



ВЕСНІК

БРЭСЦКАГА УНІВЕРСІТЭТА

Рэдакцыйная калегія

галоўны рэдактар
Ю. П. Голубеў

намеснік галоўнага рэдактара
М. А. Багдасараў

адказны рэдактар
Н. С. Ступень

І. В. Абрамава (Беларусь)
А. М. Вігчанка (Беларусь)
А. А. Волчак (Беларусь)
А. І. Градунова (Беларусь)
В. В. Грычык (Беларусь)
С. В. Емяльянчык (Беларусь)
В. Ф. Кулеш (Беларусь)
В. У. Марцірасян (Расія)
А. А. Махнач (Беларусь)
А. В. Мацвееў (Беларусь)
У. У. Салтанаў (Беларусь)
А. А. Сідаровіч (Беларусь)
А. М. Тарасюк (Беларусь)
Я. К. Яловічава (Беларусь)

Пасведчанне аб рэгістрацыі
ў Міністэрстве інфармацыі
Рэспублікі Беларусь
№ 1339 ад 28 красавіка 2010 г.

Адрас рэдакцыі:
224016, г. Брэст,
бульвар Касманаўтаў, 21
тэл.: +375-(162)-21-72-07
e-mail: vesnik@brsu.by

Часопіс «Веснік Брэсцкага
ўніверсітэта» выдаецца
са снежня 1997 г.

Серыя 5

БІЯЛОГІЯ

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

НАВУКОВА-ТЭАРЭТЫЧНЫ ЧАСОПІС

Выходзіць два разы на год

Заснавальнік – Установа адукацыі
«Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А. С. Пушкіна»

№ 1 / 2025

У адпаведнасці з Дадаткам да загада
Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь
ад 06.02.2024 № 30 (са змяненнямі, унесенымі загадамі
ад 27.02.2025 № 48, ад 06.05.2025 № 107)
часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта.

Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі»
ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь
для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў у 2025 г.
па біялагічных, геаграфічных і геалага-мінэралагічных навуках

◇ ◇ ◇

У адпаведнасці з дагаворам паміж установай адукацыі
«Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А. С. Пушкіна»
і ТАА «Навуковая электронная бібліятэка» (ліцэнзійны дагавор
№ 457-11/2020 ад 03.11.2020) часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта.

Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі»
размяшчаецца на платформе eLIBRARY.RU
і ўключаны ў Расійскі індэкс навуковага цытавання (РІНЦ)

ЗМЕСТ

БІАЛОГІЯ

Артемук Е. Г., Барымова А. С. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на начальные этапы роста и биохимические показатели <i>Helianthus Annuus</i> L.....	5
Демянич В. Т., Рабчук В. П., Кунаховец Д. А. Экологическая характеристика крупнейшей в Беларуси выводковой колонии <i>Pipistrellus Pygmaeus</i> , <i>Pipistrellus Nathusii</i>	13
Бонь Е. И., Максимович Н. Е., Карнюшко О. А., Зиматкин С. М., Кохан Н. В. Содержание гипоксией индуцированного фактора в нейронах теменной коры и гиппокампа крыс с церебральной ишемией различной степени тяжести.....	25
Домась А. С., Шкуратова Н. В., Чипурных Е. В. Биологическая активность засоленной почвы при использовании почвенных добавок в лабораторных условиях.....	33
Коваленко В. В. Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимфеески луговой сорта Белорусская местная.....	43
Колбас А. П., Левый А. В., Михальчук Н. В. Оценка биоремедиационного потенциала растений <i>Silphium Perfoliatum</i> L., полученных клональным микроразмножением в условиях <i>in vitro</i>	54
Колмаков П. Ю., Жерносеков Д. Д. Регуляция процессов суберинизации тонких корней в модельной системе « <i>Picea abies</i> – эктомикоризные грибы».....	66
Ленивко С. М., Демидович О. А., Рой Ю. Ф., Лукьянчик И. Д., Ступень Н. С. Комплексная оценка развития микроразмножения актинидии сорта Гибридная Колбасиной в условиях <i>in vitro</i> и <i>ex vitro</i>	77
Лицкевич А. Н., Чезлова О. Е., Кутаева Л. Л., Чирук Л. И. Гидрохимический режим рыболовных прудов ОАО ОРХ «Селец».....	87
Размыслович К. А., Шкуратова Н. В. Результаты анализа лишенофлоры ландшафтно-рекреационных территорий и ООПТ г. Бреста.....	96
Тарасюк А. Н., Савчук В. В. Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного (<i>Hordeum Vulgare</i> L.).....	109
Хомич Г. Е., Саваневская Е. Н. Характеристика особенностей высшей нервной деятельности у туркменских и белорусских студентов с помощью теста Люшера.....	117

