов и эпекофитов (по 23,8%). Самая малочисленная группа — эфемерофиты (14,3%), которые не формируют стабильные популяции и произрастают в небольшом количестве.

Исследование предполагаемых путей проникновения интродуцированных видов на прилегающие к ботаническому саду территории выявило следующие основные механизмы: неосознанное распространение человеком — представлена значительная доля (31,8%) видов, таких как *Robinia pseudoacacia* и *Allium caeruleum*, которая попадает на новые территории вместе с растительными остатками, переносимыми людьми. Естественное распространение семенами: около 9,1% видов (включая *Silphium perfoliatum* и *Acer negundo*, *Galega orientalis*). Вегетативное размножение корневищами: 22,7% представителей, например, *Reynoutria japonica* и *Petasites hybridus*, *Galega orientalis* энергично расселяются с помощью корневищ, зачастую вместе с растительными остатками. Распространение семязачатков и соплодий с помощью птиц — 13,6% видов, таких как *Dipsacus pilosus* и *Cotoneaster splendens*, разносятся птицами, питающимися их семенами и плодами. Предполагаем, что птицы могут способствовать широкому распространению семян, как в случае с *Galega orientalis*. Распространение при очистке семян: 13,6% видов, включая *Telekia speciosa* и *Allium giganteum* (попадают на прилегающие территории в результате отсеивания их семян на склонах во время очистки). Распространение луковичками: 9,1% видов, таких как *Galanthus nivalis* и *Ornithogalum umbellatum* (попадают на новые территории с мелкими луковичками, выброшенными вместе с сором). Одним из наиболее вероятных путей проникновения видов растений за границы территории сада является складирование растительных остатков после прополки и приборки территории. С мест складирования растительных остатков с помощью фрагментов корневищ и семян понемногу распространяются по примыкающей территории. Птицы играют значительную роль в интродукции видов растений за пределы ботанических садов. Потребляя плоды, они способствуют распространению семян посредством фекалий, что наблюдается, например, у таких видов, как кизильник блестящий и шелковица белая.

Нами проведен анализ поведения и состояния инородных представителей растений, которые проникли на прилегающие территории. Представителей всех обнаруженных видов мы распределили на 8 групп. В частности:

- 9,5% видов (например, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*) благополучно завершают все этапы развития, с формированием жизнестойких семян и образованием умеренного самосева;
- 19% видов (таких как *Dipsacus pilosus*, *Solidago canadensis*, *Heracleum sosnowskyi*, *Galega orientalis*) проходят все жизненные стадии и образуют жизнеспособные семена, энергично заселяют другие территории, демонстрируют максимальную агрессию по отношению к традиционным видам;
- 23,8% видов (включая *Telekia speciosa*, *Arctium nemorosum*, *Allium giganteum*, *Silphium perfoliatum*, *Aquilegia vulgaris*) могут формировать плоды с жизнеспособными семенами, тем не менее дальнейшего распространения не случается;
- 9,5% представителей (например, *Galanthus nivalis*, *Ornithogalum umbellatum*) формируют семена и плоды, луковички, но интенсивность их расселения невысокая;
- 4,8% видов (например, *Allium caeruleum*) активно размножаются луковичками, при этом цветение наблюдается лишь изредка, но их популяция стабильно растет;
- активно вегетативно нарастает. Распространение не агрессивное (*Mentha piperita*, *Hemerocallis fulva*, *Helianthus tuberosus*) — 14,7%. Благодаря своим биологическим характеристикам *Helianthus tuberosus* способен формировать сотни клубней, характеризуется высокой морозостойкостью и неприхотливостью, является чрезвычайно эффективным колонизатором. Обнаружение зарослей *Helianthus tuberosus* за пределами ботанического сада свидетельствует о его статусе не культурного растения, а биологического инвазивного вида, официально включенного в Черную книгу Республики Беларусь [13];
- активно вегетативно нарастает и распространяется (*Reynoutria japonica*, *Petasites hybridus*) — 9,5%;
- распространение не происходит вследствие молодости растений (*Cotoneaster splendens*, *Morus alba*) — 9,5%.

Наибольшую группу представляют виды, которые дают жизнеспособные семена, но широко не распространяются, — 5 видов (23,8%). Меньшее количество видов проходят все этапы развития с образованием жизнеспособных семян. Они активно внедряются и распространяются на прилегающие территории. В настоящее время это самые агрессивные из выявленных нами видов (к ним относятся 4 вида — 19%).

**Заклучение.** В результате данного исследования установили представителей 21 вида, прошедших интродукцию в ботаническом саду ВГУ имени П.М. Машерова, успешно прижившихся и прочно обосновавшихся в естественной растительности, окружающей территорию сада. Эти интродуцированные виды не только выдерживают конкуренцию с местными растениями в течение определенного периода. Они способны расширять свой ареал. Главным путем их проникновения на прилегающую к саду территорию служит непреднамеренное внедрение вместе с растительными остатками и мусором в результате переборки луковиц и семян. Отдельные виды распространяются естественным путем при помощи ветра, птицами или муравьями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова, Ю.К. Влияние чужеродных видов растений на динамику флоры территории Главного ботанического сада РАН / Ю.К. Виноградова, С.Р. Майоров, В.Д. Бочкин // Российский журнал биологических инвазий. — 2015. — Т. 8, № 4. — С. 22–41.
2. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2017 гг. / О.М. Масловский [и др.]; науч. ред. А.В. Пугачевский. — Мн.: Беларуская навука, 2019. — 599 с.
3. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В.И. Парфенова. — Мн.: Дизайн ПРО, 1999. — 472 с.
4. Коровин, С.Е. Переселение растений. Методические подходы к проведению работ / С.Е. Коровин, З.Е. Кузьмин, Н.В. Трулевич [и др.]. — М.: Изд-во МСХА, 2001. — 76 с.
5. Прокопьев, Е.П. К разработке методов оценки синантропизации флоры и растительности урбанизированных территорий / Е.П. Прокопьев, И.Е. Мерзлякова, В.А. Кудрявцев, Т.А. Минеева // Синантропизация растений и животных: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, Иркутск, 21–25 мая 2007 г. / отв. ред. А.С. Плешаков, А.В. Верхозина. — Иркутск, 2007. — С. 124–127.
6. Майоров, С.Р. Введение в инвазионную биологию растений / С.Р. Майоров, Ю.К. Виноградова. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2024. — 165 с.
7. Мамаев, С.А. Экологические аспекты интродукции растений / С.А. Мамаев // Экология и интродукция растений на Урале. — Свердловск, 1991. — С. 3–6.
8. Дубовик, Д.В. Особенности натурализации некоторых интродуцированных видов травянистых растений во флоре Беларуси / Д.В. Дубовик // Ботанические сады: состояние и перспективы сохранения, изучения, использования биологического разнообразия растительного мира. — Мн.: УИЦ, 2002. — С. 94–95.
9. Прокопьев, Е.П. Опыт оценки антропогенной трансформации растительности зеленой зоны г. Томска / Е.П. Прокопьев, А.А. Зверев, И.Е. Мерзлякова [и др.] // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Чтения памяти Л.М. Черепнина: материалы IV Рос. конф.: в 2 т. — Красноярск, 2006. — Т. 2. — С. 79–83.
10. Силантьева, М.М. Инвазионные и потенциально инвазионные виды Сибири / М.М. Силантьева, Н.В. Степанов, Т.А. Терехина [и др.] // Бюллетень Главного ботанического сада. — 2014. — № 1, вып. 200. — С. 52–61.
11. Березуцкий, М.А. Антропогенная трансформация флоры / М.А. Березуцкий // Ботанический журнал. — 1999. — Т. 84, № 6. — С. 8–19.
12. Мялик, А.Н. Инвазионные виды во флоре Припятского Полесья / А.Н. Мялик // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. — 2016. — № 1. — С. 117–123.
13. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д.В. Дубовик [и др.]; под общ. ред. В.И. Парфенова, А.В. Пугачевского; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф. Купревича. — Мн.: Беларуская навука, 2020. — 407 с.

## REFERENCES

1. Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Bochkin V.D. *Rossiiski zhurnal biologicheskikh invaziy* [Russian Journal of Biological Invasions], 2015, 8(4), pp. 22–41.
2. Maslovsky O.M. *Gosudarstvenny kadastr rastitelnogo mira Respubliki Belarus. Osnovy kadastra. Pervichnoye obsledovaniye 2002–2017* [State Cadastre of the Flora of the Republic of Belarus. Cadastre Fundamentals. Primary Survey 2002–2017], Mn.: Belaruskaya navuka, 2019, 599 p.
3. Parfenov V.I. *Opredelitel vysshikh rasteni Belarusi* [Key to Higher Plants of Belarus], Mn.: Dizain PRO, 1999, 472 p.
4. Korovin S.E., Kuzmin Z.E., Trulevich N.V. *Pereseleniye rasteni. Metodicheskkiye podkhody k provedeniyu rabot* [Plant Resettlement. Methodological Approaches to Carrying Out Work], M.: Izd-vo MSKhA, 2001, 76 p.
5. Prokopyev E.P., Merzliakova I.E., Kudriavtsev V.A., Mineyeva T.A. *Sinanthropizatsiya rasteni i zhivotnykh: materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiyem, Irkutsk, 21–25 maya 2007 g.* [Synanthropization of Plants and Animals: Proceedings of the All-Russian Conference, Irkutsk, May 21–25, 2007], Irkutsk, 2007, pp. 124–127.
6. Mayorov S.R., Vinogradova Yu.K. *Vvedeniye v invazivnyuyu biologiyu rasteni* [Introduction to Plant Invasive Biology], M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdani KMK, 2024, 165 p.
7. Mamayev S.A. *Ekologiya i introduktsiya rasteni na Urale* [Ecology and Introduction of Plants in the Urals], Sverdlovsk, 1991, pp. 3–6.
8. Dubovik D.V. *Botanicheskiye sady: sostoyaniye i perspektivy sokhraneniya, izucheniya, ispolzovaniya biologicheskogo raznoobraziya rastitelnogo mira* [Botanical Gardens: Status and Prospects for Conservation, Study, and Use of Biological Diversity of the Plant World], Mn.: UITs, 2002, pp. 94–95.
9. Prokopyev E.P., Zverev A.A., Merzliakova I.E., Kudriavtsev V.V. *Flora i rastitelnost Sibiri i Dalnego Vostoka. Chteniye pamiati L.M. Cherepnina: materialy IV Ros. konf.: v 2 t.* [Flora and Vegetation of Siberia and the Far East: Proceedings of the IV Russian Conference], Krasnoyarsk, 2006, 2, pp. 79–83.
10. Silant'yeva M.M., Stepanov N.V., Terekhova T.A., Chernova O.D., Shaulo D.N. *Bulleten Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Gardens], 2014, 1(200), pp. 52–61.
11. Berezutski M.A. *Botanicheski zhurnal* [Botanical Journal], 1999, 84(6), pp. 8–19.
12. Mialik A.N. *Vesti Natsiyanalnai akademii navuk Belarusi. Seriya biyalagichnykh navuk* [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Sciences], 2016, 1, pp. 117–123.
13. Dubovik D.V. *Chernaya kniga flory Belarusi: chuzherodniye vredenosiye rasteniya* [Black Book of the Flora of Belarus: Alien Harmful Plants], Mn.: Belaruskaya navuka, 2020, 407 p.

Поступила в редакцию 13.02.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: morozovainna889@gmail.com — Морозова И.М.



# ПЕДАГОГІКА

УДК [378.016:78.087]-057.875-027.63:378.4

## РАЗВИТИЕ КУЛЬТУРНО-АДАПТИВНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ ПЕДУНИВЕРСИТЕТА В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНО-ИСПОЛНИТЕЛЬСКИХ ДИСЦИПЛИН

**С.В. Мациевская, И.Ф. Чернявская**

*Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»*

*В статье рассмотрены особенности адаптации иностранных студентов-музыкантов в образовательной среде педагогического университета. Обозначена специфика развития культурно-адаптивной компетентности иностранных студентов педуниверситета в процессе изучения дисциплин музыкально-исполнительского цикла.*

*Цель статьи — теоретически обосновать психолого-педагогические предикторы, способствующие эффективному развитию культурно-адаптивной компетентности иностранных студентов педуниверситета в процессе изучения музыкально-исполнительских дисциплин.*

**Материал и методы.** *Материалом послужили научная и методическая литература по теме исследования, монографии, диссертации, учебники и учебные пособия, анализ результатов анкетирования, наблюдений, опросов студентов. В работе использован методологический инструментарий, позволяющий достичь поставленной цели на основе методов анализа научной литературы, нормативных документов, причинно-следственного анализа, обобщения и систематизации, проектирования педагогических процессов и их интерпретации.*

**Результаты и их обсуждение.** *Систематизированы научные знания об адаптации и ее разновидностях — социально-психологической, культурной, межкультурной, учебно-профессиональной, академической, физической. Представлены результаты диагностики доуниверситетского музыкально-исполнительского уровня иностранных студентов, показавшие недостаточное понимание эмоционального и образно-смыслового содержания музыкальных произведений классического западноевропейского и русского репертуара. Уточнено понятие культурно-адаптивной компетентности иностранных студентов-музыкантов педуниверситета в процессе изучения дисциплин музыкально-исполнительского цикла. Обоснована важность аккультурации средствами музыкального искусства в целях развития культурно-адаптивной компетентности китайских студентов-музыкантов.*

**Заключение.** *В контексте подготовки педагога-музыканта убедительно обоснованы факторы успешной адаптации иностранных студентов через личностную интеграцию в музыкальное культурное пространство страны обучения и приобщение к репертуарному многообразию в процессе изучения и аутентичной интерпретации музыкальных произведений различных стилей. На основе многолетнего личного педагогического опыта выделены ключевые составляющие процесса эффективного развития культурно-адаптивной компетентности иностранных студентов-музыкантов, базирующегося на построении личностно ориентированного образовательного маршрута и разработке методического и психолого-педагогического сопровождения процесса обучения. Выделены ключевые личностные характеристики студентов, ускоряющие процесс их культурной адаптации и требующие педагогического воздействия.*

**Ключевые слова:** *культурно-адаптивная компетентность, адаптация иностранных студентов, иностранный студент, студент-музыкант педуниверситета, личностные характеристики студентов, педагог-музыкант, развитие, музыкально-педагогическое образование, дисциплины музыкально-исполнительского цикла, аккультурация, специфика обучения, предикторы.*

# DEVELOPMENT OF CULTURALLY ADAPTIVE COMPETENCE OF FOREIGN STUDENTS AT PEDAGOGICAL UNIVERSITY IN THE PROCESS OF DOING MUSICAL PERFORMANCE DISCIPLINES

S.V. Matsiyevskaya, I.F. Cherniavskaya

*Education Establishment "Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University"*

*This article examines the adaptation of foreign music students to the educational environment of a pedagogical university. It outlines the specifics of developing international students' cultural adaptive competence while doing music performance disciplines.*

*The aim of the study is to theoretically substantiate the psychological and pedagogical predictors that contribute to the efficient development of foreign students' cultural adaptive competence while doing music performance disciplines.*

**Material and methods.** *The materials include scientific and methodological literature on the topic of the study, textbooks and teaching aids, data from interviews, observations, and student surveys. The study utilizes a methodological framework that enables the achievement of this goal based on methods of analyzing scientific literature, regulatory documents, cause-and-effect analysis, generalization and systematization, and the design and interpretation of pedagogical processes.*

**Findings and their discussion.** *Scientific knowledge on adaptation and its various forms: socio-psychological, cultural, intercultural, educational-professional, academic, and physical are systematized. The article presents the results of an assessment of the pre-university musical performance level of foreign students, revealing an insufficient understanding of the emotional and figurative-semantic content of classical Western European and Russian repertoires. The concept of cultural adaptive competence of foreign music students at a teacher training university is clarified while studying music performance disciplines. The importance of acculturation through musical arts for developing Chinese music students' cultural adaptive competence is substantiated.*

**Conclusion.** *In the context of music teacher training, the authors convincingly substantiate the factors that contribute to the successful adaptation of foreign students through personal integration into the musical cultural space of the host country and exposure to repertoire diversity through the study and authentic interpretation of musical works of various styles. Based on many years of the authors' personal experience, the key components of the process of effectively developing the cultural adaptive competence of international music students are identified. This process is based on the development of a student-centered educational path and the methodological, psychological, and pedagogical support for the learning process. Key personal characteristics of students that accelerate their cultural adaptation and require pedagogical intervention are identified.*

**Key words:** *culturally adaptive competence, foreign student adaptation, foreign student, music student at a pedagogical university, student personality characteristics, music teacher, development, music pedagogical education, music performance disciplines, acculturation, learning specifics, predictors.*

Устойчивая тенденция развития международного сотрудничества в области музыкально-педагогического образования Беларуси и Китая продолжает увеличиваться на фоне активной трансформации современной образовательной системы высшего образования. Профессиональная музыкально-педагогическая подготовка национальных кадров преимущественно из Китайской Народной Республики в белорусских образовательных учреждениях — приоритетное направление педагогических университетов Беларуси. Значимость исследования механизмов успешной адаптации иностранных студентов в музыкально-педагогическом пространстве университета обоснована в законодательных правовых документах Республики Беларусь [1; 2; 3]. Сложившаяся ситуация предъявляет высокие требования к качеству образовательных услуг, а также к разработке адаптационной поддержки иностранных студентов, отличающихся существенными социокультурными особенностями и запросами. Особенно важным становится понимание того, какие социальные и психолого-педагогические факторы позволяют организовать комфортную образовательную среду для максимального развития адаптационного потенциала китайских студентов, получающих профессиональное музыкальное образование в учреждениях высшего образования Беларуси.

Цель статьи — теоретически обосновать психолого-педагогические предикторы, способствующие эффективному развитию культурно-адаптивной компетентности иностранных студентов педуниверситета в процессе изучения музыкально-исполнительских дисциплин.

**Материал и методы.** Материалом послужили научная и методическая литература по теме исследования, учебники и учебные пособия, данные бесед, наблюдений, опросов студентов. В работе использован методологический инструментарий для достижения поставленной цели на основе методов анализа научной литературы, нормативных документов, причинно-следственного анализа, обобщения и систематизации, проектирования педагогических процессов и их интерпретации.

**Результаты и их обсуждение.** Студентам из Китая присущи этнические, национальные, конфессиональные и культурные особенности, что создает объективные трудности для их адаптации и обучения в белорусских университетах. В связи с этим различные аспекты адаптации иностранных студентов к новым условиям обучения привлекают внимание многих современных ученых (А.Я. Алеева, Д.Г. Арсеньев, Л.П. Цоколь, А.Д. Аркаченко, Н.И. Зверев, М.Н. Кожевникова, А.Н. Ременцов, Е.И. Шарова и др.). Исследователи выделяют несколько видов адаптации иностранных студентов: социально-психологическую (В.В. Болучевская, Э.А. Сокальский, О.И. Шутова и др.), культурную (Л.А. Журавлева, М.К. Лопачева, И.Ю. Кулагина и др.), межкультурную (О.В. Овакова, Ж.И. Жеребцова, Е.Д. Максимчук и др.), учебно-профессиональную (Т.Г. Аркадьева, С.С. Владимирова, Л.П. Грунина и др.), академическую (Н.А. Максимова, В.В. Глебов, Т.М. Терещенко и др.), физическую (Т.Н. Мостовая, Е.И. Петанова и др.).

Возрастание научного интереса к данной проблеме обусловлено тем, что до сих пор не в полной мере изучены особенности, условия и факторы, активизирующие адаптационные процессы обучения иностранных студентов-музыкантов в новой социокультурно-образовательной среде. Анализ литературы по заявленной проблематике позволяет констатировать, что учеными рассматривается процесс адаптации и его разновидностей, а также различные аспекты адаптации с позиции компетентностного подхода. В логике нашего исследования наиболее актуальна трактовка понятия «компетентность», предложенная доктором педагогических наук, профессором О.Л. Жук. В ее понимании «компетентность» — это способность личности успешно решать сложные задачи, мобилизуя знания, умения, навыки, опыт и психосоциальные качества, готовность действовать, а не только обладать информацией [4]. Для раскрытия цели нашей статьи вызывает интерес работа доктора педагогических наук В.А. Гусева, который трактует дефиницию «адаптационная компетентность» как способность быстро менять свои методы деятельности на основе оценки их эффективности и анализа большого потока информации об окружающей действительности [5]. Кандидат педагогических наук Н.В. Сомова формулирует «социально-адаптивную компетентность иностранных студентов» как совокупность знаний, представлений, алгоритмов действий, системы ценностей и отношений, реализующихся в процессе социокультурной адаптации, обеспечивающей интеграцию общеобразовательной и профессиональной подготовки в учреждениях высшего профессионального образования [6].

Адаптация иностранных студентов-музыкантов имеет особенности, так как в значительной степени активизируется через личностную интеграцию в музыкальное культурное пространство страны обучения и приобщение к репертуарному многообразию в процессе изучения и аутентичной интерпретации музыкальных произведений различных стилей. Анализ научных источников позволяет уточнить понятие «культурно-адаптивная компетентность иностранных студентов-музыкантов педуниверситета» как готовность к органичной интеграции в музыкально-образовательную среду педагогического университета, актуализированную на основе смыслообразующих знаний, ключевых умений и алгоритмов действий в процессе музыкально-исполнительской подготовки студента-музыканта.