НАВУКІ АБ ЗЬМЛІ

Богдасаров М. А., Богдасарова Ю. В., Заруцкий С. А., Резкин П. Е. Потенциал, конкурентные преимущества и проблемы социально-экономического развития Брестской области (Часть 1. Брестская область, ее место в структуре экономики Беларуси).....	131
Абрамова И. В. Динамика населения птиц в ходе восстановительной сукцессии широколиственно-сосновых лесов в юго-западной Беларуси.....	140
Гречаник Н. Ф. Петрографо-минеральный состав обломочного материала сожской абляционной морены на территории Прибужской равнины.....	150
Рамазанов Ровшан Гасан Метод совместного пространственного анализа геоинформационных данных в прикладных задачах ДЗ.....	162
Сидорович А. А. География занятости населения: теоретико-методологические аспекты исследования глобализации и технологизации.....	170



VESNIK

OF BREST UNIVERSITY

Editorial Board

editor-in-chief

Yu. P. Golubeu

deputy editor-in-chief

M. A. Bahdasarau

managing editor

N. S. Stupen

I. V. Abramava (Belarus)
A. M. Vitchanka (Belarus)
A. A. Volchak (Belarus)
A. I. Hradunova (Belarus)
V. V. Hrychyk (Belarus)
S. V. Yemialianchyk (Belarus)
V. F. Kulesh (Belarus)
V. U. Martsirasyan (Russia)
A. A. Makhnach (Belarus)
A. V. Matsveyeu (Belarus)
U. U. Saltanau (Belarus)
A. A. Sidarovich (Belarus)
A. M. Tarasiuk (Belarus)
Ya. K. Yalovichava (Belarus)

Registration Certificate
by Ministry of Information
of the Republic of Belarus
nr 1338 from April 28, 2010

Editorial Office:
224016, Brest,
21, Kosmonavtov Boulevard
tel.: +375-(162)-21-72-07
e-mail: vesnik@brsu.by

Published since December 1997

Series 5

BIOLOGY

SCIENCES ABOUT EARTH

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

Issued twice a year

Founder – Educational Establishment
«Brest State A. S. Pushkin University»

№ 1 / 2025

According to the Supplement to the order of Supreme Certification
Commission of the Republic of Belarus from February 06, 2024 nr 30
(with the amendments made by the orders of Supreme Certification
Commission from February 27, 2025 nr 48, from May 06, 2025 nr 107)
the journal «Vesnik of Brest University.

Series 5. Biology. Sciences about earth» has been included
to the List of scientific editions of the Republic of Belarus
for publication of the results of scientific research in 2025
in biological, geographical and geological-mineralogical sciences

◇ ◇ ◇

According to the agreement
between Educational Establishment
«Brest State A. S. Pushkin University» and Pvt Ltd «Scientific Electronic
Library» (licence contract № 457-11/2020 from 03.11.2020)
the journal «Vesnik of Brest University.
Series 5. Biology. Sciences about earth »
is placed on the platform eLIBRARY.RU
and included in the Russian Science Citation Index (RSCI)

CONTENTS

BIOLOGY

Alena Artsiamuk, Aryna Barymava.

The Effect of 24-epicastasterone and its Conjugates with Acids on the Initial Stages of Growth and Biochemical Indicators *Helianthus Annuus* L. 5

Viktar Dziamianchyk, Valiantsin Rabchuk, Darya Kunakhavets.

Ecological Characteristics of the Largest Breeding Colony of *Pipistrellus pygmaeus*, *Pipistrellus nathusii* in Belarus 13

Elizaveta Bon, Nataliya Maksimovich, Olga Karnyushko, Sergey Zimatkin, Nikita Kokhan.

Hypoxia-induced Factor Content in Neurons of the Parietal Cortex and Hippocampus of Rats with Cerebral Ischemia of Various Severity 25

Andrei Domas, Natalia Shkuratova, Egor Chipurnykh.

Biological Activity of Saline Soil when Using Soil Additives in Laboratory Conditions 33

Viktar Kavalenka.

The Effect of 24-epicastasterone and its Conjugates with Acids on Morphometric and Physiological-Biochemical Parameters of the Belarusian Local Variety of Timothy 43

Aliaksandr Kolbas, Aliaksandr Levy, Mikalai Mikhalechuk.

Assessment of Bioremediation Potential of *Silphium Perfoliatum* L. Obtained by Clonal Micropropagation in vitro 54

Pavel Kolmakov, Dmitry Zhernossekov.

Regulation Processes of Suberization of Fine Roots in the Model System «*Picea abies* – ectomycorrhizal fungi» 66

Svetlana Lenivko, Oksana Demidovich, Yuri Roy, Irina Lukyanchik, Nonna Stupen.

Comprehensive Assessment of the Development of Microclones of *Actinidia* of the cultivar Hybrid Kolbasina in vitro and ex vitro Conditions 77

Anatoli Litskevich, Olga Chezlova, Lilia Kutaeva, Larisa Chiruk.

Hydrochemical Regime of Fish-Breeding Ponds of JSC «Experimental Fish Farm «Selets» 87

Kirill Razmyslovich, Natalia Shkuratova.

Results of Analysis of Lichenoflora of Landscape-Recreational Territories and Protected Nature of Brest 96

Alexander Tarasiuk, Viktor Savchuk.

Effect of 24-epicastasterone and its Conjugates with Acids on Mitotic Activity of Root Meristem Cells of Common Barley (*Hordeum Vulgare* L.) 109

Halina Khomich, Alena Savaneuskaya.

Characteristics of the Features of Higher Nervous Activity for Turkmen and Belarusian Students Using the Lusher Test 117

SCIENCES ABOUT EARTH

Maksim Bahdasarau, Yuliya Bahdasarava, Sergey Zarutskiy, Petr Rezhkin.

Potential, Competitive Advantages and Problems of Socio-Economic Development of Brest Region (Part 1. Brest Region, its Place in the Structure of the Belarusian Economy) 131

Iryna Abramava.

Dynamics of the Abundance of Bird Species During Succession of Broad-Leaved-Pine Forests in Southwestern Belarus 140

Nikolaj Hrachanik.

Petrographic and Mineral Composition of the Detrital Material of the Sozh oblation Moraine on the Territory of the Pribuzhskaya Plain 150

Hasan Rovshan Ramazanov.

Method of Joint Spatial Analysis of Geoinformation Data in Applied Remote Sensing Problems 162

Alexandr Sidorovich.

Geography of Employment: Theoretical and Methodological Aspects of the Study of Globalization and Technologization 170

Елена Георгиевна Артемук¹, Арина Сергеевна Барымова²

¹канд. биол. наук, доц., декан факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²студент 4-го курса факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Alena Artsiamuk¹, Aryna Barymava²

¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Natural Sciences
of the Brest State A. S. Pushkin University

²4-th Year Student of the Faculty of Natural Sciences of the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: artsiamuk@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ РОСТА И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *HELIANTHUS ANNUUS* L.*

Изучена биологическая активность 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилacetат 24-эпикастастерона) на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях подсолнечника однолетнего сорта Везувий. Показано, что для подсолнечника однолетнего сорта Везувий наиболее эффективными концентрациями исследуемых веществ, оказывающими максимальный эффект на рост корней и побегов, являются 24-ЭК в концентрации 10^{-10} М, 2-моносалицилат 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-9} М и 10^{-7} М и тетраиндолилacetат 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-9} М.

Ключевые слова: брассиностероиды, 24-эпикастастерон, 2-моносалицилат 24-эпикастастерона, тетраиндолилacetат 24-эпикастастерона, подсолнечник, фотосинтетические пигменты.

The Effect of 24-epicastasterone and its Conjugates with Acids on the Initial Stages of Growth and Biochemical Indicators Helianthus Annuus L.