В БГПУ имени Максима Танка согласно договору о сотрудничестве между БГПУ и Хэнаньским профессиональным институтом искусств и посредством реализации совместной образовательной программы по специальностям «Музыкальное образование» (Профилизация: Вокал и дирижирование, Профилизация: Инструментальное исполнительство) и «Музыкальное искусство, ритмика и хореография» осуществляется профессиональная подготовка студентов из Китая по профильным дисциплинам «Исполнительский практикум (музыкальный инструмент, дирижирование, постановка голоса)», «Вокал (академический, эстрадный) и дирижерский практикум», «Специальный музыкальный инструмент». Качество владения исполнительскими видами музыкальной деятельности во многом определяет профессиональное мастерство и квалификацию будущего педагога-музыканта. Многолетняя педагогическая практика авторов статьи показывает, что, к сожалению, значительные межкультурные различия в начальном и среднем музыкальном обучении китайских студентов служат причиной существенных недостатков их исполнительского уровня и, как следствие, сильно затрудняют адаптационные процессы в новой образовательной среде. Проведенная нами диагностика помогла выделить наиболее характерные недочеты: непонимание эмоционального, образного и смыслового мира европейской музыки, неумение расшифровать и убедительно выразить эмоционально-образное содержание музыкальных произведений классического западноевропейского и русского репертуара. Как известно, парадигмой русской музыкальной педагогики является приоритет содержательности в обучении исполнительскому искусству, при котором художественная компонента произведения выступает в качестве доминантной. Так, особая эмоциональная

выразительность и психологическое проживание музыкального образа, эмоциональная включенность составляют уникальность исполнительской манеры русских музыкантов в передаче музыкального содержания. Для менталитета китайских студентов, напротив, характерны сдержанность, медитативность и эмоционально дистанцирование, что как правило сказывается на недостаточной глубине погружения в образ, выражается в отсутствии содержательности высказывания и эмоциональном личностно окрашенном почерке исполнения. Исследователи связывают эту особенность с культом уравновешенности и эмоциональной сдержанности, присущим конфуцианскому мироощущению китайского народа [7]. Колоссальные различия интонационной семантики западноевропейской и восточной музыки также составляют объективную сложность развития культурно-адаптивной компетентности у студентов-музыкантов из Поднебесной. Обычно наиболее убедительно в их исполнении звучит музыка, отличающаяся эмоциональной и психологической созерцательностью и изящной стилистикой. И напротив, масштабность и «пролонгированность» мышления исполнителя, яркая патетическая подача, контрастность и экспрессивность, типичные для мастеров европейского музыкально-исполнительского искусства, представляют особую сложность для большинства китайских исполнителей.

В фокусе нашего исследования находится изучение понятия «аккультурация» как процесса взаимовлияния культур при непосредственном длительном контакте их носителей, в ходе которого индивид приспосабливается к новой культурной среде [8]. Развитие культурно-адаптивной компетентности у иностранных студентов напрямую связано с их аккультурацией в процессе освоения высокохудожественных музыкальных произведений разнообразных стилевых направлений. Исследованию различных аспектов аккультурации посвящены работы Дж. Берри, Т.А. Рябиченко, Е.Л. Сытых, Е.К. Терещенко, С.А. Токарева, Э.А. Усовской, Р.Д. Уشناкова и др. Педагогическая практика показывает, что целенаправленная опора на музыкальные образы, ментально близкие музыкально-творческому духовному наследию национальных культур Востока и Запада, способствует успешной аккультурации студентов и обогащению их эмоционально-образного багажа, смыслового тезауруса произведений русской и европейской музыки. Более того, актуализация близких и понятных китайскому менталитету ассоциаций создает благоприятную творческую среду для эффективного развития культурно-адаптивной компетентности. С этой целью в процессе изучения европейской музыки и на этапе осмысления эмоционального образного концепта произведения важно найти сюжеты и образы, близкие для обеих культур. Как известно, былины и притчи, мифы и сказки закладывают поучительное понимание вечных моральных основ сосуществования между людьми. Ряд исследователей, проанализировав сказочные тексты (469), нашли двадцать девять китайских сказок, фабулы и идеи которых аналогичны русским былинам или сказкам [9].

Многолетний личный качественный мониторинг содержания процесса обучения музыкально-исполнительским дисциплинам позволил авторам настоящей статьи выделить основные составляющие развития культурно-адаптивной компетентности иностранных студентов-музыкантов педуниверситета: изучение и усвоение исполнительских традиций, стилевых признаков, средств музыкальной выразительности, характерных для произведений европейской музыки; осмысление особенностей индивидуального стиля композитора, декодирование музыкального языка сочинения в соответствии с традициями данной национальной культуры; знакомство с духовно-эстетическими идеями и концептами европейского музыкального искусства; разработка исполнительской концепции и реализация художественного замысла музыкального произведения в соответствии с культурно-историческим контекстом данного сочинения; опора на музыкально-эстетические образы, близкие национальным культурам Востока и Запада; осознание сущности художественного смысла вокально-хоровых произведений в единстве с вербально-поэтической и интонационно-мелодической компонентами их целостного образа; овладение навыками вокальной артикуляции текста произведений европейской музыки на языке оригинала; активная личная интеграция студентов в культурную среду и социокультурное пространство университета посредством участия в концертных и просветительских мероприятиях, конкурсных испытаниях.

К тому же считаем необходимым выделить ключевые личностные характеристики студентов, ускоряющие процесс развития культурно-адаптивной компетентности и находящиеся в зоне стимулирующего педагогического воздействия: ярко выраженную субъектную позицию студента-адаптанта; высокие профессиональные амбиции и целеустремленность; стремление к творческому самовыражению; готовность к преодолению трудностей и самостоятельному планированию; гибкость и обучаемость в овладении новыми методами и средствами обучения; актуализацию ответственности, осознанности в выборе профессии и ее целенаправленного освоения.

**Заключение.** Как видим, успешное развитие культурно-адаптивной компетентности иностранных студентов-музыкантов требует особых психолого-дидактических усилий преподавателя университета. В этих целях особую эффективность имеет построение личностно ориентированного образовательного маршрута, а также разработка методического и психолого-педагогического сопровождения процесса обучения иностранных студентов. Авторский коллектив кандидатов педагогических наук, доцентов БГПУ имени Максима Танка (А.Б. Нижникова, С.В. Мациевская, И.Ф. Чернявская) подготовил и опубликовал учебно-методические пособия, написанные на русском и китайском языках для организации самостоятельной работы иностранных студентов [9; 10]. В представленных учебных изданиях раскрыты концептуальные основания обучения по дисциплинам музыкально-исполнительского цикла, содержатся базовые теоретико-методические аспекты изучения произведений европейских композиторов, предложен синопсис творчества русских композиторов и их произведений и др. Авторами разработан и включен в издание комплекс творческих заданий для самостоятельной работы, направленный на совершенствование художественно-исполнительских умений и навыков студента-музыканта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О правовом положении иностранных граждан и лиц без гражданства в Республике Беларусь: Закон Респ. Беларусь от 4 янв. 2010 г. № 105-З. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H11000105> (дата обращения: 12.01.2026).
2. Методические рекомендации Управления воспитательной работы с молодежью РИВШ «Организация работы с обучающимися иностранными гражданами во внеурочное время». — URL: <https://nihe.by/index.php/ru/normativnoe-soprovozhdenie> (дата обращения: 12.01.2026).
3. Методические рекомендации Управления воспитательной работы с молодежью РИВШ «Социально-педагогическое и психологическое сопровождение иностранных граждан, обучающихся в высшей школе Республики Беларусь». — URL: <https://nihe.by/index.php/ru/normativnoe-soprovozhdenie> (дата обращения: 12.01.2026).
4. Жук, О.Л. Педагогическая подготовка студентов: компетентностный подход / О.Л. Жук. — Мн.: РИВШ, 2009. — 336 с.
5. Формирование адаптационной компетентности у студентов специальностей сервиса и туризма / В.А. Гусев, В.А. Зацепин, М.Ю. Зацепина, В.М. Лисачкина. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-adaptatsionnoy-kompetentnosti-u-studentov-spetsialnostey-servisa-i-turizma> (дата обращения: 12.01.2026).
6. Сомова, Н.В. Формирование социально-адаптивной компетентности иностранных студентов на этапе предвузовской подготовки: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 / Сомова Наталья Владимировна; Ленингр. гос. обл. ун-т им. А.С. Пушкина. — СПб., 2015. — 23 с.
7. Арсеньев, Д.Г. Социально-психологические и физиологические проблемы адаптации иностранных студентов / Д.Г. Арсеньев, А.В. Зинковский, М.А. Иванова; М-во образования Рос. Федерации, С.-Петербург. гос. политехн. ун-т. — СПб.: СПбГУ, 2003. — 159 с.
8. Ягафарова, Г.А. Теория аккультурации / Г.А. Ягафарова. — URL: <https://www.elibrary.ru/kxsejm> (дата обращения: 25.01.2026).
9. Мациевская, С.В. Самостоятельная работа иностранных студентов над эмоционально-образным содержанием музыкального произведения: пособие / С.В. Мациевская, А.Б. Нижникова, И.Ф. Чернявская. — Мн.: Бел. гос. пед. ун-т, 2022. — 52 с.
10. Мациевская, С.В. Самостоятельная работа иностранных студентов над эмоционально-образным содержанием произведений русских композиторов: учеб.-метод. пособие / С.В. Мациевская, А.Б. Нижникова, И.Ф. Чернявская. — Мн.: БГПУ, 2024. — 84 с.

#### REFERENCES

1. *O pravovom polozhenii inostrannykh grazhdan i lits bez grazhdanstva v Respublike Belarus: Zakon Resp. Belarus ot 4 yanv. 2010 g. № 105-3* [Law of the Republic of Belarus of January 4, 2010, No. 105-Z "On the Legal Status of Foreign Citizens and Stateless Persons in the Republic of Belarus"], <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H11000105> (Accessed: January 12, 2026).
2. *Metodicheskiye rekomendatsii Upravleniya vospitatel'noy raboty s molodezhyu RIVSh "Organizatsiya raboty s obuchayushchimisya inostrannymi grazhdanami vo vneurochnoye vremya"* [Guidelines of the Department of Educational Work with Youth of the RIHS "Organization of Work with Foreign Citizens Outside School Hours"], <https://nihe.by/index.php/ru/normativnoe-soprovozhdenie> (Accessed: January 12, 2026).
3. *Metodicheskiye rekomendatsii Upravleniya vospitatel'noy raboty s molodezhyu RIVSh "Sotsialno-pedagogicheskoye i psikhologicheskoye soprovozhdeniye inostrannykh grazhdan, obuchayushchikhsia v vysshei shkole Respubliki Belarus"* [Guidelines of the Department of Educational Work with Youth of the RIHS "Social and pedagogical and psychological support for foreign citizens who study at higher education establishments of the Republic of Belarus"], <https://nihe.by/index.php/ru/normativnoe-soprovozhdenie> (Accessed: 12.01.2026).
4. Zhuk O.L. *Pedagogicheskaya podgotovka studentov: kompetentnostny podkhod* [Pedagogical training of students: a competency-based approach], Mn.: RIVSh, 2009, 336 p.
5. Gusev V.A., Zatsepin V.A., Zatsepina M.Yu., Lisachkina V.M. *Formirovaniye adaptatsionnoi kompetentnosti u studentov spetsialnosti servisa i turizma* [Formation of adaptive competence of students majoring in service and tourism], <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-adaptatsionnoy-kompetentnosti-u-studentov-spetsialnostey-servisa-i-turizma> (Accessed: 12.01.2026).
6. Somova N.V. *Formirovaniye sotsialno-adaptivnoi kompetentnosti inostrannykh studentov na etape predvuzovskoi podgotovki: avtoref. dis. ... kand. ped. nauk* [Formation of social-adaptive competence of foreign students at the stage of pre-university training: PhD (Education) Dissertation Abstract], St. Petersburg, 2015, 23 p.
7. Arsenyev D.G., Zinkovsky A.V., Ivanova M.A. *Sotsialno-psikhologicheskoye i fiziologicheskoye problemy adaptatsii inostrannykh studentov* [Social and psychological and physiological problems of foreign student adaptation], Spb.: SPbPGU, 2003, 159 p.
8. Yagafarova G.A. *Teoriya akkulturasii* [Acculturation theory], <https://www.elibrary.ru/kxsejm> (Accessed: 25.01.2026).
9. Matsievskaya S.V., Nizhnikova A.V., Chernyaukaya I.F. *Samostoyatel'naya rabota inostrannykh studentov nad emotsionalno-obraznym soderzhaniyem muzykal'nogo proizvedeniya: posobiye* [Self-access work of foreign students on the emotional and figurative content of a musical work: manual], Mn.: Bel. gos. ped. un-t, 2022, 52 p.
10. Matsievskaya S.V., Nizhnikova A.V., Chernyaukaya I.F. *Samostoyatel'naya rabota inostrannykh studentov nad emotsionalno-obraznym soderzhaniyem proizvedeni russkikh kompozitorov: ucheb.-metod. posobiye* [Self-access work of foreign students on the emotional and figurative content of a works by Russian composers: manual], Mn.: BGPU, 2024, 84 p.

Поступила в редакцию 05.02.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: [irin\\_ch@yahoo.com](mailto:irin_ch@yahoo.com) — Чернявская И.Ф.

## ФАРМІРАВАННЕ ПАТРЫЯТЫЧНЫХ ПАЧУЦЦЯЎ МАЛОДШЫХ НАВУЧЭНЦАЎ

Л.С. Васюковіч

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

*Праблема фарміравання патрыятычных пачуццяў навучэнцаў разглядаецца як мэтанакіраваны працэс спазнання сістэмы каштоўнасцей, што забяспечваюць станаўленне асобы, якая кіруецца духоўна-маральнымі нормамі беларускага грамадства. У сучасных умовах патрыятызм становіцца вядучай ідэяй, устойлівым перакананнем, ключавой якасцю асобы.*

*Мэта артыкула — абгрунтаваць эфектыўнасць прыярытэтных вектараў патрыятычнага выхавання навучэнцаў пачатковай школы.*

**Матэрыял і метады.** *Матэрыялам паслужылі сістэма заданняў вучэбных дапаможнікаў для I–IV класаў, змест адукацыйнага стандарта пачатковай адукацыі, ідэі праграмы непарыўнага выхавання дзяцей і навучэнцаў на 2026–2030 гады. Выкарыстаны комплекс метадаў — тэарэтычных (абагульненне і сінтэз навуковых пазіцый айчынных і расійскіх даследчыкаў), эмпірычных (вывучэнне нарматыўна-прававых дакументаў сферы адукацыі, аналіз педагагічнага вопыту).*

**Вынікі і іх абмеркаванне.** *У выніку праведзенага даследавання выяўлены патэнцыял сацыяльна-педагагічных сродкаў стварэння выхавальчай прасторы для фарміравання патрыятычных пачуццяў малодшых навучэнцаў: ідэалагічных, прыродна-геаграфічных, культурна-краязнаўчых і інш.*

**Заклучэнне.** *Падрыхтоўка патрыёта, грамадзяніна — ключавая задача сучаснай адукацыі. У гэтым працэсе павінна быць задзейнічана сістэма сацыяльна-педагагічных сродкаў, што забяспечваюць адзінства інтэлектуальных складнікаў і эмацыянальных перажыванняў пры спасціжэнні гісторыі, культуры, традыцый роднага краю. Менавіта эмоцыі для малодшых навучэнцаў выступаюць пабуджальнай сілай у фарміраванні пачуццёвага вобраза малой і вялікай Радзімы як змествай асновы патрыятычнага выхавання.*

*Рэалізацыя прыярытэтных вектараў патрыятычнага выхавання (ідэалагічны характар выхавання, апора на культурныя традыцыі, краязнаўчая праца, канструктыўнае партнёрства з бацькамі) уяўляе сабой складаны шматгранны працэс, у якім павінны быць задзейнічаны ўсе суб'екты выхавальчай прасторы.*

**Ключавыя словы:** *патрыятычныя пачуцці, малодшыя навучэнцы, сістэма каштоўнасцей, духоўна-маральныя нормы беларускага грамадства, сацыяльна-педагагічныя сродкі фарміравання патрыятызму.*

## SHAPING PRIMARY SCHOOL STUDENT PATRIOTIC FEELINGS

L.S. Vasiukovich

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

*The problem of fostering student patriotic feelings is considered as a targeted process of understanding the system of values that shape a personality that is guided by the spiritual and moral norms of Belarusian society. Currently, patriotism becomes a leading idea, stable feeling, the key feature of the personality.*

*The purpose of the article is to substantiate the efficiency of priority vectors of primary school student patriotic education.*

**Material and methods.** *The material used included a system of assignments from textbooks for grades 1–4, the content of the primary education standard, and the ideas of the continuous education program for children and students for 2026–2030. A combination of methods was used, including theoretical (generalization and synthesis of scientific positions from domestic and Russian researchers) and empirical (study of regulatory and legal documents in the field of education, analysis of teaching experience).*

**Findings and their discussion.** *The study revealed the potential of social and pedagogical means for creating an educational space for shaping young student patriotic feelings: ideological, natural-geographical, cultural-local history, etc.*

**Conclusion.** *The development of patriots and citizens is a key task of modern education. This process requires the use of a system of social and pedagogical tools that ensure the unity of intellectual components and emotional experiences in the assimilation of the history, culture, and traditions of one's native land. It is the emotions of young students that are the driving force in developing a sensory image of their small and large homeland as the substantive foundation of patriotic education.*

*The implementation of priority vectors of patriotic education (the ideological nature of education, reliance on cultural traditions, local history work, constructive partnership with parents) is a complex, multifaceted process in which all subjects of the educational process must actively participate.*

**Key words:** *patriotic feelings, primary school students, value system, spiritual and moral norms of Belarusian society, social and pedagogical means of shaping patriotism.*

**П**ад фарміраваннем патрыятычных пачуццяў разумеем мэтанакіраваны, псіхолога-педагагічны працэс засваення культурных здабыткаў, ведаў, каштоўнасных арыентацый, грамадска значымых якасцей, што забяспечваюць станаўленне асобы, яе гатоўнасць служыць інтарэсам Радзімы. Актуальнасць ідэі выхавання патрыятызму, павагі да тых, хто складае гонар, славу Айчыны, шанавання гісторыка-культурнай спадчыны і традыцый уласнага народа, пазначана ў сучасных адукацыйных нарматыўных дакументах як задача дзяржаўнага ўзроўню: “Фарміраванне асобы навучэнца, які выяўляе якасці патрыёта і грамадзяніна, здольны кіравацца духоўна-маральнымі нормама і каштоўнаснымі арыенцірамаі сучаснага беларускага грамадства” [1, с. 3]. З улікам зробленага папярэднікамі сучаснае разуменне патрыятызму характарызуецца шматаспектнасцю зместу паняцця (В.С. Болбас, Г.Н. Волкаў, А.А. Грымаць, А.Д. Дзейкіна, Н.В. Іпалітава, У.В. Пашкевіч, В.А. Сласценін, Т.І. Хадыка і інш.), аднак даследчыкі сыходзяцца ў тым, што патрыятызм павінен стаць вядучай ідэяй, устойлівым унутраным перакананнем, ключавой якасцю асобы. Мэта артыкула — абгрунтаваць эфектыўнасць прыярытэтных вектараў фарміравання патрыятычных пачуццяў навучэнцаў пачатковай школы.

**Матэрыял і метады.** Матэрыялам паслужылі сістэма заданняў вучэбных дапаможнікаў для I–IV класаў, змест адукацыйнага стандарта пачатковай адукацыі, ідэі праграмы непарыўнага выхавання дзяцей і навучэнцаў на 2026–2030 гады. Выкарыстаны комплекс метадаў — тэарэтычных (абагульненне і сінтэз навуковых пазіцый айчынных і расійскіх даследчыкаў), эмпірычных (вывучэнне нарматыўна-прававых дакументаў сферы адукацыі, аналіз педагагічнага вопыту).

**Вынікі і іх абмеркаванне.** Сцвярдженне ідэі выхавання “прыроднага патрыёта”, гатовага да высакродных учынкаў у імя Айчыны, характэрна для любой сістэмы адукацыі. Слыннымі сыны Радзімы зыходна сцвярджалі, што школа павінна рыхтаваць дзяцей да таго, каб яны былі карысныя свайму народу. Асветнікі пераканвалі, што сапраўдны, “непрытворны” патрыятызм спалучае агульначалавечыя каштоўнасці і ідэалы. А.М. Радзішчаў яшчэ ў XVIII стагоддзі фармуляваў асноўнай задачай выхавання станаўленне чалавека, які валодае грамадзянскай свядомасцю і высокімі маральнымі якасцямі: “Не все рожденные в отечестве достойны величественного наименования сына Отечества (патриота)... Только тот есть прямо благороден, сердце которого не может не трепетать при одном имени Отечества” [2, с. 263].

Пазней народная педагогіка як самастойная галіна айчыннай культуры стварыла стройную сістэму правіл навучання і выхавання з улікам асаблівасцей этнасу. Выкарыстанне прынцыпаў народнай педагогікі дазваляе з ранняга дзяцінства кіравацца высокапатрыятычнымі памкненнямі. Культурна-патрыятычны код беларусаў, адлюстраваны ў жыццёвай мудрасці продкаў, і сёння характарызуецца ўменнем наладжваць гарманічныя адносіны са светам, знаёмымі і незнаёмымі людзьмі — незалежна ад іх сацыяльнай або нацыянальнай прыналежнасці. Напрыклад, прыказкі неназойліва вучаць любіць Радзіму, з пашанаю ставіцца да агульнай гісторыі і роднай зямлі: *Бацькаўшчыны не купляюць і не прадаюць. Жонка як жонка, але мілей родная старонка. Мілы той куток, дзе рэзан пупок. На чужыне і камар загіне. Няма смачнейшай вадзіцы, як са сваёй крыніцы. Чым за морам віно піць — лепей з Нёмана вадзіцу.*

Як вядома, малодшы школьны ўзрост — адзін з найбольш адказных этапаў у жыцці чалавека. Менавіта гэты перыяд найбольш сензітывы для фарміравання патрыятычных пачуццяў, паколькі дзецям уласцівыя эмацыянальнасць, жаданне ўдзельнічаць у грамадска значымых мерапрыемствах. Пры выхаванні малодшых школьнікаў, безумоўна, неабходна ўлічваць іх псіхолога-ўзроставыя асаблівасці — адкрытасць да спазнання новага, імкненне да прыгажосці і дабрыві. Трэба памятаць і ўсведамляць: свет дзяцінства — гэта свет слоў, фарбаў, фантазій, рыфмаў, казак. Гэтаму свету не ўласцівыя масівы вялікіх дадзеных і высокіх працэнтаў. Дзеці жывуць пачуццямі, уражаннямі, вобразамаі. Эмацыянальнасць, а таксама высокі аўтарытэт настаўніка як значымага дарослага, імкненне займаць актыўную пазіцыю, арыентацыя на сацыяльныя нормы, ухвалення найбліжэйшым акружэннем, — усё гэта стварае ўдзячную базу для развіцця асобы. *Прыярытэтнымі вектарамі патрыятычнага выхавання навучэнцаў пачатковай школы выступаюць:*

– *ідэалагічны, сістэмны характар выхавання, скіраванага “на фарміраванне ведаў пра асновы дзяржаўнай палітыкі, засваенне агульначалавечых, гуманістычных каштоўнасцей, ідэй, перакананняў, якія адлюстроўваюць сутнасць беларускай дзяржаўнасці” [3, с. 2];*

– *апора на культуру свайго і іншых народаў. Усё, што акружае малодшага школьніка, патрабуе стварэння атмасферы культуры. Сучаснае лічбавае асяроддзе не павінна паглынуць, засланиць традыцый, назапашаных стагоддзямі. Абавязковым складнікам патрыятызму малодшых навучэнцаў выступае культура пачуццяў, якая выяўляе адукацыйны і сацыяльны вопыт асобы. Яна развіваецца праз этычныя правілы калектыўнай працы, засваенне традыцый, этыкетныя маўленчыя формулы. Найважнейшая прымета сфарміраванасці культуры пачуццяў — добразычлівасць да іншых, уменне суперажываць, жаданне дапамагчы. Невыпадкова педагог і патрыёт Васіль Аляксандравіч Сухамлінскі пісаў: “У дзяцінстве чалавек праходзіць эмацыянальную школу — школу выхавання добрых пачуццяў. Калі добрыя пачуцці не выхаваны ў дзяцінстве, іх ужо ніколі не выхаваць” [4, с. 124].*

*Культура маўлення з’яўляецца сёння не проста лінгвістычным паняццем, яна выступае ўласнай і грамадскай каштоўнасцю. Прынцып загавары, каб я цябе пабачыў справядлівы і ў цяперашні час, бо маўленне выяўляе ўзровень нашай адухоўленасці, служыць “лакмусавай паперкай” эстэтычнага густу. З маленства трэба ўсведамляць значэнне мовы ў жыцці чалавека і соцыуму. Навык наладзіць даверлівы дыялог з суб’ектамі, папярэдзіць канфлікты, непаразуменне, уменне адэкватна ацаніць суб’екта як патэнцыяльнага партнёра характарызуе паўнацэнную моўную асобу.*

*Неабходна фарміраваць культуру калектыўнай гістарычнай памяці як адносіны да агульнага мінулага, да сённяшняга і заўтрашняга дня. Гэтае паняцце падразумяе ўсвядомленае адзінства са сваім народам, яго лёсам, засваенне агульначалавечых маральных каштоўнасцей, гонар за сваіх землякоў, якія ніколі не былі ні заваёўнікамі, ні агрэсарамі. У кантэксце патрыятычнага выхавання надзённа гучыць думка: “Школа становіцца цэнтрам культуры толькі тады, калі ў ёй пануюць чатыры культы: культ Радзімы, культ чалавека, культ кнігі і культ роднага слова” [4, с. 206].*

*Гісторыя, час самі па сабе — нешта няўлоўнае, іх спыніць немагчыма. Можна толькі захаваць Памяць пра з’явы, рэаліі, асобу. Гістарычная памяць складае калектыўную культурную каштоўнасць, выяўляе ў абагульненым выглядзе адносіны грамадства да знакавых падзей, патрэбнасць і здольнасць канцэнтраваць мінулае.*

*Станаўленне патрыёта ў каардынатах культуры мае на ўвазе выхаванне павагі да мовы, роднага слова, што немагчыма без кніг, без разумення чытання як інтэлектуальнай дзейнасці. Праз зварот да высокамастацкай кнігі, перыёдыкі адбываецца знаёмства з дзіцячымі выданнямі, эмацыянальнае “пражыванне” твораў, наведванне школьнай/гарадской/вясковай бібліятэкі, сустрэча з беларускамоўнымі часопісамі “Вясёлка”, “Буся”, “Матуліна сонейка”, “Бярозка” і інш. На старонках дзіцячых выданняў рэкламуюцца кнігі з “залатой паліцы”, якія дапамагаюць спазнаваць героіку ўчарашняга і сённяшняга дня: “Перад вамі кніга — 80 фактаў пра Вялікую Перамогу”. *Вы даведаецеся, як сіла духу, сяброўства і вера ў Перамогу дапамаглі нашаму народу выстаяць у самых цяжкіх часы. Гэта кніга навучыць вас ганарыцца гісторыяй свайго краіны і цаніць мірнае неба над галавой. Чытайце, захапляйцеся, памятайце! Героі жывуць, пакуль помняць пра іх! А хіба не зацікавіць маленькіх чытачоў такі анонс мерапрыемства: 3 ліпеня — не проста дата. Гэта дзень, які адлюстраваны ў творах мастацтва не аднаго пакалення. Запрашаем адзначыць нацыянальнае свята разам — праз унікальныя праграмы, поўныя глыбіні і памяці.* Сучасныя часопісы годна прапагандуюць іншыя віды мастацтва. Так, лялечны тэатр — гэта ў першую чаргу дзіцячыя спектаклі, у якіх можна пабачыць шмат цікавага ды чароўнага. Напрыклад, спектаклі ў Беларускаім дзяржаўным лялечным тэатры — “Прададзены смех” або “Разумная сабачка Соня”. Гэта смешныя, яркія і разумныя пастаноўкі з глыбокім сэнсам. Яны выдатна падыдуць для сямейнага прагляду з малодшым братам ці сястрой. Выданні напамінаюць: тэатры Беларусі маюць вялікі ўплыў на папулярызаванне беларускай культуры, літаратуры, на фарміраванне патрыятычных пачуццяў. Цікавіцца тэатрам — значыць вучыцца аналізаваць і ўяўляць, марыць і фантазіраваць;*

– істотны вектар патрыятычнага выхавання — *комплексная краязнаўчая праца*. Аксіясфера краязнаўства адыгрывае выключную ролю ў станаўленні маральных каштоўнасцей. Эфектыўныя розныя накірункі дзейнасці — знаёмства з памятнымі мясцінамі роднага краю: старажытнымі будынкамі, сучаснымі новабудоўлямі, культурнымі помнікамі, музеямі, мемарыяльнымі комплексамі, прысвечанымі працоўнаму і баявому подзвігу землякоў, з вуліцамі, што носяць імёны герояў. Яны цэласна адлюстроўваюць духоўную атмасферу горада/пасёлка. Манументальнае мастацтва знаёміць малодшых школьнікаў з гісторыяй Радзімы, спрыяе фарміраванню грамадзянскай адказнасці. Невыпадкова

Д.С. Ліхачоў сцвярджаў: “Калі чалавек абыякавы да помнікаў гісторыі, ён, як правіла, раўнадушны і да сваёй краіны” [5, с. 173].

Роля і значэнне помнікаў у культуры шматгранныя. Яны — матэрыяльнае ўвасабленне мінулага і сучаснага, паказчык цывілізаванага грамадства. Помнікі перадаюць не толькі гісторыю чалавецтва, але і яго маральна-духоўныя ідэалы. Яны — частка прасторы, у якой жыве і развіваецца маленькая асоба. Сам факт іх існавання аказвае ўплыў на ўспрыманне гісторыі і культуры роднай зямлі. Помнікі як тэксты культуры адлюстроўваюць узровень адукацыі насельніцтва, увагу дзяржавы да гісторыка-культурных артэфактаў, асэнсаванасць патрыятычных пачуццяў. Чым вышэйшая культура грамадства, тым больш мэтанакіраваны яго клопат пра гісторыка-культурныя набыткі. Надзвычай важна выпрацаваць у маладога пакалення стаўленне да помнікаў як своеасаблівых “дакументаў” часу: гэтыя знакі гісторыі ўтрымліваюць інфармацыю пра стваральнікаў, іх сучаснікаў, этычныя і эстэтычныя ідэалы грамадства. Эмацыянальна насычанымі павінны быць аповеды пра беларускіх школьнікаў — герояў Вялікай Айчыннай вайны, пра помнікі, што ўвакавечваюць іх імёны ў нашай памяці — помнік на месцы падзвігу героя-партызана Мікалая Гойшыку ў Івацэвіцкім раёне, мемарыяльная дошка, устаноўленая ў Обалі на доме, у якім жыла Зінаіда Партнова, член падпольнай арганізацыі “Юныя мсціўцы”, помнік Зінаідзе Партновай у Чалябінску, помнік піянеру-герою Марату Казею ў Мінску і інш.

Комплексная краязнаўчая праца рэалізуецца ў розных формах (экскурсіі, наведванне музеяў, пасяджэнні краязнаўчага гуртка, турыстычныя паходы, гульні, конкурсы і інш.). Праз спазнанне свайго краю ўсведамляюцца лепшыя якасці асобы, неабыякавай да лёсу роднай зямлі. Паступова засвойваюцца аксіёмы маральнага выхавання: патрыёт, актыўны грамадзянін — найвышэйшая каштоўнасць грамадства; сумленная праца — галоўная ўмова станаўлення паўнацэннай асобы; родная прырода — спрыяльнае асяроддзе для жыццядзейнасці соцыуму; культура — вынік увасаблення ідэй, філасофскага сэнсу быцця.

Воблік дарагіх мясцін ствараюць музеі роднага горада, якія фіксуюць духоўную спадчыну айчыннай і сусветнай культуры. Прадуманая, змястоўная і эмацыянальная экскурсія, акрамя эстэтычнай асалоды, спрыяе цікавасці да гісторыі рэгіёна, выхаванню грамадзянскіх і патрыятычных пачуццяў. Даследчык М.В. Півавар перакананы, што можна гаварыць пра “залежнасць узроўню культурнага жыцця горада ад колькасці і якасці музеяў у ім” [6, с. 4]. Цікавымі ў гэтым плане і прапановы краязнаўца: папоўніць спіс устаноў культуры ў Віцебску наступнымі музеямі: музей гісторыі горада, музей тэатра, “Віцебская кафля”, экспазіцыя старадаўняй зброі, музей гісторыі медыцыны, фальклору і народнай творчасці, музей земляробства, музей археалогіі “Старажытны Віцебск”, музей народнай міфалогіі (на аснове прац і дзейнасці М.Я. Нікіфароўскага), музей лёну, віцебскіх сувеніраў, музей валуноў. Ды і самі навучэнцы могуць агучыць уласныя прапановы па з’яўленні новых музеяў у родным горадзе/вёсцы.

Музеі як сімвалы дзяржаўнасці, аб’екты “вечнасці” з’яўляюцца інструментам трансляцыі культуры. Яны і сёння застаюцца “шыльдай” краіны, бо ва ўсім свеце мяркуюць пра ўзровень культуры па музеях, якія з’яўляюцца “ідэальным” месцам для фарміравання цікавасці да гісторыі роднага краю. Безумоўна, маладому пакаленню неабходныя прафесійныя каментарыі, расшыфроўкі “музейнага кода”. У пошуках мэтавай аўдыторыі шматлікія музеі праводзяць інтэрактыўныя гульні, што фарміруюць як веды, так і камунікатыўныя, сацыяльныя навыкі ўдзельнікаў. Музейныя мерапрыемствы для дзяцей значныя не столькі інфармацыяй пра ўстанову, колькі задачай фарміравання патрыёта, дасведчанага чалавека, творчай асобы, здольнай арыентавацца на абсягах роднай культуры.

У малодшых школьнікаў недастаткова сацыяльнага вопыту для выяўлення патрыятычных якасцей. Таму праз канцэнтрычнае кола паняццяў выкрышталізоўваюцца маральныя нормы, духоўныя ідэалы, дзяржаўныя сімвалы, памятныя мясціны, якія рэпрэзентуюць эмацыянальна афарбаваныя воблік Радзімы. Далучыцца да святыняў свайго горада, вёскі, раёна, за якімі — славуць падзеі і велічныя асобы, ведаць гісторыю краю, яго культуру — значыць пазіцыянаваць сябе годным сынам малой Радзімы.

Менавіта з роднага горада/роднай вёскі пачынаецца ўсведамленне вялікай Радзімы, нашай Беларусі. Засваенне рэгіянальнай культурнай спадчыны выяўляе пачатак радзімазнаўства, беларусазнаўства. Зместавай асновай патрыятызму ў малодшым узросце выступае вобраз Радзімы, які паступова пашыраецца, ускладняецца: *Радзіма — гэта родны дом (сям’я); малая Радзіма — гэта вуліца, вёска/горад, у якім ты жывеш; Радзіма — гэта вялікая краіна, наша дзяржава.*

Любоў да малой Бацькаўшчыны прыходзіць праз спазнанне яе гістарычнага лёсу, культурных набыткаў. Каб выхаваць у нашчадкаў пашану да родных мясцін, да сваіх землякоў, існуюць розныя формы, мэта якіх — “улюбiць” у свой горад/вёску з дапамогай унікальных праектаў: *сем цудаў свету/сем цудаў майго горада; календары-фоталетапісы; Вялікая Айчынная вайна ў імёнах і датах; мемарыяльныя дошкі расказваюць; пошукі краязнаўчых брэндаў; асоба ў гісторыі малой радзімы; людзі працы/навукі нашага краю; вуліцы горада/вёскі; фотаальбомы, прысвечаныя гораду/вёсцы; родны край у верхах паэтаў-землякоў, віртуальныя выстаўкі/экскурсіі, відэаролікі, флэшмобы, марафоны, прэзентацыі нацыянальнай кухні і інш.*

Падкрэслім: справа не ў колькасці і не ў фармаце патрыятычных мерапрыемстваў. Галоўная мэта — фарміраванне пазітыўнага вобраза Радзімы, патрэбнасці ў пошукавай, творчай дзейнасці, у калектыўных справах. Названая мэта дасягаецца праз засваенне маральных норм і правіл, узораў паводзін у грамадстве, развіццё станоўчых якасцей характару. Удзел у розных відах дзейнасці з’яўляецца ўмовай для станаўлення патрыятычнай свядомасці навучэнцаў. Патрыятызм не залежыць напрамую ад ведання традыцый, рамёстваў, звычайў свайго і іншых народаў. Важныя не веды самі па сабе, а тое, які асобасны сэнс яны набываюць.

Праца педагога павінна арыентавацца не столькі на інфармацыйна-пазнавальную, колькі на матывацыйна-каштоўнасную дзейнасць навучэнцаў. Варта развіваць пачуццёвую сферу — эмпатыю, давер, спачуванне, суперажыванне, адказнасць за сябе і за тых, хто поруч з табой. Неабходныя дыялогі са значымымі дарослымі — бацькамі, педагогамі, канструюванне сітуацый, у якіх дзіця раскрывае сябе, выяўляе сімпатыі і аптыпатыі, прыходзіць да ўстойлівых перакананняў. Патрыятызм трэба разглядаць і ў кантэксце паважлівых адносін да людзей, прызнання і прымання прадстаўнікоў іншай культуры, а таксама гатоўнасці кантактаваць з імі.

Асаблівае месца займае азнаямленне малодшых школьнікаў з сімваламі дзяржавы — гербам, сцягам, гімнам — як традыцыйным элементам выхавання патрыятызму. Праз гэтае знаёмства адбываецца далучанасць да айчычнай гісторыі, традыцый і звычайў народа. Паступова фарміруецца перакананне: абавязак кожнага грамадзяніна — з павагай ставіцца да Дзяржаўнага герба, Дзяржаўнага сцяга і Дзяржаўнага гімна Рэспублікі Беларусь. Цікавымі могуць быць заняткі, прысвечаныя геральдыцы свайго рэгіёна, “расшыфроўцы” колеравых, жывёлных і раслінных сімвалаў малой радзімы;

— неабходным вектарам патрыятычнага выхавання з’яўляецца *канструктыўнае партнёрства з бацькамі* малодшых школьнікаў, бо менавіта ў сям’і адбываецца першасная сацыялізацыя асобы. Маці і бацька як значымыя дарослыя, першыя транслятары культуры перадаюць дзецям сацыяльна каштоўнасныя веды і ўменні, выпрацоўваюць звычку захоўваць правілы, нормы маральных паводзін, маўленчы этыкет узаемін. Праз сямейныя адносіны, іх эмацыянальную насычанасць прыходзіць разуменне таго, што сям’я, род, дом — гэта і ёсць частка Радзімы.

Вялікі педагог А.С. Макаранка сцвярджаў: “Выхоўвае ўсё: людзі, рэчы, з’явы, але найперш — людзі. З іх на першым месцы — бацькі і педагогі” [7, с. 114]. Лад сямейнага жыцця — дзейнасны фактар духоўна-маральнага развіцця дзіцяці. Важна выбудоўваць партнёрскія адносіны з бацькамі. Тым больш што многія з бацькоў гатовыя актыўна ўдзельнічаць у жыцці класа. Школьнае асяроддзе ў ідэале павінна быць не менш камфортным і ўтульным, чым сямейны дом. Цеснае супрацоўніцтва школы і сям’і фарміруе ў дзіцяці цэласнае ўяўленне пра жыццё, грамадства, Радзіму. Выхаванне патрыятычных пачуццяў узмацняецца праз апавяданні пра сямейныя рэліквіі, традыцыі, запамінальныя сустрэчы, прысвечаныя бліжкім людзям, іх дзейнасці ў агульным лёсе краіны.

**Заклучэнне.** Такім чынам, патрыятычнае выхаванне сёння не даніна модзе, гэта адказ на выклікі часу, інвестыцыя ў будучыню краіны. Школьнае дзяцінства — удзячная пара для фарміравання патрыятызму, далучэння да сямейных і грамадскіх каштоўнасцей. Любоў да роднага краю вучаць не лозунгі, не заклікі — асяроддзе, у якім дзіця адчувае сябе часцінкай краіны. Сістэма прыярытэтных вектараў выхавання (мэтанакіраваная дзяржаўная палітыка, апора на культурныя традыцыі, комплексная краязнаўчая праца, канструктыўнае партнёрства з бацькамі) стварае сацыякультурную прастору, у якой адбываецца станаўленне маленькіх патрыётаў вялікай Радзімы.

Ва ўмовах інфармацыйнага грамадства нельга зменшыць значнасць маральна-этычных асноў сучаснай адукацыі. Безумоўна, фарміраванне лічбавай кампетэнцыі — імператывы сённяшняга дня, аднак

у свеце лічбы павінна ўзмацняцца духоўная місія Настаўніка, які, будучы патрыётам, здольны выхаваць маладога пакаленне, годнае сваёй дзяржавы.

Дыстанцыйная і лічбавая адукацыя не можа зменшыць і ролю пачуццяў, жывых зносін, значнасці ведаў, адухоўленых эмоцыямі педагога, не можа замяніць настаўніка-патрыёта, яго духоўнага статусу, узораў стаўлення да людзей, да малой і вялікай Радзімы. Сучаснае дзіця, пагружанае ў маштабны інфармацыйны кантэкст з дамінаваннем візуальнага кампанента, падсвядома перажывае недахоп непасрэдных кантактаў, адчувае патрэбнасць выказацца, падзяліцца ўласнымі перажываннямі і тры-вогамі з роднымі, сябрамі, аднакласнікамі.

Агульнапрызнана: у Беларусі нацыянальнай можа быць толькі ідэя патрыятызму. Любоў, адданасць Айчыне, гонар за яе поспехі і дасягненні, значнасць Вялікай Перамогі як нішто іншае аб'ядноўваюць беларускую нацыю ў адзінае цэлае. Сістэма базавых каштоўнасцей, засвоеная навучэнцам, стварае надзейную базу для паўнацэннага развіцця асобы, для пераймання культурных узораў як асновы ўласных паводзін. У гэтым кантэксце сціраюцца, знікаюць умоўныя межы паміж вучэбнымі прадметамі, спецыяльнасцямі, праграмамі, паміж школай, сям'ёй і грамадствам. Сям'я, установы адукацыі, бібліятэкі, тэатры, музеі, філармоніі, інтэрнэт-парталы, адукацыйныя платформы павінны выступаць надзейнымі партнёрамі ў фарміраванні сацыякультурнага асяроддзя, у дасягненні агульнай мэты — выхаванне маладога пакалення ў духу адданасці роднай зямлі. Аб'яднанне намаганняў суб'ектаў адукацыйнага працэсу “павінна праходзіць у кантэксце маральна-патрыятычнага выхавання праз вызначальныя канцэпты беларускай культуры — *Радзіма, маці, сям'я, родная зямля, школа, настаўнік, мая вёска/мой горад*” [8, с. 112]. Інтэлектуальнае і духоўнае развіццё моладзі, пашана гістарычнай і культурнай спадчыны, памяць пра свае карані, сувязь пакаленняў складаюць духоўны капітал, што служыць асновай для фарміравання патрыятызму.