The biological activity of 24-epicastasterone (24-EC) and its conjugates with acids (2-monosalicylate of 24-epicastasterone and tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone) on morphometric parameters and the content of photosynthetic pigments in plants of the annual sunflower variety Vesuvius was studied. It has been shown that for the annual sunflower variety Vesuvius, the most effective concentrations of the studied substances, which have the maximum effect on the growth of roots and shoots, are 24-EC at a concentration of 10^{-10} M, 2-monosalicylate of 24-epicastasterone at a concentration of 10^{-9} M and 10^{-7} M, and tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone at a concentration of 10^{-9} M.

Key words: brassinosteroids, 24-epicastasterone, 2-monosalicylate 24-epicastasterone, tetraindolyl acetate 24-epicastasterone, sunflower, photosynthetic pigments.

Введение

Основными мероприятиями по повышению продуктивности растений и устойчивости их к неблагоприятным факторам считаются селекция, использование устойчивых сортов и химические методы защиты. Наряду с традиционными методами в настоящее время активно развивается новое направление, основанное на использовании биологически активных веществ для стимуляции роста, развития и повышения иммунитета растений. К таким веществам относятся брассиностероиды (БС), которые представляют собой растительные гормоны, необходимые для роста, развития и адап-

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных брассиностероидов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» подпрограммы «Химические основы процессов жизнедеятельности» (Биоорхимия) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» на 2021–2025 гг. (номер государственной регистрации 20211450 от 20.05.2021).

тации растений к неблагоприятным факторам среды. БС инициируют множество процессов в растительной клетке, усиливают клеточное деление, элонгацию, биосинтез протеинов, совместно с другими фитогормонами воздействуют на основные физиологические процессы, которые определяют продуктивность и качественные параметры растений [1]. Растения, обработанные БС, оказываются более устойчивыми к засухе, экстремальным температурным условиям и засоленности почвы. Брассиностероиды весьма перспективны для создания эффективных экологически безопасных регуляторов, повышающих урожайность растений в экстремальных условиях [2]. Дозы, с помощью которых достигается эффект от применения брассиностероидов в сельском хозяйстве, сопоставимы по величине с их содержанием в природных объектах, в связи с чем замена части традиционных химических средств ухода за посевами на данные соединения позволит оздоровить окружающую среду и получить экологически чистую продукцию [1; 3].

Для возможного улучшения физико-химических, регуляторных и защитных свойств БС синтезированы их конъюгаты с другими органическими соединениями, в т. ч. и кислотами, обладающими определенной биологической активностью [4–6]. Об их влиянии на растения пока известно очень мало. Анализ их влияния на морфометрические и физиолого-биохимические показатели сельскохозяйственных культур позволит внести определенный вклад в раскрытие механизмов их действия на растения и может иметь не только практическое, но и определенное теоретическое значение.

Целью данного исследования является изучение биологической активности конъюгатов 24-эпикастастерона с кислотами (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона) на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях подсолнечника однолетнего *Helianthus annuus* L.

Материалы и методы

Изучение влияния 24-эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с кислотами (2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23) и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)) на морфометрические и биохимические параметры проводилось на подсолнечнике однолетнем (*Helianthus annuus* L.) сорта Везувий. Подсолнечник однолетний сорта Везувий – среднеранний гибрид. Оригинатор – РНДУП «Полесский институт растениеводства». Вегетационный период в среднем составляет 114 дней. Гибрид с хорошей и стабильной продуктивностью. Цветение и созревание дружное, устойчив к полеганию, отличается засухоустойчивостью, устойчив к болезням листьев. Средняя урожайность маслосемян составляет 53,6 ц/га, возможный потенциал – 76,8 ц/га.