#### ЛІТАРАТУРА

1. Образовательный стандарт начального образования: утв. постановлением М-ва образования Респ. Беларусь от 28.11.2025 № 199: [сайт]. — URL: <http://www/aiv.by/> (дата звароту: 01.02.2026).
2. Радищев, А.Н. Беседа о том, что есть сын Отечества / А.Н. Радищев // Сын Отечества: избранные сочинения / вступ. ст., коммент. М. Строганова. — М.: Белый город, 2019. — С. 262–270.
3. Программа непрерывного воспитания детей и учащейся молодежи на 2026–2030 годы: постановление М-ва образования Респ. Беларусь от 04.11.2025 № 192 // Национальный образовательный портал. — URL: <https://adu.by/ru/homeru/obrazovatelnyj-protsess/obshchee-srednee-obrazovanie/obrazovatelnye-standarty-obshchego-srednego-obrazovaniya.html> (дата звароту: 11.02.2026).
4. Сухомлинский, В.А. Сердце отдаю детям / В.А. Сухомлинский. — М.: Прогресс, 1986. — 450 с.
5. Лихачев, Д.С. Русская культура / Д.С. Лихачев. — М.: Искусство, 2000. — 438 с.
6. Пивавар, М.В. Музеі Віцебска на пачатку XXI стагоддзя: манаграфія / М.В. Пивавар. — Віцебск: ВДУ імя П.М. Машэрава, 2012. — 180 с.
7. Макаренко, А.С. Воспитание гражданина / А.С. Макаренко. — М.: Просвещение, 1988. — 301 с.
8. Васюкович, Л.С. Праца з тэкстам як аснова фарміравання функцыянальнай пісьменнасці вучняў: манаграфія / Л.С. Васюкович. — Віцебск: ВДУ імя П.М. Машэрава, 2024. — 177 с.

#### REFERENCES

1. *Obrazovatelny standart nachalnogo obrazovaniya: utv. postanovleniyem M-va obrazovaniya Resp. Belarus ot 28.11.2025 № 199* [Educational standard of primary education: approved by the Resolution of the Ministry of Education of the Republic of Belarus dated November 28, 2025 № 199]. — URL: <http://www/aiv.by/> (Accessed: 01.02.2026).
2. Radishchev A.N. *Syn Otechestva: izbranniye sochineniya* [Son of the Fatherland: selected works], M.: Bely gorod, 2019, pp. 262–270.
3. *Programma nepreryvnogo vospitaniya detei i uchashcheisia molodezhi na 2026–2030 gody: postanovleniye M-va obrazovaniya Resp. Belarus ot 4.11.2025 No. 192* [Program of continuous education of children and students for 2026–2030: Resolution of the Ministry of Education of the Republic of Belarus dated 04.11.2025 No. 192]. — URL: <https://adu.by/ru/homeru/obrazovatelnyj-protsess/obshchee-srednee-obrazovanie/obrazovatelnye-standarty-obshchego-srednego-obrazovaniya.html> (Accessed: 11.02.2026).
4. Sukhomlinsky V.A. *Serdtshe otdayu detiam* [I give my heart to children], M.: Progress, 1986, 450 p.
5. Likhachev D.S. *Russkaya kultura* [Russian culture], M.: Iskusstvo, 2000, 438 p.
6. Pivavar M.V. *Muzei Vitsebska na pachatku XXI stogodzzia: managrafiya* [Museums of Vitsebsk in the early 21st century: monograph], Vitsebsk: VDU imia P.M. Masherava, 2012, 180 p.
7. Makarenko A.S. *Vospitaniye grazhdanina* [Education of a citizen], M.: Prosveshcheniye, 1988, 301 p.
8. Vasiukovich L.S. *Pratsa z tekstam yak asnova farmiravannia funktsiyanalnai pismennastsi vuchniau: managrafiya* [Working with text as a basis for developing students' functional literacy: monograph], Vitsebsk: VDU imia P.M. Masherava, 2024, 177 p.

Паступіў у друк 17.03.2026

Адрас для карэспандэнцыі: e-mail: mila.vasuk@yandex.by — Васюкович Л.С.

## ПЕРИОДИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ДОШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В КОНЦЕ XX — НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Н.И. Авсейкова

Учреждение образования «Могилевский государственный  
университет имени А.А. Кулешова»

*Автором представлены этапы развития дошкольного образования Республики Беларусь в конце XX — начале XXI века. Цель статьи — теоретическое обоснование критериев периодизации, выявление и характеристика этапов развития дошкольного образования Республики Беларусь в конце XX — начале XXI века.*

**Материал и методы.** *Нормативные правовые акты, статистические данные, методические материалы и архивные документы, диссертационные исследования отечественных и зарубежных ученых. Использовались ретроспективный и сравнительный анализ, дедукция, индукция.*

**Результаты и их обсуждение.** *Результаты исследования раскрывают теоретические основания и правила периодизации, ее критерии. В работе были выделены критерии периодизации развития дошкольного образования в Республике Беларусь, включающей хронологические рамки с 1991 года и по настоящее время. Данные критерии легли в основу анализа четырех этапов развития дошкольного образования.*

**Заключение.** *Теоретический анализ результатов научных исследований, посвященных проблеме периодизации в историческом контексте, позволил выявить критерии периодизации развития дошкольного образования в Республике Беларусь в конце XX — начале XXI века (нормативно-правовое обеспечение; цели в области дошкольного образования; направления развития дошкольного образования) и выделить четыре этапа развития дошкольного образования Беларуси: переходо-вариативный (1991–1999 гг.), этап модернизации и совершенствования (2000–2010 гг.), этап инновационного развития (2011–2020), компетентностно-парадигмальный (2021 г. — настоящее время).*

**Ключевые слова:** *периодизация, критерии периодизации, дошкольное образование, дошкольное образование Республики Беларусь, этапы развития дошкольного образования.*

## PERIODIZATION OF THE DEVELOPMENT OF PRESCHOOL EDUCATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE LATE XX — EARLY XXI CENTURIES

N.I. Avseikova

Education Establishment “Mogilev State A.A. Kuleshov University”

*The article stages of the development of preschool education in the Republic of Belarus in the late XX and early XXI centuries.*

*The purpose of the article is to provide a theoretical justification for the criteria of periodization, identify and characterize the stages of development of preschool education in the Republic of Belarus in the late XX and early XXI centuries.*

**Material and methods.** *The article uses regulatory legal acts, statistical data, methodological materials, and archival documents, as well as dissertation research by domestic and foreign scientists. The following methods were employed: retrospective analysis, comparative analysis, deduction, and induction.*

**Findings and their discussion.** *The research findings the theoretical foundations and rules of periodization, as well as its criteria. We have identified the criteria for periodization of the development of preschool education in the Republic of Belarus, which includes the chronological framework from 1991 to the present day. These criteria formed the basis for the analysis of the four stages of the development of preschool education.*

**Conclusion.** *The theoretical analysis of the results of scientific research devoted to the problem of periodization in the historical context allowed us to identify the criteria for the periodization of the development of preschool education in the Republic of Belarus in the late XX — early XXI centuries (regulatory support; goals in the field of preschool education; directions for the development of preschool education) and to identify four stages of the development of preschool education in Belarus: transitional-variable (1991–1999), the stage of modernization and improvement (2000–2010), the stage of innovative development (2011–2021), the competence-paradigm stage (2021 — present).*

**Key words:** *periodization, criteria for periodization, preschool education, preschool education in the Republic of Belarus, stages of development of preschool education.*

**А**ктуальность научных исследований в области дошкольного образования определяется динамичным характером его развития и совершенствования. В условиях трансформации современного образования возникает необходимость ретроспективного анализа становления дошкольного образования. Такой анализ позволит осмыслить исторический опыт и определить стратегические векторы дальнейшего развития.

«Изучение истории развития материального или духовного явления можно сравнить с поступательным процессом зарождения и проявления различий; процессом, отличающимся внутренней диалектичностью, сложностью в понимании и интерпретации внешних и внутренних факторов, включающим в себя ряд качественно своеобразных этапов, фаз (явных и скрытых, основных и неосновных, существенных и несущественных) и т.п. Каждый из этих этапов представляет собой некоторую целостность, качественно определенную систему, имеющую свою специфическую структуру, элементы, иерархии, связи и т.д.» [1, с. 49].

Развитие дошкольного образования Республики Беларусь в конце XX — начале XXI века выступает многовекторным процессом, обусловленным укреплением государственного суверенитета и интеграцией в мировое образовательное пространство.

С целью целостного восприятия, понимания и оценки развития дошкольного образования в своем исследовании мы использовали периодизацию, опирающуюся на определенные критерии. На основе системного анализа выделенных критериев в эволюции данной сферы были обоснованы четыре последовательных этапа развития отечественного дошкольного образования с момента обретения Республикой Беларусь суверенитета.

Термин «дошкольное образование» был принят только в 1997 г., до этого момента использовалась дефиниция «дошкольное воспитание». Во избежание терминологического разночтения в настоящей статье имеет место понятие «дошкольное образование».

Цель работы — теоретическое обоснование критериев периодизации, выявление и характеристика этапов развития дошкольного образования Республики Беларусь в конце XX — начале XXI века.

**Материал и методы.** В ходе исследования изучались нормативные правовые акты, регламентирующие развитие дошкольного образования, использовались статистические данные, методические материалы и архивные документы по обозначенной проблеме, анализировались диссертационные исследования отечественных и зарубежных ученых. Методы: ретроспективный и сравнительный анализ, дедукция, индукция.

**Результаты и их обсуждение.** В научных работах, посвященных изучению истории педагогики и образования, под понятием «период» понимают конкретный промежуток времени, в течение которого происходит законченный процесс, имеющий начало, развитие и завершение. Периодизация — это «деление процессов развития на основные качественно отличающиеся друг от друга периоды в соответствии с объективными закономерностями» [2, с. 992].

Исследование посвящено развитию дошкольного образования в период, начинающийся с момента обретения суверенитета Республикой Беларусь (с 1991 года по настоящее время). В рамках очерченного исторического периода рассматриваются этапы развития дошкольного образования. Это обусловило использование понятия «периодизация» — научного метода, который позволяет структурировать исторический процесс путем выделения временных интервалов, характеризующихся качественным своеобразием нормативно-правовых, содержательных и институциональных условий функционирования системы.

Базовым в любой периодизации выступает то или иное основание, критерий, в соответствии с которыми систематизируются процессы и события. Критерии периодизации служат инструментарием выделения качественно различных этапов развития изучаемой системы, чем обеспечивается операция анализа исторического времени. По утверждению А.В. Маковчика, для определения критериев периодизации исторического процесса можно использовать следующие теоретические основания: «экономико-производственные факторы; системная детерминация идей морального воспитания; степень влияния педагогического образования на социокультурное развитие региона; события, повлекшие существенные трансформации содержания образования; влияние административно-территориальных изменений на систему образования; типы образовательных учреждений; программно-содержательная база процесса образования; методическое обеспечение дидактического процесса и др.» [3, с. 104].

В основу периодизации развития дошкольного образования в Республике Беларусь в конце XX — начале XXI века положены следующие критерии:

- 1) нормативно-правовое обеспечение (принятие на государственном уровне разного уровня нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность в сфере дошкольного образования);
- 2) цели в области дошкольного образования (отражают актуальные потребности системы отечественного образования);
- 3) направления развития дошкольного образования.

При разработке периодизации мы опирались на методологические правила периодизации, выделенные Л.Е. Грининым:

- одинаковых оснований — конструирование периодизации требует при выделении равных по таксономической значимости периодов, исходит из одинаковых критериев;
- равнозначности периодов одной ступени деления (т.е. необходимость характеристики каждого периода примерно с одинаковой «полнотой»);
- иерархии — при сложной периодизации с наличием дробления крупных ступеней на более мелкие этапы периоды каждого последующего уровня деления должны быть таксономически менее важными, чем периоды предыдущего уровня;
- тесной связи с теорией;
- дополнительного основания. Помимо главного основания периодизации, которое определяет количество и характеристики выделяемых периодов, требуется еще и дополнительное, с помощью которого уточняется хронология;
- совпадения теоретической конструкции и эмпирических фактов (т.е. наличие соответствия историческим фактам наименований и содержания характеристик этапов) [4, с. 9–10].

С учетом рассмотренных выше теоретико-методологических оснований периодизации были выделены четыре этапа развития дошкольного образования в Республике Беларусь в конце XX — начале XXI века.

Первый этап — **переходно-вариативный** (1991–1999 гг.). В первые годы суверенного существования Республики Беларусь на государственном уровне произошло много политических, экономических и социальных изменений, которые оказали влияние на развитие всей системы образования. Начало этапа обусловлено провозглашением в 1991 году государственного суверенитета [5]. Распад СССР стал следствием преобразования советской системы обучения и воспитания. Государство направило внимание на формирование национальных органов управления системы образования. Республиканские министерства, которые находились в подчинении СССР, были оптимизированы в местные органы власти Республики Беларусь. Принятие Закона «Об образовании в Республике Беларусь» (1991) запустило процесс обновления нормативных правовых актов в сфере национального образования, в том числе и дошкольного. Дошкольное образование носило вариативный характер: педагоги могли выбирать методы, формы и средства обучения. Этап характеризовался переходом на гуманизацию педагогического процесса и личностно ориентированный подход к ребенку.

Цель в области дошкольного образования на этом этапе развития — создание национальной системы дошкольного образования. Цель определила следующие направления развития дошкольного образования:

- переход на личностно ориентированную модель образования;
- создание национальной базисной программы и ее научно-методическое обеспечение;
- разработка государственных стандартов дошкольного образования;
- обогащение содержания дошкольного образования за счет исследований в области дошкольной педагогики и методик;
- внедрение системы аттестации, лицензирования и аккредитации дошкольных учреждений;
- разработка механизмов сохранения и развития дошкольного образования в стране.

Система дошкольного образования прошла период реформирования и наметила пути становления.

Второй этап — **модернизации и совершенствования** (2000–2010 гг.). Принятие в 2000 году Концепции дошкольного образования [6] стало решающим в переходе дошкольного образования на новый

этап своего развития. На основе принятой Концепции впервые разрабатывается и внедряется в образовательный процесс «Образовательный стандарт. Дошкольное образование. Готовность к школе» (2001), методологическим базисом которого явился лично ориентированный и дифференцированный подход к организации образовательного процесса.

Цель развития дошкольного образования на этом этапе заключалась в «повышении престижа дошкольного образования, закреплении за ним статуса приоритетной для общества сферы образования; создании условий для развития вариативных подходов, видов, типов, профилей дошкольных учреждений с ориентацией на главного заказчика и потребителя — родителей» [6].

В этот временной отрезок развитие дошкольного образования шло по следующим направлениям:

- сохранение сети дошкольных учреждений;
- обогащение содержания дошкольного образования с использованием педагогических технологий;
- изменение организационной структуры дошкольных учреждений в соответствии с принципами вариативности, открытости и доступности, сотрудничества с семьей, взаимодействия дошкольного учреждения школы и других общественных организаций;
- совершенствование научно-методической функциональной подготовки кадров.

Таким образом, система дошкольного образования модернизируется и совершенствуется. Главные изменения спрогнозированы в «Программе развития системы дошкольного образования на 2009–2014 годы» [7]. Дальнейшее развитие дошкольного образования планировалось осуществлять, опираясь на инновационные, социальные, организационные, финансово-экономические, программно-методические и другие приоритеты. Дошкольное образование плавно переходит на следующий этап.

Третий этап — **инновационного развития** (2011–2020). Его началу этапа способствовало принятие Кодекса об образовании Республики Беларусь, который вступил в силу в 2011 году [8]. Дошкольное образование определяет уровень системы образования. Несмотря на упорядочивание терминологии в соответствии с Кодексом, специфика и сущность дошкольного образования сохраняются.

Инновационные процессы в дошкольном образовании наблюдаются значительно раньше. В своем исследовании В.П. Тукач выделила три этапа в генезисе инновационного дошкольного образования в период со второй половины 80-х гг. XX в. по 2010 г.: возникновение и первоначальное становление инновационного дошкольного образования в Республике Беларусь (вторая половина 80-х гг. — 1994 г.); интенсификация развития инновационного дошкольного образования в Республике Беларусь на основе отечественных разработок (1995–2002 гг.); институционализация, или целенаправленное развитие и функционирование инновационного дошкольного образования (2003–2010 гг.) [9, с. 77]. Однако, несмотря на запущенные процессы инновационного развития дошкольного образования, по республике отмечалось снижение качества экспериментальных и инновационных проектов в сфере дошкольного образования, что было доказано рядом выявленных в ходе экспертизы нарушений. В связи с этим Министерство образования в инструктивно-методическом письме к 2011/2012 учебному году акцентировало особое внимание на нормативно-правовые аспекты организации экспериментальной и инновационной деятельности в учреждениях дошкольного образования и подчеркивало важность ее направленности на обновление содержания и повышение качества образования посредством реализации экспериментальных и инновационных проектов [10, с. 9].

С принятием Кодекса об образовании дошкольное образование вступило в фазу стабильного инновационного функционирования. Государством были внедрены новый образовательный стандарт в области дошкольного образования и учебная программа. Нормативные-правовые акты определяли направления развития дошкольного образования:

- организация здоровьесберегающего процесса в учреждениях образования с опорой на межведомственное взаимодействие;
- повышение доступности и вариативности образования;
- современное ресурсное обеспечение дошкольного образования (кадровое, научно-методическое, материально-техническое);
- совершенствование инновационной и экспериментальной деятельности;
- повышение качества дошкольного образования;

- создание специальных условий при получении образования лицами с ОПФР;
- формирование инклюзивной культуры всех участников образовательного процесса;
- поддержка учреждений дошкольного образования частной формы собственности, индивидуальных предпринимателей, которым по законодательству предоставлено право осуществлять образовательную деятельность, реализующих образовательную программу дошкольного образования.

По причине модернизационных процессов в образовании Республики Беларусь некоторые направления развития дошкольного образования теряли свою актуальность, какие-то обретали новую значимость. Дошкольное образование оказалось на очередном этапе своего развития в результате реакции государства на мировые трансформации в области образования, на экономический и политический кризисы.

Четвертый этап — **компетентностно-парадигмальный** (2021 — настоящее время). В 2021 году Кодекс об образовании выходит в новой редакции. Обновляются Положение об учреждении дошкольного образования, образовательный стандарт и учебная программа дошкольного образования. На данном этапе развития целевым ориентиром становится результативность и качество образования. Вводится в обиход понятие «начальная компетентность ребенка», которая рассматривается учеными как интегративная личностная характеристика, определяющая способность ребенка к решению разнообразных доступных задач жизни и жизнедеятельности. Начальные компетенции служат показателем готовности перехода ребенка старшего дошкольного возраста на следующий — школьный образовательный уровень. Усиливается влияние национального компонента в образовании. Образовательный стандарт, учебная программа дошкольного образования обогащаются содержанием, отражающим формирование гражданско-патриотической культуры у детей раннего и дошкольного возраста.

Цели развития дошкольного образования закреплены в Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года — «обеспечение доступного и качественного дошкольного образования для каждого ребенка в соответствии с его возрастными и индивидуальными возможностями, способностями и потребностями, создание равных стартовых возможностей в продолжении образования» [11].

Цель предполагает решение таких задач в системе дошкольного образования:

- обеспечение равного доступа к качественному дошкольному образованию;
- создание условий для разностороннего развития и социализации, формирования у детей раннего и дошкольного возраста функциональной грамотности.

Концепция определяет и ведущие направления развития дошкольного образования на этом этапе:

- развитие многофункциональной сети учреждений;
- правовое и научно-методическое обеспечение дошкольного образования;
- создание развивающей и здоровьесберегающей образовательной среды в учреждениях, стимулирующей коммуникативную, игровую, познавательную, физическую и другие виды активности ребенка;
- развитие кадрового потенциала дошкольного образования [11].

На основании программы развития национальной системы образования Министерством образования разработана Концепция развития системы дошкольного образования Республики Беларусь до 2035 года, которая была принята в 2025 году [12].

Нормативным документом определен перечень мероприятий по реализации цели и задач, направлений развития дошкольного образования и намечены ожидаемые результаты поэтапной реализации Концепции.

**Заключение.** Дошкольное образование в Республике Беларусь за 35 лет становления и развития прошло достаточно непростой и многогранный путь: от советской системы централизованного дошкольного воспитания с акцентом на учебно-дисциплинарную модель обучения к современной системе, ориентированной на личностно ориентированный подход при организации образовательного процесса, предоставление доступного и качественного образования всем детям, в том числе и лицам, имеющим особые образовательные потребности. Выявленные критерии периодизации развития дошкольного образования в Республике Беларусь в конце XX — начале XXI века (нормативно-правовое

обеспечение; цели в области дошкольного образования; направления развития дошкольного образования) позволили выделить и охарактеризовать четыре этапа развития дошкольного образования Беларуси. К таким этапам отнесены: переходно-вариативный (1991–1999 гг.), этап модернизации и совершенствования (2000–2010 гг.), этап инновационного развития (2011–2021), компетентностно-парадигмальный (2021 г. — настоящее время).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бобрышов, С.В. Сравнительный анализ подходов к периодизации развития педагогических теорий и концепций и образовательной практики / С.В. Бобрышов // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2006. — № 1. — С. 48–57.
2. Большой энциклопедический словарь / под ред. А.М. Прохорова. — М.: Советская энциклопедия, 1993. — 1632 с.
3. Маковчик, А.В. Развитие педагогической системы подготовки кадров для пожарно-спасательной службы Беларуси в 20-е гг. XX — начале XXI в.: монография / А.В. Маковчик. — Мн.: БГПУ, 2022. — 400 с.
4. Гринин, Л.Е. О методах исторического исследования / Л.Е. Гринин, Н.Н. Крадин, А.В. Коротаев // Вестник КИГИТ. — 2013. — № 6(36). — С. 4–29.
5. Аб дзяржаўным суверэнітэце Рэспублікі Беларусь: Дэкларацыя Вярхоўнага Савета Рэспублікі Беларусь, 27 ліпеня 1990 г., № 193 // Збор законаў Беларускай ССР, указаў Прэзідыума Вярхоўнага Савета Беларускай ССР, пастаноў Савета Міністраў Беларускай ССР. — 1990. — № 22. — Арт. 432.
6. Концепция дошкольного образования Республики Беларусь / Министерства адукацыі Рэспублікі Беларусь // Зборнік нарматыўных дакументаў Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь. — 2000. — № 10. — С. 3–21.
7. Программа развития системы дошкольного образования в Республике Беларусь на 2009–2014 годы: утверждена Советом Министров Республики Беларусь 19.08.08. — Мн.: ГИАЦ М-ва образования Респ. Беларусь, 2008. — 49 с.
8. Кодекс Республики Беларусь об образовании: 13 янв. 2011 г. № 243-З. — Мн.: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2011. — 400 с.
9. Становление и развитие инновационного дошкольного образования в Республике Беларусь (вторая половина 80-х гг. XX в. — начало XXI в.): дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01 / Тукач Валентина Павловна; Нац. ин-т образования М-ва образования Респ. Беларусь. — Мн., 2017. — 192, [11] л.
10. Инструктивно-методическое письмо Министерства образования Республики Беларусь к 2011/2012 учебному году // Пралеска. — 2011. — № 7. — С. 2–12.
11. О Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь 30 нояб. 2021 г. № 683. — URL: [https://ripo.by/assets/ripo\\_new/files\\_2021/11/Концепция%20развития%20системы%20образования%20РБ%20до%202030.pdf](https://ripo.by/assets/ripo_new/files_2021/11/Концепция%20развития%20системы%20образования%20РБ%20до%202030.pdf) (дата обращения: 12.09.2024).
12. Концепция развития системы дошкольного образования Республики Беларусь до 2035 года. — URL: <https://doshkolnoe.edu.by/images/2025/11/NPA/Kontsepsiya-DO-2035.pdf> (дата обращения: 14.10.2025).

## REFERENCES

1. Bobryshov S.V. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki* [Bulletin of the Southern Federal University. Technical Sciences], 2006, 1, pp. 48–57.
2. *Bolshoi entsiklopedicheski slovar* [Great Encyclopedic Dictionary], M.: Sovetskaya entsiklopediya, 1993, 1632 p.
3. Makovchik A.V. *Razvitiye pedagogicheskoi sistemy podgotovki kadrov dlia pozharно-spatatelnoi sluzhby Belarusi v 20-ye gg. XX — nachale XXI v.: monografiya* [Development of the Pedagogical System for Training Personnel for the Fire and Rescue Service of Belarus in the 1920s — Early 21st Centuries: Monograph], Mn.: BGPU, 2022, 400 p.
4. Grinin L.E., Kradin N.N., Korotayev A.V. *Vestnik KIGIT* [Journal of KIGIT], 2013, 6(36), pp. 4–29.
5. *Ab dziazrzhaynym suverinitete Respubliki Belarus: Deklaratsiya Verkhounaga Saveta Respubliki Belarus, 27 lipenia 1990 g., No. 193* [About State Sovereignty of the Republic of Belarus: Declaration of the Supreme Council of the Republic of Belarus, June 27, 1990, No. 193], Zbor zakonau Belaruskai SSR, ukazau Prezidiuma Viarkhounaga Saveta Belaruskai SSR, pastanou Saveta Ministrau Belaruskai SSR, 1990, 22, 432.
6. *Zbornik narmatyvnykh dokumentau Ministerstva adukatsii Respubliki Belarus* [Collection of Documents of the Ministry of Education of the Republic of Belarus], 2000, 10, pp. 3–21.
7. *Programma razvitiya sistemy doshkolnogo obrazovaniya v Respublike Belarus na 2009–2014 gody: utverzhdena Sovetom Ministrov Respubliki Belarus 19.08.08* [Program for the Development of the Preschool Education System in the Republic of Belarus for 2009–2014: approved by the Council of Ministers of the Republic of Belarus on 19.08.08], Mn.: GIATs M-va obrazovaniya Resp. Belarus, 2008, 49 p.
8. *Kodeks Respubliki Belarus ob obrazovanii: 13 yanv. 2011 g., No 243-Z* [Education Code of the Republic of Belarus: 13 January 2011, No. 243–Z], Mn.: Nats. tsentr pravovoi inform. Resp. Belarus, 2011, 400 p.
9. *Stanovleniye i razvitiye innovatsionnogo doshkolnogo obrazovaniya v Respublike Belarus (vtoraya polovina 80-kh gg. XX — nachalo XXI v.): dis. ... kand. ped. nauk* [Formation and development of innovative preschool education in the Republic of Belarus (late 1980s — early 21st century): PhD (Education) Dissertation], Mn., 2017, 192 [11] p.
10. *Instruktivno-metodicheskoye pismo Ministerstva obrazovaniya Respubliki Belarus k 2011/2012 uchebnomu godu* [Guideline and methodological letter of the Ministry of Education of the Republic of Belarus for the 2011/2012 academic year], Pralaska, 2011, 7, pp. 2–12.
11. *O kontsepsii razvitiya sistemy obrazovaniya Respubliki Belarus do 2030 goda: postanovleniye Soveta Ministrov Resp. Belarus ot 30 noyab. 2021 g.* [On the Concept for the Development of the Education System of the Republic of Belarus until 2030: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of November 30, 2021, No. 683]. — URL: [https://ripo.by/assets/ripo\\_new/files\\_2021/11/Концепция%20развития%20системы%20образования%20РБ%20до%202030.pdf](https://ripo.by/assets/ripo_new/files_2021/11/Концепция%20развития%20системы%20образования%20РБ%20до%202030.pdf) (Accessed: 12.09.2024).
12. *Kontsepsiya razvitiya sistemy doshkolnogo obrazovaniya Respubliki Belarus do 2035 goda* [Concept for the Development of the Preschool Education System of the Republic of Belarus until 2035]. — URL: <https://doshkolnoe.edu.by/images/2025/11/NPA/Kontsepsiya-DO-2035.pdf> (Accessed: 14.09.2024).

Поступила в редакцию 19.03.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: nadezhda\_avseiko@mail.ru — Авсейкова Н.И.

## РОЛЬ КООРДИНАЦИОННОГО СОВЕТА В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ПАРТНЕРСТВА «КОЛЛЕДЖ–УЧРЕЖДЕНИЕ КУЛЬТУРЫ»

И.А. Сёмкина

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

*Реализация всех целей в педагогических науках зависит от кадрового ресурса и системной разработки вопроса в решении поставленных задач. Прогнозирование, планирование, координирование и мониторинг эффективности деятельности позволяет четко выстроить работу по взаимодействию участников партнерства «колледж–учреждение культуры» при организации процесса формирования ценностного отношения девушек-учащихся колледжей к семье.*

*Цель статьи — показать роль координационного совета в функционировании партнерства «колледж–учреждение культуры» в процессе формирования ценностного отношения девушек-учащихся к семье.*

**Материал и методы.** *Представленное исследование основано на анализе статистических данных и научно-методических разработок учреждений культуры и искусств, готовящих специалистов социокультурной сферы. Для реализации поставленной цели использовались следующие методы: терминологические, анкетирование, математической статистики, изучение и обобщение психолого-педагогического опыта.*

**Результаты и их обсуждение.** *Разработанная авторская модель формирования ценностного отношения девушек-учащихся к семье позволяет реализовать ее в практической деятельности посредством методики через организацию партнерской сети учреждений образования и культуры. Определяя ресурсный потенциал каждого участника-партнера, необходимо предложить координатора данной деятельности для реализации функций планирования и контроля; курирования и регулирования деятельности; материально-технического, информационно-методического обеспечения; организации рекламы и привлечения участников; установления межсетевого взаимодействия с общественными организациями, здравоохранения, фондами, которые могут оказать спонсорскую и организационную помощь для обеспечения деятельности; мониторинга и оценки эффективности. В данном исследовании таким выступил координационный совет партнерства «колледж–учреждение культуры», созданный из группы специалистов учреждения образования и социокультурной сферы.*

**Заключение.** *Деятельность по координации социокультурного партнерства направлена на повышение уровня сформированности структурных компонентов ценностного отношения девушек к семье при педагогическом взаимодействии участников-партнеров. Включенность ресурса каждого партнера, слаженность работы, сочетание универсальности, вариативности и последовательности использования основных методов, форм и средств социально-культурной деятельности, при соблюдении организационно-педагогических условий, позволяет расширить возможности и потенциал каждого участника партнерской сети.*

**Ключевые слова:** *партнерство «колледж–учреждение культуры», координационный совет, ценностное отношение девушек-учащихся к семье.*

## ROLE OF THE COORDINATING COUNCIL IN THE OPERATION OF COLLEGE-ESTABLISHMENT OF CULTURE PARTNERSHIP

I.A. Siomkina

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

*Implementation of all goals in pedagogical sciences depends on staff resource and system development of an issue in solving the tasks. Forecasting, planning, coordination and monitoring of the operation efficiency makes it possible to structure the work of the interaction of the partnership college-establishment of culture participants while organizing the process of shaping college girl students' value attitude to the family.*

*The purpose of the article is to demonstrate the role of the Coordination Council in functioning of the college-establishment of culture partnership in the process of shaping girls' value attitude to the family.*

**Material and methods.** *The work is based on the analysis of statistic data as well as scientific and methodological papers of establishments of culture and art which train social and culture specialists. To reach the research goals the following methods were used: the terminology, questionnaire, mathematical statistics, study and generalization of psychological and pedagogical experience.*

**Findings and their discussion.** The developed author's model of shaping girl students' value attitude to the family makes it possible to implement it in the practical activity using methods of organization of the partnership network of establishments of education and culture. When identifying the resource potential of every participant partner it is necessary to propose a coordinator of this activity to implement planning and control functions; tutorial and regulation of the activity; material-technical, information and methodological provision; advertising organization and participant attraction; establishing internetwork cooperation with public, health establishments, foundations, which can render sponsor and organization assistance; monitoring and efficiency assessment. In the research, this is the college-establishment of culture partnership Coordination Council which is made up of the establishment of education and the establishment of culture group of specialists.

**Conclusion.** Activities on the coordination of social and cultural partnership aims at the improvement of the level of shaping structural components of girls' value attitude to the family with pedagogical cooperation of participant partners. Involvement of each partner's resource, synchrony of work, composition of universality, variation and coherence of using basic methods, forms and tools of social and cultural activity, with organization-pedagogical conditions being observed, makes it possible to expand opportunities and potential of each participant of the partner network.

**Key words:** college-establishment of culture partnership, Coordination Council, student girls' value attitude to the family.

**Р**етроспективный анализ научно-педагогической литературы показывает, что трактовка семьи как определение ценности и характера отношения к ней на различных исторических этапах отличалась неоднозначностью, зависела от культурно-исторических, политических и социальных событий. В современной западной культуре наблюдаются сдвиги нравственных парадигм (легализация однополых союзов, распространение «гостевых» браков, идеология «childfree» и др.), что ведет к искоренению традиционных устоев брачно-семейной сферы и обесцениванию семьи как социального института.

Государственная политика Республики Беларусь ориентирована на сохранение и укрепление традиционной модели семьи, базирующейся на браке, родительстве и межпоколенной преемственности. В Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы приоритетное место принадлежит главе «Национальная демографическая безопасность — сохранение населения, укрепление здоровья нации и поддержка семьи», где в отдельном разделе обозначены направления в теме «Повышение рождаемости и укрепление института семьи» [1].

Реализация данной стратегии возможна через системную педагогическую работу по формированию у подрастающего поколения установки на семью как ценность. Под ценностным отношением к семье мы определяем интегративную совокупность динамических свойств личности, включающую в себя направленность как на семейные ценности (сопричастность с семьей, родом, предками, знание и трансляция истории своей семьи, обычаев и традиций своего рода), так и интересы, потребности и убеждения, посредством которых происходит выявление значимости семьи для отдельной личности и общества в целом [2, с. 32]. Для девушек-учащихся сущность такого отношения в складывающихся социально-исторических и культурных условиях развития белорусского государства выражается в стремлении к знаниям о брачно-семейной сфере, формировании положительного образа себя в роли жены, матери, психологической готовности к созданию собственной семьи и сохранению родственных отношений.

В этой связи особую актуальность обретает создание совета в социокультурной сфере, призванного осуществлять координацию партнерства «колледж–учреждение культуры» в ходе целенаправленной воспитательной работы с девушками-учащимися по формированию ценностного отношения к семье.

**Материал и методы.** Представленное исследование основано на анализе статистических данных и научно-методических разработок учреждений культуры и искусств, готовящих специалистов социокультурной сферы. Для реализации цели использовались следующие методы: терминологические, анкетирование, математической статистики, изучение и обобщение психолого-педагогического опыта.

**Результаты и их обсуждение.** На основе разработанной нами авторской педагогической модели формирования ценностного отношения девушек к семье в условиях партнерства «колледж–учреждение культуры» [2, с. 61] установлено, что ее эффективность напрямую зависит от уровня подготовленности включенных специалистов и слаженной системной работы. Важно отметить, что в нашем исследовании партнерство «колледж–учреждение культуры» представляет собой открытую внутренне дифференцированную динамичную социокультурную систему, которая интегрирует деятельность учреждения образования (колледж культуры) и учреждений культуры (библиотека, музей, центр народного творчества, театр, филармония) с целью формирования благоприятной воспитательной социально-культурной среды и реализуется благодаря заинтересованности участников партнерской сети в создании организационно-педагогических условий для формирования ценностного отношения девушек-учащихся к семье.

Для оценки наполненности воспитательной среды и подготовленности специалистов по теме семьи нами было проведено анкетирование 340 респондентов девушек-учащихся колледжей. Результаты показали: только 18,5% респондентов рассматривают колледж как источник информации о семье и семейных ценностях, так как отмечают, что мероприятия по данной тематике проводятся. Основными информационными каналами являются семья (45,88%) и средства массовой информации (28,23%). При этом 56,47% опрошенных выразили желание обсуждать вопросы ценностного отношения к семье в колледже во внеучебное время, полагая, что это поможет осознанию собственных мотивов создания семьи. Отрицательную мотивацию указали 30,89%, из них 18% объяснили нежелание высокой учебной нагрузкой («и так много занятий»). Затруднились ответить 12,64% на вопрос «Интересно ли Вам получать информацию о семье, семейных ценностях, законодательстве в сфере брачно-семейных отношений?». Предположим, что возможно такой процент обусловлен неактуальностью используемых форм социокультурной деятельности при проведении мероприятий в условиях учреждения образования. Необходимо отметить, что у 69,11% в качестве мотива положительного ответа была определена направленность на юридическую компетентность: «хочу получать информацию о законодательстве в области брачных отношений», «в области защиты материнства» — 14,7%. Немалое число респондентов не смогли четко сформулировать, в какой сфере брачно-семейных отношений хотели бы получить знания, и ответили «просто интересно» либо «хочу узнать что-то полезное для будущей семейной жизни» — 45,29%. Возможно, такой ответ обусловлен нежеланием уточнять конкретные сферы либо свидетельствует о значительном интересе ко многим вопросам, касающимся семьи и брака. Вопрос включения в программу по формированию ценностного отношения к семье в условиях партнерства, при пояснении, что будет реализовано, вызвал интерес у большинства 82,4%. Вместе с тем анализ всех полученных данных позволил нам констатировать фрагментарный, эпизодический характер работы в указанном направлении, что поясняется комплексным планом, включающим все направления воспитательной работы. Восполнение данного пробела требует пересмотра подходов к организации воспитательной среды с выходом за пределы применения классических форм организации досуговой деятельности в учреждениях не только образования, но и культуры.

В ходе проведения исследования была выделена ресурсная составляющая партнерства «колледж–учреждение культуры»: потенциал кадрового ресурса (педагогические работники колледжа и сотрудники учреждений культуры, имеющие опыт в организации творческих объединений); потенциал информационного ресурса (единый банк данных всех участников партнерства, рекламная деятельность); потенциал материального ресурса (материально-техническая база организации-партнера); потенциал научно-методического ресурса (методическое сопровождение процесса и подготовка специалистов социокультурной сферы).

Как убеждена О.Ю. Колосова, потенциал социокультурных институтов реализуется через комплекс взаимодополняющих функций, интегрирующих различные векторы культурной деятельности [3, с. 15]. Так, для усиления функций учреждений-партнеров и реализации ресурсной составляющей партнерства нами был создан на базе учреждения образования «Витебский государственный колледж культуры и искусств» *координационный совет партнерства «колледж–учреждение культуры»* инициативно-творческой группы из числа работников сферы культуры и колледжа.

Для повышения уровня развития базовых компонентов ценностного отношения девушек-учащихся к семье следует обеспечить взаимосвязь педагогического потенциала колледжа и учреждений культуры (учреждений-партнеров), с одной стороны, как отдельных структурно-функциональных единиц, а с другой — как специфических интерактивных площадок, что является *главной целью* деятельности координационного совета.

Анализ работ ведущих исследователей в области партнерства Е.Н. Абузяровой [4], И.М. Вилковой [5], В.С. Загорского [6], О.Н. Машенко [7], О.А. Милькевич [8] и др. позволил выделить следующие *принципы деятельности*: участие учреждений культуры в партнерских отношениях на основании принципа добровольности и равноправия, выполнения договоренностей, установленных координационным центром; устойчивого сотрудничества при взаимодействии; взаимодополняемости учреждений-партнеров в соответствии со спецификой профессиональной деятельности; партнерской и корпоративной солидарности; динамичности и гибкости при реализации программы; открытости и предоставления свободного доступа к образовательным ресурсам; интерактивности творческих подразделений программы; эффективности в распространении педагогического опыта.

По мнению В.И. Редюхина, структура составляющих социального партнерства схожа с составляющими образовательных систем и включает в себя цель, задачи, принципы, функции, условия, методы, формы и средства реализации [9, с. 13].

Следовательно, нами были выделены *основные функции* координационного совета: планирование и контроль функционирования учреждений-партнеров; курирование и регулирование процесса организации деятельности в учреждениях-партнерах; материально-техническое и ресурсное обеспечение; информационно-методическое обеспечение; организация рекламы и привлечение участников; организация межсетевого взаимодействия с общественными организациями, учреждениями образования, здравоохранения, фондами, которые могут оказать спонсорскую и организационную помощь для обеспечения деятельности партнерской сети; мониторинг и оценка эффективности деятельности партнерской сети.

Графически взаимодействие партнеров показано на рис.

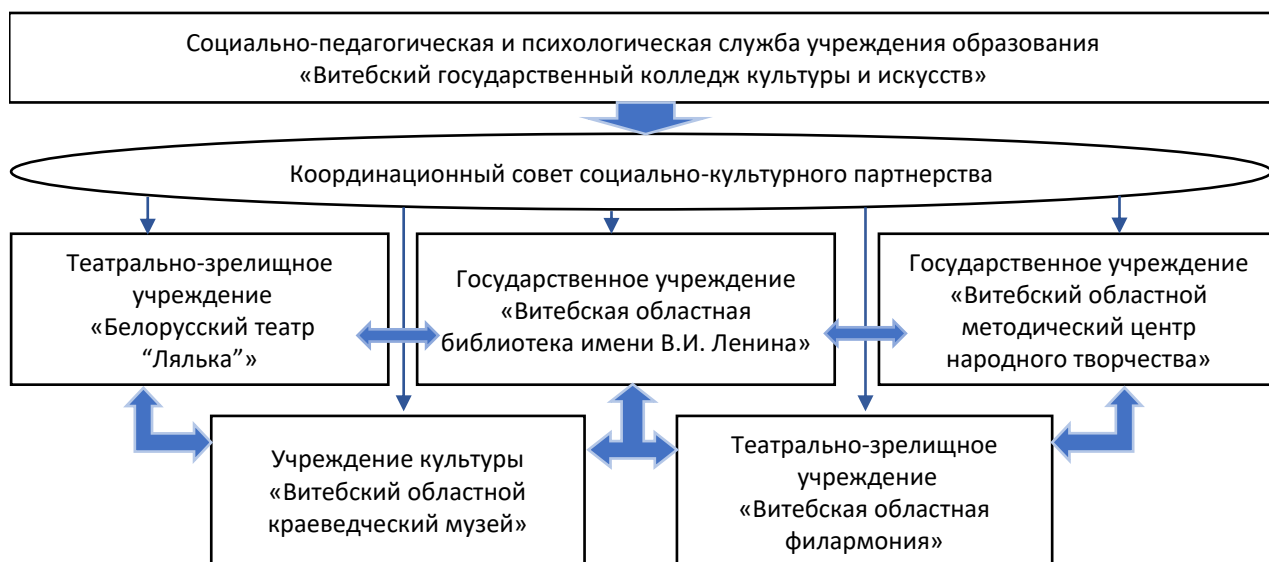


Рис. Структура координационного совета партнерства «колледж–учреждение культуры»

В контексте нашего исследования *планирование работы координационным советом* занимало ключевое место среди основных этапов внедрения педагогической модели, посредством четкой постановки целей, разработки и реализации плана. При отборе учреждений культуры учитывались их направленность, возможности влияния на тот или иной компонент ценностного отношения к семье, планы и графики осуществления ведущей деятельности.

Следующим направлением функционирования координационного совета партнерства «колледж–учреждение культуры» представляется возможным выделить *информационно-методическое сопровождение* и включение участников в основные мероприятия программы. Учитывая полученные данные опроса, небольшое количество девушек-учащихся настроены скептически, поэтому привлечение их к участию в программе реализовывалось посредством применения информационно-рекламных технологий, активно используемых в настоящее время в социально-культурной и воспитательной деятельности.

Здесь же и *курирование содержания работы* партнерства «колледж–учреждение культуры», которое происходит через единство актуальных форм социокультурной деятельности, что выражается в сочетании деятельности творческих подразделений: в библиотеке — философский клуб «Афина»; в театре — творческие программы «Как неразгаданная тайна...»; в музее — секция «Женщина в мировой истории»; в центре народного творчества — молодежная школа «Лада»; в филармонии — музыкальная гостиная «Песнь о женщине».

Каждое творческое подразделение раскрывает свои ресурсные возможности и потенциал форм с учетом методологического базиса: воспитательные возможности учреждений-партнеров; гуманистическая личностная ориентация педагогических концепций; проблемный характер воспитания; игровая и коммуникативная основа педагогического процесса; самоценность досуговых мероприятий.

Ориентация на эти положения позволяет изменить вектор от «педагогика мероприятий» к созидательно-личностной педагогике (В.Т. Кабуш) [10].

Функцию мониторинга и оценки эффективности деятельности партнерской сети координационный совет реализовывает через соблюдение организационно-педагогических условий, посредством которых выполняется методика формирования ценностного отношения девушек-учащихся к семье.

Организационно-педагогическими условиями в нашем исследовании очерчены целенаправленно созданные и взаимосвязанные специфические возможности колледжа и учреждений культуры, воздействующих на личностный и процессуальный аспекты единого педагогического процесса, служащие основой для управления его развитием и функционированием: добровольное включение в партнерские отношения с предоставлением кадровых, организационно-методических, интеллектуальных и материально-технических возможностей; создание взаимодополняющей социокультурной, педагогической, информационно-просветительской и художественно-творческой среды в учреждениях культуры для включения в нее девушек-учащихся; применение комплекса методов, средств и форм организованной социокультурной деятельности в рамках партнерства «колледж–учреждение культуры», нацеленного на повышение уровня ценностного отношения девушек-учащихся к семье.

**Заключение.** Универсальность, вариативность и последовательность использования традиционных в сочетании с инновационными методами, формами и средствами социально-культурной деятельности позволяет успешно реализовываться авторской педагогической модели, направленной на повышение уровня понимания ценности семьи и отношения к ней как социальному институту. Вместе с тем эффективность и слаженность такого направления работы возможна только при регуляции деятельности партнеров координационным советом, включающим специалистов социокультурной и образовательной сфер, четко выполняющих свои функции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы: офиц. сайт Министерства экономики Респ. Беларусь. — URL: <https://economy.gov.by/> (дата обращения: 13.04.2026).
2. Сёмкина, И.А. Формирование ценностного отношения учащихся девушек к семье в условиях партнерства «колледж–учреждение культуры»: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.05 / Сёмкина Ирина Александровна; Бел. гос. ун-т культуры и искусств. — Мн., 2020. — 166 л.
3. Колосова, О.Ю. Социально-культурные институты: сущность и типология / О.Ю. Колосова // Социосфера. — 2014. — № 28. — С. 11–16.
4. Абузярова, Е.Н. Социально-культурное партнерство как фактор формирования имиджа учреждения дополнительного образования детей: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.05 / Абузярова Елена Николаевна; Челяб. гос. акад. культуры и искусств. — Челябинск, 2009. — 206 л.
5. Вилкова, И.М. Социально-культурное партнерство музея и школы как фактор формирования духовной культуры школьников: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.05 / Вилкова Ирина Михайловна; Тамб. гос. ун-т им. Г.П. Державина. — Тамбов, 2008. — 174 л.
6. Загорский, В.С. Кластеры: признаки, диагностика и формирование / В.С. Загорский, А.Н. Тищенко // Проблемы экономики. — 2009. — № 4. — С. 21–28.
7. Машченко, О.Н. Социальное партнерство как социально-педагогический феномен / О.Н. Машченко // Педагогическое образование и наука. — 2011. — № 1. — С. 47–50.
8. Милькевич, О.А. Социально-культурное партнерство как механизм непрерывного педагогического образования / О.А. Милькевич, Г.Н. Скударева // Проблемы современного педагогического образования. — 2019. — № 62/4. — С. 133–137.
9. Редюхин, В.И. Компетенции в коммуникации / В.И. Редюхин // Школьные технологии. — 2007. — № 5. — С. 11–21.
10. Кабуш, В.Т. Открытые воспитательные системы: проблемы и пути их решения / В.Т. Кабуш. — Мн., 1995. — 35 с.

### REFERENCES

1. *Programma sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Belarus na 2026–2030 gody: ofits. sait Ministerstva ekonomiki Resp. Belarus* [Program of Social and Economic Development of the Republic of Belarus for 2026–2030: Ministry of Economy Site]. — URL: <https://economy.gov.by/> (Accessed: 13.04.2026).
2. Siomkina I.A. *Formirovaniye tsennostnogo otnosheniya uchashchikhsia devushek k semye v usloviyakh partnerstva “kolledzh–uchrezhdeniye kultury”*: dis. ... kand. ped. nauk [Shaping Girl Students' Value Attitude to the Family in the Conditions of College–Establishment of Culture Partnership: PhD (Education), Disertation], Mn., 2020, 166 p.
3. Kolosova O.Yu. *Sotsiosfera* [Social Sphere], 2014, 28, pp. 11–16.
4. Abuziarova E.N. *Sotsialno-kulturnoye partnerstvo kak faktor formirovaniya imidzha uchrezhdeniya dopolnitelnogo obrazovaniya detei*: dis. ... kand. ped. nauk [Social and Cultural Partnership as a Factor for Shaping Children Additional Education Establishment Image: PhD (Education), Disertation], Cheliabinsk, 2009, 206 p.
5. Vilkoval I.M. *Sotsialno-kulturnoye partnerstvo muzeya i shkoly kak faktor formirovaniya dukhovnoi kultury shkolnikov*: dis. ... kand. ped. nauk [Social and Cultural Partnership of the Museum and the School as a Factor of Shaping School Student Spirituual Culture: PhD (Education), Disertation], Tambov, 2008, 174 p.
6. Zagorski V.S., Tishchenko A.N. *Problemy ekonomiki* [Issues of Economics], 2009, 4, pp. 21–28.
7. Mashchenko O.N. *Pedagogicheskoye obrazovaniye i nauka* [Pedagogical Education and Science], 2011, 1, pp. 47–50.
8. Milkevich O.A., Skudareva G.N. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya* [Issues of Contemporary Pedagogical Education], 2019, 62/4, pp. 133–137.
9. Rediukhin V.I. *Shkolniye tekhnologii* [School Technologies], 2007, 5, pp. 11–21.
10. Kabush V.T. *Otkrytiye vospitatelniye sistemy: problemy i puti ikh resheniya* [Open Education Systems: Problems and Ways of Solving them], Mn., 1995, 35 p.

Поступила в редакцию 16.04.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: [IrinaSiomkina@yandex.ru](mailto:IrinaSiomkina@yandex.ru) — Сёмкина И.А.

УДК 37.015.31:172.15:331.548:378.09

## ПАТРИОТИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ СТУДЕНТОВ СРЕДСТВАМИ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ В УЧРЕЖДЕНИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**М.В. Лесниченко-Роговская**

*Государственное учреждение образования «Институт бизнеса  
Белорусского государственного университета»*

*Актуализация проблемы интеграции патриотического воспитания в образовательный процесс студентов экономических специальностей в современных условиях становится неотъемлемой частью сохранения жизнеспособности профессионального образования. Профориентационная работа со студентами, получающими высшее образование в Республике Беларусь, традиционно направленная на создание условий последующей адаптации к специальности и включения в процесс ознакомления с предполагаемыми местами работы, обладает высоким воспитательным потенциалом.*

**Материал и методы.** *Основой исследования и использования материала послужил пятилетний опыт работы на кафедре маркетинга Института бизнеса БГУ и включение в профориентационную деятельность кафедры, в том числе разработка и апробация метода кейс-стади на практических занятиях, организация и проведение экскурсий в организации, организация и проведение Форума «Маркетинг 6.0» на протяжении четырех лет.*

**Результаты и их обсуждение.** *Патриотическое воспитание студентов в условиях профориентационной работы — это процесс систематического и целенаправленного социально-педагогического взаимодействия УВО и воспитанников (студентов), характеризующийся сбалансированным использованием совокупности обоснованных средств, форм и методов профориентационной работы с целью формирования патриотического сознания, патриотических чувств, патриотических убеждений, патриотической деятельности.*

**Заключение.** *Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы: патриотическое воспитание студентов не должно противоречить логике их профессиональной подготовки; профориентационная работа в современном УВО — это необходимый компонент получения высшего образования, который позволяет формировать у студентов не только карьерные ожидания, но и чувство сопричастности к развитию Республики Беларусь. Разработанная структурно-функциональная модель доказала свою эффективность.*

**Ключевые слова:** *патриотическое воспитание, профориентационная работа, маркетинг, студенты, высшее образование, Республика Беларусь, бренд, проект.*

## PATRIOTIC EDUCATION OF STUDENTS BY MEANS OF CAREER GUIDANCE WORK AT THE UNIVERSITY

**M.V. Lesnichenko-Rogovskaya**

*State Education Establishment “Institute of Business Belarusian State University”*

*Making the problem of integrating patriotic education into the academic process of Economics students urgent in modern conditions is becoming an integral part of maintaining the viability of vocational education. Career guidance work with students receiving higher education in the Republic of Belarus, which is traditionally aimed at creating conditions for subsequent professional adaptation and inclusion in the process of familiarization with prospective jobs, has a high educational potential.*

**Material and methods.** *The research and the use of the material was based on five years of work experience at the Marketing Department of the BSU Institute of Business and inclusion in the career guidance activities of the department, including the development and testing of the case study method in practical classes, the organization and conduct of excursions at the company, the organization and holding of the Forum “Marketing 6.0” for four years.*

**Findings and their discussion.** *Patriotic education of students in the context of career guidance is a process of systematic and purposeful socio-pedagogical interaction between a university and its students, characterized by the balanced use of a set of reasonable means, forms and methods of career guidance in order to form patriotic consciousness, patriotic feelings, patriotic beliefs, and patriotic activities.*

**Conclusion.** *The conducted research allows us to draw the following conclusions: the patriotic education of students should not contradict the logic of their professional training; career guidance work in a modern university is a necessary component of higher education, which allows students to form not only career expectations, but also a sense of belonging to the development of the Republic of Belarus. The developed structural and functional model has proven its effectiveness.*

**Key words:** *patriotic education, career guidance, marketing, students, higher education, Republic of Belarus, brand, project.*

**В** современной системе высшего образования Республики Беларусь вопросы патриотического воспитания молодежи приобретают статус государственного приоритета. Кодекс Республики Беларусь об образовании [1], Концепция непрерывного воспитания детей и учащейся молодежи, а также ряд отраслевых программ (например, «Молодежь Беларуси») определяют формирование гражданина-патриота как ключевую цель воспитательной работы в учреждении высшего образования [2]. Однако традиционные подходы к патриотическому воспитанию (военно-патриотические клубы, уроки мужества) нередко остаются по большей части формальными для студентов негуманитарных специальностей, в частности для будущих маркетологов.

Специфика обучения студентов по специальности «Маркетинг» заключается в усиленном акценте на практико-ориентированность, понимание рыночных механизмов конкуренции, коммерциализации. Это создает некоторое противоречие в воспитании студента: с одной стороны, рынок требует от выпускника прагматичности и нацеленности на прибыль, с другой — государство ожидает от него социальной ответственности и приверженности национальным интересам. Разрешение данного противоречия возможно через поиск точек соприкосновения, где профессиональная компетентность пересекается с гражданской позицией.

**Материал и методы.** На уровне конкретно-научной методологии были определены следующие подходы: гуманистический (В.А. Караковский, Н.К. Катович и др.), аксиологический (Е.В. Бондаревская, С.А. Долгов, С.Д. Лаптенко и др.), культурологический (С.Н. Самтонов, М.Ю. Узгорок и др.), компетентностный (А.И. Кочетов, И.А. Донская, В.Н. Наумов) [3–8].

В рамках аксиологического подхода, который базируется на воспитании целостной личности, способной самостоятельно и творчески мыслить, патриотическое воспитание студентов направлено на понимание собственного предназначения и развитие чувства гордости за свою страну, бережное отношение к ее историко-культурным, производственным и природным ресурсам.

Согласно гуманистическому подходу основу патриотического воспитания составляет забота об интересах и исторической судьбе своего государства. Родина трактуется в рамках этого подхода как данная человеку судьбой, а человек как абсолютная ценность является целью, средством и результатом воспитания. Культурологический подход к патриотическому воспитанию детей и молодежи предполагает усвоение лучших образцов культуры Родины как прошлого, так и настоящего времени, изучение закономерностей происхождения, развития и функционирования отечественной культуры.

**Результаты и их обсуждение.** Профориентационная работа — составной компонент педагогической системы учреждений высшего образования, традиционно включающий три этапа: допрофессиональный (работа с абитуриентами), профессиональный (адаптация и обучение студентов) и послепрофессиональный (трудоустройство и наставничество). Однако в последние годы наблюдается расширение функций профориентации. Согласно исследованиям российских ученых (С.Н. Чистякова, Е.Ю. Пряжникова), профориентация становится средством формирования профессиональной идентичности и социальной ответственности.

В контексте Республики Беларусь профориентационная работа регулируется Приказом Министерства образования «О совершенствовании профориентационной работы в учреждениях высшего образования». УВО сегодня выступают не просто поставщиками образовательных услуг, а центрами социально-экономического развития регионов. Это накладывает на кафедры, особенно экономического профиля, обязательства по подготовке кадров, лояльных к своим работодателям и региону.

Профориентационная работа, традиционно рассматриваемая как инструмент формирования контингента студентов, в последние годы трансформируется в многофункциональную систему. Она включает в себя не только рекрутинг абитуриентов, но и работу с кадровым потенциалом региона, раннюю профессионализацию. Именно в этой сфере, как показывает практика, наиболее органично интегрируются элементы патриотического воспитания.

Патриотическое воспитание в контексте компетентностного подхода в современной педагогической науке представляется не как изолированное направление, а как сквозной компонент образовательного процесса учреждения высшего образования. Анализ работ белорусских исследователей (А.И. Кочетов, И.А. Донская, В.Н. Наумов) позволяет выделить три ключевых структурных компонента патриотизма применительно к студенческой молодежи:

1. Когнитивный — знание истории, культуры, экономического потенциала и геополитической роли Республики Беларусь.

2. Эмоционально-ценностный (мотивационный) — формирование чувства гордости за достижения страны, привязанности к малой родине, уважения к государственным символам и традициям.

3. Деятельностный — готовность и умение своими профессиональными действиями способствовать процветанию страны.

Для студентов экономических специальностей, в частности студентов-маркетологов, деятельностный компонент имеет особое значение. Патриотизм должен проявляться не в заявлениях, а в конкретных профессиональных решениях: продвижение отечественного товара, этическое ценообразование, формирование позитивного имиджа белорусских производителей.

Специфика кафедры маркетинга Института бизнеса БГУ заключается в том, что объектом теоретического и практического изучения студентами являются рынки, потребители и маркетинговые коммуникации. Если в рамках профориентационной работы студент начинает взаимодействовать с реальными предприятиями не как сторонний наблюдатель, а как потенциальный сотрудник или исследователь, у него формируется жизнеспособная связь с экономикой региона и страны. Экскурсия на ОАО «МТЗ», ОАО «АМКОДОР», ОАО «Керамин», СОАО «Коммунарка», ОАО «Галантэя» и др. для студента-маркетолога — это не просто знакомство с производством, а изучение каналов сбыта, конкурентных преимуществ продукции, бренд-коммуникаций. Когда студент осознает, что его будущая профессия служит развитию национальной экономики, происходит естественное формирование патриотических чувств через профессиональную деятельность.

На основе теоретического анализа и опыта работы кафедры маркетинга (Институт бизнеса Белорусского государственного университета) одного из ведущих учреждений высшего образования Республики Беларуси нами была разработана и апробирована структурно-функциональная модель патриотического воспитания студентов средствами профориентационной работы в учреждении высшего образования. Модель включает четыре взаимосвязанных блока: целевой, организационно-содержательный, процессуальный и результативно-оценочный.

*Целевой блок.* Цель: формирование у студентов кафедры маркетинга устойчивой патриотической позиции, проявляющейся в стремлении применять профессиональные компетенции для социально-экономического развития Республики Беларусь.

Задачи:

- сформировать систему знаний об экономическом потенциале и стратегии развития «умной экономики» Беларуси;
- развить ценностное отношение к отечественным производителям и брендам;
- включить студентов в практико-ориентированную деятельность по содействию трудоустройству и развитию кадрового потенциала региона.

*Организационно-содержательный блок.* Этот блок базируется на принципах интеграции (совмещение воспитательных и профессиональных задач), регионализации (опора на местные предприятия и культурные традиции), диалогичности (субъект-субъектное взаимодействие с работодателями).

Задачи:

- формирование патриотического сознания на основе изучения профильных (специальность «Маркетинг») организаций и предприятий Республики Беларусь;
- формирование чувства любви и гордости за свою родную землю, верности Отечеству, понимание экономической ценности для народа страны деятельности ведущих предприятий Республики Беларусь;
- создание условий для успешной социализации студентов и подготовки к трудовой деятельности, саморазвития каждого из них как личности и индивидуальности, как патриота и гражданина.

Основные направления работы:

1. Историко-экономическое просвещение: изучение истории развития промышленности и торговли в регионе, вклада белорусских ученых-экономистов.

2. Бренд-патриотизм: анализ успешных кейсов белорусских брендов («Белвест», «Марко», «Коммунарка», «Спартак», «Марк Формель» и др.) с точки зрения маркетинговых стратегий. Студенты изучают, как патриотизм становится частью бренд-коммуникации.

3. Карьерное краеведение: формирование базы данных о предприятиях региона, где работают выпускники кафедры, создание «Карты профессионального патриота».

*Процессуальный блок.* Процессуальный блок включает взаимосвязанные этапы построения дальнейшей модели «Специалист» специальности «Маркетинг».

Данный блок представляет собой совокупность форм, методов и средств профориентационной работы, имеющих воспитательный эффект.

Формы работы:

– проектная деятельность в рамках учебных занятий: разработка студентами реальных маркетинговых проектов по продвижению товаров местных производителей в рамках курсов «Интегрированные маркетинговые коммуникации» и «Технологии рекламы в бренд-маркетинге»;

– экскурсионная деятельность: выездные занятия на промышленные предприятия с расширенной программой, включающей посещение музеев истории организаций, лекции и мастер-классы в учреждении высшего образования, встречи с представителями организаций;

– «Форум “Маркетинг 6.0”»: профориентационный проект, в рамках которого студенты старших курсов работают совместно с представителями предприятий и организаций Республики Беларусь, перенимая опыт и включаясь в процесс работы в качестве волонтеров, рассматривая получаемую профессию через призму социальной значимости и вклада в развитие страны;

– Дни карьеры (День маркетолога — 25 октября) и ярмарки вакансий в Институте бизнеса БГУ: акцент делается не только на условиях труда, но и на социальной миссии предприятий и организаций.

Средства профориентационной работы:

– «кейс-стади» с региональным компонентом (разбор ситуаций по разработке стратегий реализации белорусской продукции). Использование разработанных кейсовых решений предприятиями в деятельности (СОО «Коммунарка», ОАО «Галантэя», ООО «Формэль», СОО «Парфюмерно-косметическая фабрика “Модум — наша косметика”» и др.);

– экскурсии. Образовательная или учебная экскурсия — это проведение учебного занятия в условиях производства, музея с целью наблюдения и изучения студентами различных объектов и явлений действительности;

– проект. В контексте воспитательной работы со студентами проект понимается как инструмент реализации педагогической модели патриотического воспитания. При разработке проекта основным положением выступало использование коммуникации «отраслевая (профильная) организация — студент» как целостного процесса взаимодействия с будущими работодателями. В результате создаются условия для формирования социально активной личности, способной к преобразованию окружающей действительности и себя в ней, что будет прослеживаться в поведении студентов и в их дальнейшей профессиональной деятельности.

*Результативно-оценочный блок.*

Критерии эффективности модели:

1. Когнитивный: уровень знаний об экономической истории Республики Беларуси и текущей стратегии развития (оценивается через включенные задания в экзаменационные билеты, тестирование).

2. Эмоционально-ценностный или мотивационный: рост интереса к специальности и практики работы в государственном секторе экономики и на предприятиях частного сектора (по данным мониторинга трудоустройства).

3. Деятельностный: участие студентов в волонтерских проектах кафедры, количество разработанных и защищенных проектов по продвижению отечественных брендов для организаций и предприятий, участие в республиканских конкурсах от ведущих организаций.

Апробация предложенной модели проводилась в течение 2023–2026 учебных годов на базе кафедры маркетинга ГУО «Институт бизнеса БГУ». В профориентационной работе участвовали студенты I–IV курсов специальности «Маркетинг» и других специальностей института, а также учреждений высшего образования Республики Беларусь — участников проекта «Форум “Маркетинг 6.0”» (общая выборка за 4 года — 1380 человек). Основное внимание уделялось реализации трех ключевых методов (кейс-стади, экскурсии, проект «Форум “Маркетинг 6.0”»).

*«Кейс-стади» с региональным компонентом.* В рамках дисциплин «Интегрированные маркетинговые коммуникации» и «Технологии рекламы в бренд-маркетинге» студентам предлагалось разработать комплексную программу вывода новой линейки существующего продукта на рынок и разработать рекламную кампанию данного продукта для организаций (примеры «Парфюмерно-косметическая фабрика “Модум — наша косметика”», СОАО «Коммунарка» и др.). Ключевым условием была ориентация не только на коммерческую эффективность, но и на социально-культурный код страны.

Форма кейсов (преимущества использования):

- применение воспитательных и цифровых технологий;
- использование цифрового пространства и пространства отраслевой организации для коммуникации в системе «преподаватель–отраслевая организация»;
- создание проекта решения поставленной преподавателем и отраслевой организацией перед студентом задачи.

Результаты: около 20 проектов были переданы для ознакомления в отделы маркетинга функционирующих предприятий. Некоторые студенческие разработки были отмечены руководителями предприятий и приняты в работу. В ходе выполнения проектов студенты глубже изучили технологические цепочки, историю предприятий, что повысило рост интереса в дальнейшем трудоустройстве в реальном секторе экономики страны.

*Экскурсии.* Формы экскурсий (преимущества использования) по:

- содержанию: тематические и комплексные экскурсии проводят в связи с освоением одной или нескольких взаимосвязанных тем в рамках получения специальности «Маркетинг».
- форме проведения: экскурсия-лекция, экскурсия-консультация, экскурсия-демонстрация, учебная экскурсия, рекламная экскурсия, экскурсия-дегустация.

Были организована серия выездных мероприятий на предприятия в городе Минске и в малые города Беларуси (Заславль, Жодино и др.): ОАО «МТЗ», ОАО «АМКОДОР», УП «А1», ОАО «ГАЛАНТЭЯ», ОАО «Сбер Банк», ОАО «Керамин», СОАО «Коммунарка» и др.

Воспитательный эффект: общение с молодыми специалистами, работающими на местных производствах, позволило студентам преодолеть стереотип о том, что успешная карьера маркетолога возможна только в других странах. Сформировалось понимание важности развития регионов для целостности страны.

*Проект «Форум “Маркетинг 6.0”».* Концепция мероприятия направлена на популяризацию профессий, связанных с маркетингом; вовлечение студентов белорусских учреждений высшего образования в научно-практическую деятельность по изучению маркетинга и приобретению опыта применения на практике полученных знаний в области маркетинга; на сотрудничество Института с белорусскими предприятиями, организациями, брендами, результативно использующими маркетинг в своей коммерческой деятельности. Информационным партнером мероприятия выступает Минское отделение Белорусской торгово-промышленной палаты. Программа мероприятия традиционно включает два рабочих дня. Кафедрой маркетинга организуются для приглашенных к участию студентов Института бизнеса БГУ и белорусских учреждений высшего образования «Маркетинг-марафон» от ведущих белорусских компаний и Олимпиада по маркетингу (практико-ориентированное мероприятие — выполнение кейсов от гипотетической организации-заказчика).

На протяжении четырех лет презентацию опыта в маркетинге представляли следующие организации: «Slivky.by», парфюмерный бренд Oume, студия-видеопродакшн «Экшн студио», пресс-служба Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Открытого акционерного общества «АМКОДОР» управляющая компания холдинга, ОАО «Галантэя», Минский часовой завод «Луч», рекламное агентство «Salmon Graphics», ООО «РЕЛУИ БЕЛ», СОАО «Коммунарка», компания «Модум-наша — косметика» и др.

В форуме принимали участие студенты Института бизнеса БГУ, БГУ, БГЭУ, Академии управления при Президенте Республики Беларусь, БНТУ, МИТСО, БГАТУ, БГСХА (г. Горки), ВГТУ (г. Витебск), ГГУ им. Янки Купалы (г. Гродно) (ежегодно количество достигает 250–350 студентов).

*Студенческий научный кружок «Общество молодых маркетологов»* (кафедра маркетинга Института бизнеса БГУ). С целью преемственности поколений и трансфера ценностей был создан и функционирует студенческий кружок, объединяющий студентов. Важно отметить, что работа кружка была переведена в профессиональную плоскость. Это формирует уважение к истории своей страны и способствует пониманию преемственности поколений в профессии.

Для оценки эффективности внедренной модели использовался комплекс диагностических методик: анкетирование (опросник «Уровень сформированности патриотических качеств»), анализ портфолио студентов, мониторинг распределения выпускников.

На начальном этапе эксперимента (сентябрь 2023 г.) среди студентов III курса был проведен опрос о предпочтениях места работы. Только 23% респондентов рассматривали возможность трудоустройства в государственных компаниях, частных организациях республики или на промышленных предприятиях реального сектора. Основные опасения были связаны с низким уровнем заработной платы и «отсутствием» маркетинга на таких предприятиях.

На контрольном этапе (май 2025 г.) после участия в проектах и прохождения практик на тех же предприятиях количество студентов, готовых рассмотреть трудоустройство в республике, увеличилось до 54%. Причем мотивация изменилась: если изначально доминировала прагматичная («если не найду другое»), то в конце эксперимента — ценностная («интересные задачи по развитию бренда», «важность работы для региона, страны»).

Сравнительный анализ результатов опроса показал, что студенты группы, включенные в профориентационную деятельность с патриотическим компонентом, продемонстрировали на 18% более высокие результаты в вопросах, касающихся специфики белорусского рынка и государственной поддержки экспорта, по сравнению с контрольной группой (обучение по стандартной программе).

Значимым показателем стало увеличение участия студентов кафедры в республиканских и городских патриотических мероприятиях, не связанных напрямую с учебным планом. По мнению кураторов учебных групп, это обусловлено профориентационными экскурсиями, благодаря чему у студентов сформировалась более тесная эмоциональная связь с конкретными местами и предприятиями, которые они начали воспринимать как часть своей профессиональной подготовки.

**Заключение.** Таким образом, патриотическое воспитание студентов в условиях профориентационной работы — это процесс систематического и целенаправленного социально-педагогического взаимодействия учреждения образования и воспитанников (студентов), характеризующийся сбалансированным использованием совокупности обоснованных средств, форм и методов профориентационной работы с целью формирования патриотического сознания, патриотических чувств, патриотических убеждений, патриотической деятельности.

Проведенное исследование и опытно-экспериментальная работа позволяют сделать следующие выводы:

– патриотическое воспитание студентов не должно противоречить логике их профессиональной подготовки. Напротив, наиболее эффективным является «встроенный» формат, когда патриотические ценности транслируются через содержание профессиональной деятельности;

– профориентационная работа в современном учреждении высшего образования обладает значительным, но часто недооцененным воспитательным потенциалом. Выход за рамки формальности и трансформация профориентации в систему погружения в экономику страны позволяет формировать у студентов не только карьерные ожидания, но и чувство сопричастности к развитию республики;

– разработанная структурно-функциональная модель, включающая проектно-исследовательскую деятельность, экскурсионную работу, партнерство с организациями и предприятиями республики, доказала свою эффективность. Ключевыми педагогическими условиями ее реализации являются:

- а) взаимодействие на уровне *студент — учреждение высшего образования — предприятие*;
- б) использование краеведческого и историко-экономического материала;
- в) акцент на деятельностный компонент (реальные проекты для реальных предприятий);

– перспективы дальнейших исследований видятся в разработке методического обеспечения оценки патриотической направленности у студентов экономических специальностей, а также в расширении спектра цифровых инструментов профориентационной работы (виртуальные туры по предприятиям, онлайн-кейсы), сохраняющих воспитательную нагрузку.

Следовательно, интеграция патриотического воспитания в систему профориентационной работы учреждения высшего образования является не просто желательной, а необходимой мерой для формирования конкурентоспособного, социально ответственного и лояльного своей стране специалиста, отвечающего вызовам современной экономики Республики Беларусь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс Республики Беларусь об образовании от 13 янв. 2011 г. № 243-З (с изм. и доп.). — Мн.: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2023. — 400 с.
2. Концепция непрерывного воспитания детей и учащейся молодежи в Республике Беларусь: утв. постановлением Министерства образования Республики Беларусь 15.07.2015 № 82 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. — 2015. — № 8/30023.
3. Кочетов, А.И. Теория и практика патриотического воспитания в Республике Беларусь / А.И. Кочетов. — Мн.: РИВШ, 2021. — 208 с.
4. Наумов, В.Н. Формирование профессиональной идентичности будущих экономистов средствами профориентационной работы / В.Н. Наумов // Высшая школа. — 2023. — № 2. — С. 18–23.
5. Пряжников, Е.Ю. Профориентация: учебник для академического бакалавриата / Е.Ю. Пряжников, Н. С. Пряжников. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2024. — 405 с.
6. Чистякова, С.Н. Педагогическое сопровождение профессионального самоопределения обучающихся / С.Н. Чистякова // Педагогика. — 2021. — № 5. — С. 45–51.
7. О совершенствовании профориентационной работы в учреждениях высшего образования: Приказ Министерства образования Республики Беларусь от 23 марта 2020 г. № 218 // КонсультантПлюс: Беларусь. — Мн., 2024.
8. Кривко, Е.В. Маркетинг образования как фактор развития кадрового потенциала региона / Е.В. Кривко // Экономический бюллетень НИИИ Министерства экономики Республики Беларусь. — 2023. — № 11. — С. 72–78.

#### REFERENCES

1. *Kodeks Respubliki Belarus ob obrazovanii ot 13 yanv. 2011 g. № 243-Z* [Code of the Republic of Belarus on Education of January 13, 2011 № 243-3], Mn.: Nats. tsentr pravovoi inform. Resp. Belarus, 2023, 400 p.
2. *Kontseptsiya nepreryvnogo vospitaniya detei i uchashcheisia molodezhi v Respublike Belarus: utv. postanovleniyem Ministerstva obrazovaniya Respubliki Belarus 15.07.2015 № 82* [Concept of Continuous Education of Children and Students in the Republic of Belarus: Approved by Ministry of Education of the republic of Belarus Decree of 15.07.2015 № 82], Nationalny reyestr pravovykh aktov Respubliki Belarus, 2015, № 8/30023.
3. Kochetov A.I. *Teoriya i praktika patrioticheskogo vospitaniya v Respublike Belarus* [Theory and Practice of Patriotic Education in the Republic of Belarus], Mn.: RIVSh, 2021, 208 p.
4. Naumov V.N. *Vysheishaya shkola* [Higher School], 2023, 2, pp. 18–23.
5. Priazhnikova E.Yu., Priazhnikov N.S. *Proforiyentatsiya: uchebnik dlia akademicheskogo bakalavriata* [Career Guidance: Bachelor Textbook], M.: Izdatelstvo Yurait, 2024, 405 p.
6. Chistiakova S.N. *Pedagogika* [Science of Education], 2021, 5, pp. 45–51.
7. *O sovershenstvovanii proforiyentatsionnoi raboty v uchrezhdeniyakh vysshego obrazovaniya: Prikaz Ministerstva obrazovaniya Respubliki Belarus ot 23 marta 2020 g. № 218* [About Improving Career Guidance Work at Higher Education Establishments: Decree of the Ministry of Education of the Republic of Belarus of March 23, 2020 № 218], Konsultant Plus: Belarus, Mn., 2024.
8. Krivko E.V. *Ekonomicheski biulleten NIEI Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus* [Economic Bulletin of NIZI of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus], 2023, 11, pp. 72–78.

Поступила в редакцию 03.04.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: mari\_lesnichenko@mail.ru — Лесниченко-Роговская М.В.

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СОПРЯЖЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАНЯТИЯХ АДАПТИВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ ДЛЯ ДЕТЕЙ С ДЕТСКИМ ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ

Е.С. Домино, М.А. Карелин, Д.О. Козлова

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

*В статье представлено исследование, подтверждающее эффективность использования разработанного комплекса уроков адаптивной физической культуры методом сопряженного воздействия, ориентированных на улучшение коррекционно-развивающего процесса у детей с детским церебральным параличом.*

*Цель работы — оценить эффективность разработанного комплекса уроков адаптивной физической культуры методом сопряженного воздействия в процессе занятий с детьми с детским церебральным параличом.*

**Материал и методы.** *Материал: научная и научно-методическая литература. Методы: педагогическое исследование, разработка и внедрение комплексных уроков адаптивной физической культуры, оценка эволюции навыков самообслуживания и физической подготовки до и после эксперимента.*

**Результаты и их обсуждение.** *Авторами доказано, что разработка и внедрение комплексных уроков адаптивной физической культуры методом сопряженного воздействия, ориентированных на интеграцию активных игр и упражнений в контекст экспериментального обучения, показали ощутимые улучшения. В результате реализации проекта было зафиксировано объективное улучшение коррекционно-развивающего процесса, что проявилось в повышении общего балла по всем проведенным тестированиям. Экспериментальный подход подтвердил эффективность адаптивных уроков видоизмененной физкультуры с целевым улучшением жизненно важных умений на 11,2%.*

**Заключение.** *В результате проведенных исследований установлена целесообразность разработки и систематизации занятий по адаптивной физической культуре методом сопряженного воздействия для улучшения коррекционно-развивающего процесса у детей с детским церебральным параличом. Градация и адаптация обучающего материала в таких занятиях способствует усвоению детьми различных моторных навыков, развитию их физических возможностей, формированию произвольной саморегуляции двигательной деятельности, что критически важно для поддержания и улучшения их качества жизни в повседневной деятельности.*

**Ключевые слова:** *специальное образование, адаптивная физическая культура, урок сопряженного воздействия, тяжелые и (или) множественные нарушения психофизического развития, нозологическая группа, детский церебральный паралич, интеллектуальная недостаточность.*

# EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF CONNECTED INFLUENCE METHOD IN ADAPTIVE PHYSICAL EDUCATION CLASSES FOR CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY

E.S. Domino, M.A. Karelin, D.O. Kozlova

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

*The article presents a study which confirms the efficiency of the application of the developed complex of adaptive physical education classes, using the method of connected influence, which are aimed at the improvement of the correction and development process of children with cerebral palsy.*

*The purpose of the work is to assess the efficiency of the application of the developed complex of adaptive physical education classes, using the method of connected influence in the process of training children with cerebral palsy.*

**Material and methods.** *The material is scientific and methodological literature. The methods are pedagogical study, development and introduction of complex classes of adaptive physical education, assessment of the evolution of self-service skills and physical fitness before and after the experiment.*

**Findings and their discussion.** The authors prove that the development and introduction of complex adaptive physical education classes, using the method of connected influence, aimed at the integration of active games and exercises into the context of experimental teaching, demonstrated significant improvement. As a result of the implementation of the project objective improvement of the correction and development process was found out; this manifested itself in the increase of the general score in all the tests. The experimental approach confirmed the efficiency of adaptive classes of the transformed physical education with purposeful 11,2% improvement of vital skills.

**Conclusion.** As a result of the conducted study the feasibility of the development and systematization of adaptive physical education classes using the method of connected influence for the improvement of the correction and development process of children with cerebral palsy was found out. Grading and adaptation of the teaching material in these classes provides children's development of different motor skills, development of their physical abilities, shaping random self-regulation of motor activity which is critically important for the support and improvement of their everyday life quality.

**Key words:** special education, adaptive physical education, connected influence class, heavy and (or) multiple psychophysical development disorders, nosology group, children cerebral palsy, intellectual disability.

Методика сопряженного воздействия в образовательной сфере была адаптирована в 1960-х годах благодаря усилиям В.М. Дьячкова, который является признанным авторитетом в теории и практике физического воспитания и спортивной подготовки. Первоначально разработанная для тренировок высококвалифицированных атлетов, сегодня эта методика находит применение и в образовании детей различных возрастных категорий. Суть метода заключается в комплексном использовании физической активности и методов психологической регуляции во время учебных занятий. В контексте адаптивной физической культуры (АФК), которая служит стратегическим средством для коррекции психомоторики у детей с церебральным параличом, метода сопряженного воздействия на уроках АФК становится особенно значимым.

Данное исследование направлено на подтверждение эффективности и демонстрацию применения метода сопряженного воздействия в процессе занятий адаптивной физической культурой у детей, страдающих детским церебральным параличом.

**Материал и методы.** Детский церебральный паралич (ДЦП) представляет собой неврологическое расстройство, поражающее головной мозг и его функциональные возможности. Различные формы ДЦП проявляются в виде моторных нарушений рефлекторного характера. Дети, страдающие от ДЦП, имеют проблемы с координацией, мышечным тонусом и моторикой. Эти дисфункции затрудняют выполнение ежедневных активностей, включая самостоятельное передвижение, бег, хождение по лестницам и перемещение по неровным поверхностям. Основная цель применения адаптивной физической культуры (АФК) направлена на повышение функциональных возможностей этих детей, таких как ходьба и поднятие по лестницам, что способствует уменьшению уровня их инвалидности.

Современные исследования акцентируют внимание на эффективности адаптивной физической культуры для детей с диагнозом церебрального паралича. Разработаны различные подходы к интерпретации АФК, что обусловлено необходимостью специализированных программ двигательной реабилитации. Авторитетные специалисты в этой области, включая Л.Н. Кравцову, Е.А. Мускаеву и С.В. Чечетину, в своих работах подчеркивают, что АФК является ключевым инструментом в реабилитационной практике для указанной категории детей. Их выводы подкрепляются данными клинических исследований, которые демонстрируют значительные улучшения в выносливости детей с ДЦП после регулярных аэробных и анаэробных тренировок [1; 2]. Участники таких программ показывают прогресс в ловкости, мышечной силе и уверенности в своих физических возможностях. В итоге это не только усиливает их двигательные навыки и самостоятельность, но и улучшает когнитивные функции. Силовые тренировки, как подтверждено многими исследованиями, эффективно укрепляют мышечный корсет, но и не влияют отрицательно на спастичность. В целом физическая активность является признанным методом терапии, улучшающим мышечную силу и аэробные характеристики у детей с ДЦП [3].

Для улучшения реабилитационных результатов при применении адаптивной физической культуры у детей с церебральным параличом активно используется метод сопряженного воздействия. Эффективность этого подхода в области АФК делает его предметом актуальных исследований, которые имеют значимость для разработки методологии в данной сфере. Программы АФК ориентированы на обучение детей с ДЦП базовым бытовым навыкам, элементам профессиональной деятельности и самообслуживанию без внешней помощи. В процессе сопряженных занятий участники осваивают новые навыки, совершенствуют физические и координационные способности. Такие занятия формируют

основу коррекционно-реабилитационных мероприятий, оказывая комплексное воздействие на улучшение функционального состояния и обогащение жизненно необходимыми умениями и навыками, а также произвольной саморегуляции двигательной деятельности.

Для успешной реализации поставленных задач требуется разработать и оценить принципы комбинированного влияния в обучении адаптивной физической культуре у детей с церебральным параличом. В этом контексте создали и реализовали экспериментальные уроки с комбинированным воздействием для усвоения данных методик специалистами центра коррекционно-развивающего обучения и реабилитации. Согласно учебному курсу адаптивной физкультуры, составили программу уроков для учащихся 1–3 классов по темам, включая «Основы ходьбы», «Ползание, лазание», «Катание, бросание, ловля». Обучение проходило трижды в неделю, согласно учебному плану и методическим указаниям программы по организации занятий физической культуры ЦКРОиР.

Содержание уроков было направлено на сопряженное формирование жизненно важных двигательных умений, развитие физических качеств и кардиореспираторной системы, психических процессов и основных воспринимающих систем (анализаторов) у детей с ДЦП. На каждом уроке комплексно и взаимосвязанно решались образовательные, оздоровительные и коррекционно-развивающие задачи, с учетом состояния детей [4]. Программные задачи по АФК для детей с ДЦП определяли содержание уроков. Задания на уроках строились таким образом, чтобы все ученики класса, в том числе с тяжелыми нарушениями, могли их выполнять поточно или фронтально. Детям с тяжелыми нарушениями уделялось особое внимание и предоставлялась физическая помощь со стороны учителя [4]. Например, если одни дети самостоятельно бросали мяч в корзину, то ученики с тяжелыми нарушениями выполняли это упражнение с помощью учителя. Если ученики шли по скамейке самостоятельно, то детей с тяжелыми нарушениями сопровождали учителя вдоль скамейки.

С каждым занятием ученики постепенно осваивали базовые навыки, практикуя заранее полученные двигательные умения как самостоятельно, так и под присмотром. Разнообразные физические упражнения и активности способствуют формированию ключевых моторических умений и укреплению автономии ребенка. Процесс реализации сопряженного занятия по адаптивной физической культуре организуется через четыре этапа: подготовительный, вводный, основной и завершающий.

Стадия подготовки включает проведение воздушных ванн при смене одежды на спортивную униформу.

Вступительный раздел ориентирован на респираторную гимнастику. Задачи данной работы:

- формирование коллектива и сосредоточение восприятия;
- формирование эмоционального настроения;
- формирование произвольной саморегуляции;
- умеренное влияние на кардиореспираторную систему;
- стимуляция обмена веществ;
- воздействие на проблемы физического развития.

Продолжительность основной части, призванной модифицировать физиологическую нагрузку организма, занимает от 20 до 25 минут. Во время этого этапа выполняются специально адаптированные физические упражнения практического характера, включая:

- улучшение общей моторики через упражнения на развитие двигательных умений и навыков;
- общеразвивающие упражнения;
- тренировку мелкой моторики рук;
- коллективные подвижные игры.

Особенность уроков сопряженного воздействия в адаптивной физической культуре заключается в прямой практической ориентации на освоение жизненно важных двигательных действий. Программа содержит специально адаптированные физкультурные упражнения бытового характера, моделирующие повседневные активности, такие как: открытие и закрытие дверей, умывание, расчесывание, ходьба, поднимание и спускание по ступенькам, завязывание, поднятие и опускание объектов, передвижение, мытье, стирка, выжимание и вешание одежды и т.д. Процесс формирования правильности движений включает многократное повторение; ученики сначала наблюдают за инструктором и слушают его, а затем имитируют движения, первоначально с поддержкой, а затем самостоятельно. Обучение проходит в игровой форме, что облегчает детям запоминание и освоение новых навыков.

Физкультурные занятия несут огромную пользу, укрепляя мускулатуру и способствуя гармоничному развитию всех органов. Они активизируют работу кардиореспираторной системы и улучшают функциональное состояние нервной системы. Регулярное выполнение комплексов упражнений на развитие рук, ног и укрепление мышечного корсета тела научит детей контролировать свои движения, повышая их точность и координацию. Движения становятся четкими, направленными и ритмичными. Комплекс подбирается с учетом воздействия на весь организм и на коррекцию слабых мышечных групп.

Для улучшения двигательных навыков мы применяли комплексные упражнения и активные игры из учебного плана вместе с другими методами. Подбор упражнений производился с учетом темы занятия, целью которого было специализированное физическое воспитание для укрепления мышц и развития опорно-двигательного аппарата для выполнения ключевых действий, соответствующих обучаемой теме. Например, в рамках уроков на тему «Броски» акцент делался на укреплении мышц верхней части тела и рук, в то время как занятия «Прыжки» сосредоточились на развитии мышц нижней части тела туловища и нижних конечностей.

Помимо упражнений, выполняемых в положении стоя, детям также предлагаются исходные положения сидя и лежа для разгрузки позвоночника и более избирательного воздействия на мышцы.

В процессе проведения общеразвивающих тренировок применяется специализированный инвентарь вроде флажков, платков и мячей, благодаря которому усиливается мышечная нагрузка и стимулируются положительные эмоции и навыки манипуляции объектами, постепенно совершенствующиеся.

В рамках уроков сопряженного воздействия, направленных на адаптивную физическую культуру, включены упражнения для стимуляции мелкой моторики рук, что способствует осознанному управлению действиями рук и пальцев у детей. Программа также охватывает индивидуализированные и специализированные задачи, ориентированные на уникальные аспекты развития каждого ребенка. С целью улучшения функционирования вестибулярного аппарата и предотвращения плоскостопия проводятся упражнения на механотерапевтических тренажерах. Активно используются адаптированные подвижные и сюжетно-ролевые игры, нацеленные на коррекцию нарушений.

На протяжении тренировочных сессий были внедрены динамичные игровые упражнения, подобранные для развития различных физических навыков. Включены такие элементы, как бег, прыжки, ползание, разнообразные стили ходьбы, быстрые переходы между позами, — всё это направлено на совершенствование координации движений, точности, моторной реакции, способности к сосредоточению и пространственной ориентации. В программу вошли следующие игры:

1. «Пятнашки», стимулирующая развитие скоростных навыков и пространственной ориентации.
2. «Челнок», способствующая улучшению быстроты и точности движений, развивающая пространственную ориентацию и мастерство передвижения разнообразными методами.
3. «Услышь свое имя», направленная на улучшение скорости реагирования.
4. «Солнышко», предназначенная для улучшения скорости и точности движений.
5. «Быстрый и ловкий», «Бездомный щенок», «Спаси друга», ставящие целью улучшение координации, точности движений, развитие отзывчивости, концентрации и пространственной ориентации.
6. «Кто быстрее», направленная на улучшение мелкой моторики рук, повышение скорости и точности двигательных навыков.
7. «Мяч по кругу», улучшающая концентрацию и точность координации движений.
8. «Эстафета с мячом», способствующая улучшению скорости и координации движений.

Для усиления результативности групповых динамических игр в работе с детьми мы:

- стартовали в игре дисциплинированно и пунктуально;
- неизменно стимулировали увлечение игрой, активное участие и креатив игроков;
- регулировали идеальный уровень физических и ментальных нагрузок на детей с церебральным параличом.

В завершающей стадии занятия постепенно снижается интенсивность нагрузки для стабилизации сердечно-сосудистой и дыхательной функций, для этого применяются легкие исходные позиции. Этап включает устранение усталости, закрепление освоенных техник и плавный переход к обычной дневной активности. Упражнения, направленные на расслабление и концентрацию внимания, демонстрировались через дыхательные практики, ритмические движения, танцевальные элементы и сочетались с медленной прогулкой и низкоинтенсивными играми.

Для улучшения результативности занятий АФК, оказывающих комплексное влияние, следует использовать эмоционально насыщенные методики. Эмоции можно повысить через разнообразие физических упражнений, позитивный настрой занятия, интонационные особенности команд учителя, а также через создание условий для достижения участниками видимого прогресса.

В ходе разработки и проведения уроков было применено множество методик для детей с церебральным параличом, охватывающих все спектры физических способностей и качеств.

**Результаты и их обсуждение.** Разработка и внедрение комплексных уроков адаптивной физической культуры сопряженного воздействия, ориентированных на интеграцию активных игр и упражнений в контекст экспериментального обучения, показали ощутимые улучшения. Оценка эволюции навыков самообслуживания до и после эксперимента выявила значительные пробелы в начальных умениях учащихся осуществлять базовые бытовые операции, такие как распаковка продуктов, наливание воды и гигиена полости рта. В результате реализации проекта было зафиксировано объективное увеличение компетенций в данных сферах, что проявилось в повышении общего балла по всем проведенным тестированиям. Экспериментальный подход подтвердил эффективность адаптивных уроков видоизмененной физкультуры с целевым улучшением жизненно важных умений на 11,2% [4].

В рамках проведенного педагогического исследования наблюдались значительные улучшения в развитии игровой активности и повышении уровня физической подготовленности учащихся. Анализ продемонстрировал усиление координации движений и укрепление сердечно-сосудистой системы. Достижение этих результатов обусловлено применением индивидуализированного выбора динамичных игр и специфических упражнений в процессе каждого занятия.

Наши исследования подтверждают, что учебные программы адаптивной физической культуры должны направляться на разработку критически значимых двигательных навыков, укрепление физических свойств, поддержание функциональности кардиореспираторной системы, стимуляцию психических функций и улучшение работы перцептивных систем тела (анализаторов). Наш эксперимент указывает на необходимость интегрированного и системного подхода в рамках каждого занятия по АФК, особенно в рамках их последовательной реализации, где должны синхронно решаться образовательные, оздоровительные, а также коррекционно-реабилитационные задачи. Цель таких занятий — проведение коррекционных мероприятий с учетом текущего физического и психологического состояния детей.

Реабилитация двигательных нарушений проводится систематически и методично, что предполагает осуществление с применением индивидуальных игровых методик и других терапевтических активностей, ориентированных на уникальные требования двигательного развития детей с церебральным параличом. Эффективность в овладении двигательными умениями значительно увеличивается благодаря такому подходу. Образовательные программы должны адаптироваться под личные потребности каждого ребенка, для чего используется мультидисциплинарная стратегия, включающая:

- коррекционную ритмику: способствует улучшению речевой функции посредством кинетической активности;

- дидактические игры: улучшают зрительное восприятие и тренируют память; арт-терапия и сказкотерапия применяются для уменьшения уровня тревожности и формирования адаптивных способностей.

Реализация индивидуализированных программ обучения, основанных на развитии ребенка, является ключевой. Педагоги и терапевты должны применять проверенные стратегии обучения, максимально развивающие возможности детей с церебральным параличом и повышающие их жизненный уровень.

**Заключение.** В результате проведенных исследований подтвердилась целесообразность разработки и систематизации занятий по адаптивной физической культуре методом сопряженного воздействия для улучшения коррекционно-развивающего процесса у детей с детским церебральным параличом. Градация и адаптация обучающего материала в таких занятиях способствует усвоению детьми различных моторных навыков, развитию их физических возможностей, формированию произвольной саморегуляции двигательной деятельности, что важно для поддержания и улучшения их качества жизни в повседневной деятельности.

Преимущества сопряженных воздействий адаптивной физкультуры включают: социализацию и кооперацию с единомышленниками, укрепление чувства вовлеченности, поддержание активности

и здорового телосложения, активизацию производства эндорфинов, а также расширение горизонтов благодаря ангажированности в приятных и полезных действиях, способствующих личностному росту и достижениям.

Было установлено, что применение сопряженного метода в адаптивных занятиях физической культурой для коррекции моторных расстройств у детей с церебральным параличом является очень эффективным. Этот подход интенсивно развивает различные физиологические системы юного организма. Включение в программу активных игр и выполнение специализированных упражнений до 50% времени занятий значительно улучшает моторные и координационные способности, произвольную саморегуляцию, а также физическую подготовленность детей. Применение сопряженных методик в адаптивной физкультуре положительно сказывается на функциональных показателях кардиореспираторной системы в пределах 25–50%. Значимый прирост в функциональной активности организма и улучшение моторных навыков, достигаемые на таких занятиях, также ведут к повышению повседневных умений и навыков у детей с ДЦП на 11,2%.

Следовательно, обучение, основанное на одновременном воздействии физической и умственной нагрузки, видится перспективным и универсальным методом, требующим углубленного исследования и разработки. Этот подход позволит обеспечить долгосрочные положительные эффекты при расстройствах психофизического развития [5; 6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонова, Л.Л. Лечебная и адаптивно-оздоровительная физическая культура / Л.Л. Артамонова, О.П. Панфилов, В.В. Борисова. — М.: Владос, 2014. — 400 с.
2. Беличенко, О.И. Адаптивная физическая культура и ее роль в формировании здорового образа жизни лиц с ограниченными возможностями / О.И. Беличенко, А.А. Бабаева, А.В. Смоленский // Вестник новых медицинских технологий. — 2017. — № 4. — URL: <http://www.medtsu.tula.ru> (дата обращения: 12.01.2025).
3. Дмитриев, В.С. Адаптивная физическая реабилитация / В.С. Дмитриев // Оздоровление населения. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 12.01.2025).
4. Домино, Е.С. Планирование коррекционно-развивающего процесса на уроках адаптивной физической культуры в центре коррекционно-развивающего обучения и реабилитации / Е.С. Домино. — Витебск, 2023. — 73 с.
5. Адаптивная физическая культура в центре коррекционно-развивающего обучения и реабилитации: учеб.-метод. пособие / В.А. Барков, И.В. Ковалец, О.С. Хруль, Н.В. Агафонова. — Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2014. — 167 с.
6. Гросс, Н.А. Современные методики физической реабилитации детей с нарушением функций опорно-двигательного аппарата / Н.А. Гросс. — М.: Советский спорт, 2015. — С. 235.

#### REFERENCES

1. Artamonova L.L., Panfilov O.P., Borisova V.V. *Lechebnaya i adaptivno-ozdorovitel'naya fizicheskaya kultura* [Physical Therapy and Adaptive and Health Physical Education], M.: Vlados, 2014, 400 p.
2. Belichenko O.I., Babayeva A.A., Smolenski A.V. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologi* [Journal of New Medical Technologies], 2017, 4. — URL: <http://www.medtsu.tula.ru> (Accessed: 12.01.2025).
3. Dmitriyev V.S. *Ozdorovleniye naseleniya* [Population Recovery]. — URL: <https://cyberleninka.ru> (Accessed: 12.01.2025).
4. Domino E.S. *Planirovaniye korrektsionno-razvivayushchego protsessa na urokakh adaptivnoi fizicheskoi kultury v tsentre korrektsionno-razvivayushchego obucheniya i reabilitatsii* [Planning Correction and Development Process at the Lessons of Adaptive Physical Education at the Correction and Development Center of Teaching and Rehabilitation], Vitebsk, 2023, 73 p.
5. Barkov V.A., Kovalets I.V., Khrul O.S., Agafonova N.V. *Adaptivnaya fizicheskaya kultura v tsentre korrektsionno-razvivayushchego obucheniya i reabilitatsii: ucheb.-metod. posobiye* [Adaptation Physical Education at Correction and Development Center of Training and Rehabilitation: Textbook], Mn.: Adukatsiya i vykhavanne, 2014, 167 p.
6. Gross N.A. *Sovremenniy metodiki fizicheskoi reabilitatsii detei s narusheniyem funktsiy oporno-dvigatel'nogo apparata* [Contemporary Physical Rehabilitation Methods of Children with Musculoskeletal System Disability], M.: Sovetski sport, 2015, pp. 235.

Поступила в редакцию 10.03.2026

Адрес для корреспонденции: e-mail: [ekaterinadavidova1987@gmail.com](mailto:ekaterinadavidova1987@gmail.com) — Домино Е.С.

### ЗВЕСТКІ ПРА АЎТАРАЎ

**АЎСЯЙКОВА Надзея Ігараўна** — аспірант кафедры педагогікі Магілёўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.А. Куляшова.

**БАЛАЕВА-ЦІХАМІРАВА Вольга Міхайлаўна** — дацэнт кафедры хіміі і прыродазнаўчай адукацыі ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат біялагічных навук, дацэнт.

**ВАСЮКОВІЧ Людміла Сяргеёўна** — прафесар кафедры дашкольнай і пачатковай адукацыі ВДУ імя П.М. Машэрава, доктар педагагічных навук, прафесар.

**ГАЛКІН Аляксандр Мікалаевіч** — прафесар кафедры экалогіі і геаграфіі ВДУ імя П.М. Машэрава, доктар геолога-мінэралагічных навук, прафесар.

**ГЕРАСІМОВІЧ Наталля Сяргеёўна** — студэнтка II курса факультэта матэматыкі і інфармацыйных тэхналогій ВДУ імя П.М. Машэрава.

**ДАМІНО Кацярына Сяргеёўна** — старшы выкладчык кафедры тэорыі і методыкі фізічнай культуры і спартыўнай медыцыны ВДУ імя П.М. Машэрава, магістр педагагічных навук.

**ДАНЧАНКА Алена Алегаўна** — прафесар кафедры хіміі і прыродазнаўчай адукацыі ВДУ імя П.М. Машэрава, доктар медыцынскіх навук, прафесар.

**ДАРАФЕЕЎ Сяргей Анатольевіч** — дацэнт кафедры фундаментальнай і прыкладнай біялогіі ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат біялагічных навук, дацэнт.

**КАЗЛОВА Дар'я Алегаўна** — студэнтка III курса факультэта фізічнай культуры і спорту ВДУ імя П.М. Машэрава.

**КАРЭЛІН Максім Аляксандравіч** — старшы выкладчык кафедры тэорыі і методыкі фізічнай культуры і спартыўнай медыцыны ВДУ імя П.М. Машэрава, магістр педагагічных навук.

**КРАСОЎСКАЯ Ірына Анатольеўна** — начальнік навукова-даследчага сектара ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат геолога-мінэралагічных навук, дацэнт.

**ЛЕСНІЧЭНКА-РАГОЎСКАЯ Марыя Уладзіміраўна** — дацэнт кафедры маркетынгу Інстытута бізнесу Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта, кандыдат педагагічных навук.

**ЛОМАЎЦАЎ Фёдар Ягоравіч** — прафесар кафедры інтэлектуальных метадаў мадэлявання БДУ, доктар фізіка-матэматычных навук, прафесар.

**МАРОЗАВА Іна Міхайлаўна** — дацэнт кафедры фундаментальнай і прыкладнай біялогіі ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат біялагічных навук, дацэнт.

**МАРОЗАЎ Іван Міхайлавіч** — вядучы спецыяліст батанічнага саду ВДУ імя П.М. Машэрава, магістр біялагічных навук.

**МАЦІЕЎСКАЯ Святлана Віктараўна** — дацэнт кафедры музычна-педагагічнай адукацыі Беларускага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя Максіма Танка, кандыдат педагагічных навук, дацэнт.

**ПАДАКСЁНАЎ Міхаіл Мікалаевіч** — дацэнт кафедры матэматыкі ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт.

**СЁМКІНА Ірына Аляксандраўна** — прарэктар ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат педагагічных навук, дацэнт.

**ТАДЖЫБАЕВА Надзіра Рузіеўна** — загадчык кафедры гідрагеалогіі Нацыянальнага ўніверсітэта Узбекістана імя Мірзо Улугбека, кандыдат геолога-мінэралагічных навук, дацэнт.

**ТАЛКАЧОВА Таццяна Аляксандраўна** — дэкан факультэта хіміка-біялагічных і геаграфічных навук ВДУ імя П.М. Машэрава, кандыдат біялагічных навук, дацэнт.

**ТАРБЕНКА Андрэй Барысавіч** — старшы выкладчык кафедры экалогіі і геаграфіі ВДУ імя П.М. Машэрава.

**ЧАРНЯЎСКАЯ Ірына Фрыдрыхаўна** — дацэнт кафедры музычна-педагагічнай адукацыі Беларускага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя Максіма Танка, кандыдат педагагічных навук, дацэнт.

**ЧЫРКІН Аляксандр Аляксандравіч** — прафесар кафедры хіміі і прыродазнаўчай адукацыі ВДУ імя П.М. Машэрава, доктар біялагічных навук, прафесар, лаўрэат Дзяржаўнай прэміі БССР.

**ШАЎРОВА Алена Вітальеўна** — старшы выкладчык кафедры фундаментальнай і прыкладнай біялогіі ВДУ імя П.М. Машэрава, магістр біялагічных навук.

---



---

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**AUSIAIKOVA Nadzeya Igarauna** — graduate student of Magiliou State A.A. Kuliashou Universit Department of Pedagogy.

**BALAYEVA-TSIKHAMIRAVA Volga Mikhailauna** — Assistant Professor of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Chemistry and Nature Science Education, PhD (Biology), Assistant Professor.

**VASIUKOVICH Liudmila Siargeyeuna** — Professor of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Preschool and Primary School Education, Dr.Sc. (Education), Professor.

**GALKIN Aliaksandr Mikalayeovich** — Professor of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Ecology and Geography, Dr.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor.

**GERASIMOVICH Natalia Siargeyeuna** — second-year student of Vitsebsk State P.M. Masherou University Faculty of Mathematics and Information Technologies.

**DAMINO Katsiaryna Siargeyeuna** — Senior Lecturer of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Theory and Methods of Physical Education and Sport Medicine, Master of Education.

**DANCHANKA Alena Alegauna** — Professor of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Chemistry and Natural Science Education, Dr.Sc. (Medicine), Professor.

**DARAFEYEU Siargei Anatolyevich** — Assistant Professor of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Fundamental and Applied Biology, PhD (Biology), Assistant Professor.

**KAZLOVA Darya Alegauna** — third-year student of Vitsebsk State P.M. Masherou University Faculty of Physical Education and Sports.

**KARELIN Maksim Aliaksandravich** - Senior Lecturer of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Theory and Methods of Physical Education and Sport Medicine, Master of Education.

**KRASOUSKAYA Iryna Anatolyeuna** — Head of Vitsebsk State P.M. Masherou University Research Department, PhD (Geology and Mineralogy), Assistant Professor.

**LESNICHENKA-RAGOUSKAYA Mariya Vladzimiraua** — Assistant Professor of BSU Institute of Business Department of Marketing, PhD (Education).

**LOMAUTSAU Feodar Yagoravich** — Professor of BSU Department of Intellectual Methods of Modeling, Dr.Sc. (Physics and Math), Professor.

**MAROZAVA Ina Mikhailauna** — Assistant Professor of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Fundamental and Applied Biology, PhD (Biology), Assistant Professor.

**MAROZAU Ivan Mikhailavich** — Leading Specialist of Vitsebsk State P.M. Masherou University Botanical Gardens, Master of Biology.

**MATSIYEUSKAYA Sviatlana Viktarauna** — Assistant Professor Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University Department of Music and Pedagogical Education, Assistant Professor.

**PADAKSIONAU Mikhail Mikalayeovich** — Associate Professor of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Mathematics, PhD (Physics and Math), Professor.

**SIOMKINA Iryna Aliaksandrauna** — Vitsebsk State P.M. Masherou University Vice Rector, PhD (Education), Assistant Professor.

**TADZHYBAYEVA Nadziraa Ruziyeuna** — Head of Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan Department of Hydrogeology, PhD (Geology and Mineralogy), Assistant Professor.

**TALKACHOVA Tatsiana Aliaksandrauna** — Dean of Vitsebsk State P.M. Masherou University Faculty of Chemistry — Biology and Geography Scienses, PhD (Biology), Assistant Professor.

**TARBENKA Andrei Barysavich** — Senior Lecturer of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Ecology and Geography.

**CHARNYAUSKAYA Iryna Frydrykhauna** — Assistant Professor Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University Department of Music and Pedagogical Education, Assistant Professor.

**CHYRKIN Aliaksandr Aliaksandravich** — Professor of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Chemistry and Natural Science Education, Dr.Sc. (Biology), Professor, State Prize of the BSSR Laureate.

**SHAUROVA Alena Vitalyeuna** — Senior Lecturer of Vitsebsk State P.M. Masherou University Department of Fundamental and Applied Biology, Master of Biology.

---

---

## ПРАВИЛЫ ДЛЯ АЎТАРАЎ

1. “Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта” публікуе вынікі навуковых даследаванняў, якія праводзяцца ў Віцебскім дзяржаўным універсітэце, навуковых установах і ВНУ 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 дазваляць індэксаваць артыкул.

2.4. Ва ўводзінах 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. Указваюцца поўная назва аўтарскага пасведчання і дэпаніраванага рукапісу, а таксама арганізацыя, якая прад’явіла рукапіс да дэпаніравання.

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 схемы 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,  $\infty$ ,  $A_1$ ,  $\beta^k$ ,  $^{\circ}C$ ). 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 папяровая версіі артыкула павінны быць ідэнтычнымі. Адрас электроннай пошты ўніверсітэта (наука@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.ВНУ”. Для арыгінальных навуковых артыкулаў ступень арыгінальнасці павінна быць не менш за 85%, для аглядаў — не менш за 75%.

5. Па рашэнні рэдкалегіі артыкул накіроўваецца на рэцэнзю, затым візіруецца членам рэдкалегіі. Вяртанне артыкула аўтару на дапрацоўку не азначае, што ён прыняты да друку. Перапрацаваны варыянт артыкула зноў разглядаецца рэдкалегіяй. 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.  $\infty$ ,  $A_1$ ,  $\beta^k$ ,  $^{\circ}C$ ). 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.

---

---