24-эпикастастерон и его конъюгаты – 2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона синтезированы в Лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

Определение эффективных концентраций 24-эпикастастерона и его конъюгатов (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона) в лабораторных условиях. Обработка исследуемыми веществами проводилась однократно в виде предварительного замачивания семян на 5 часов. Для исследований был использован широкий диапазон концентраций изучаемых брассиностероидов – 10^{-7} – 10^{-11} М. Оценка воздействия на рост и развитие растений осуществлялась по следующим параметрам: определяли всхожесть семян, после чего измеряли длину подземной (средняя длина корней) и надземной (средняя длина побегов) частей подсолнечника однолетнего. Всхожесть определяли на 5 сутки согласно ГОСТу 12038–84 [7]. Все опыты проводились в четырехкратной повторности. В качестве контроля использовалась обработка семян водой. В результате проведенных исследований были отобраны наиболее эффективные концентрации 24-эпикастастерона и его конъюгатов (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона),

оказывающие наибольший достоверный эффект на рост корней и побегов подсолнечника однолетнего сорта Везувий.

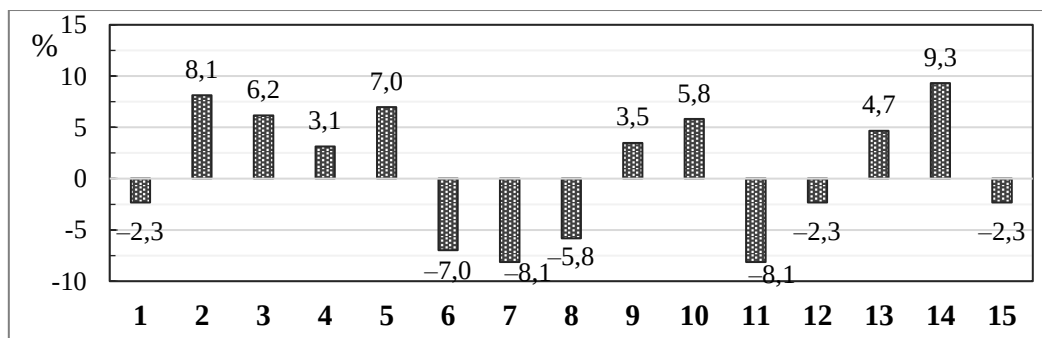
Определение воздействия 24-эпикастастерона и его конъюгатов (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона) на подсолнечник однолетний в вегетационном лабораторном эксперименте. На данном этапе исследований проводился анализ влияния 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и биохимические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта [8], с изучением параметров длины подземной и надземной частей, а также содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов). Для проведения вегетационного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации ЭК и его конъюгатов с кислотами – S23 и S31, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на посевные качества семян, рост корней и побегов подсолнечника однолетнего. Растения выращивали в условиях постоянной влажности почвы. Вегетационные емкости перемещали ежедневно по схеме, обеспечивающей однородные условия роста и развития растений.

При предпосевной обработке семена замачивали в растворах ЭК и его конъюгатов на 5 часов, далее высаживали в пластиковые контейнеры 9х9х10 см на универсальном почвогрунте («Хозяин, Карио», РБ (азот общий 5795 мг/кг, калий общий 3223 мг/кг, фосфор общий 1838 мг/кг, Cu 6,15 мкг/кг, Zn 24 мкг/кг) и выращивали при 22–25 °С в лабораторных условиях вегетационного эксперимента в течение месяца. В качестве контроля растения выращивали с обработкой водой. Для определения содержания основных фотосинтетических пигментов использовали спектрофотометрический метод [9; 10]. В качестве растворителя был выбран 100 %-ный ацетон.

Статистическую обработку всех полученных результатов проводили по общепринятым методикам биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [11] с использованием программы Microsoft Excel и t-критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждения

Проведенные исследования всхожести семян подсолнечника однолетнего сорта Везувий показали, что при использовании ЭК в концентрациях 10^{-10} – 10^{-7} М наблюдается повышение всхожести семян на 3,1–8,1 % по сравнению с контролем. При использовании S23 повышение всхожести наблюдается только при использовании концентраций 10^{-8} и 10^{-7} М. При предпосевном замачивании в растворах S31 увеличение всхожести наблюдается при концентрации 10^{-9} и 10^{-8} М (рисунок 1).



1–5 – ЭК, 10^{-11} М – 10^{-7} М, 6–10 – S23, 10^{-11} М – 10^{-7} М, 11–15 – S31, 10^{-11} М – 10^{-7} М

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на всхожесть подсолнечника однолетнего сорта Везувий в лабораторных условиях, % относительно контроля

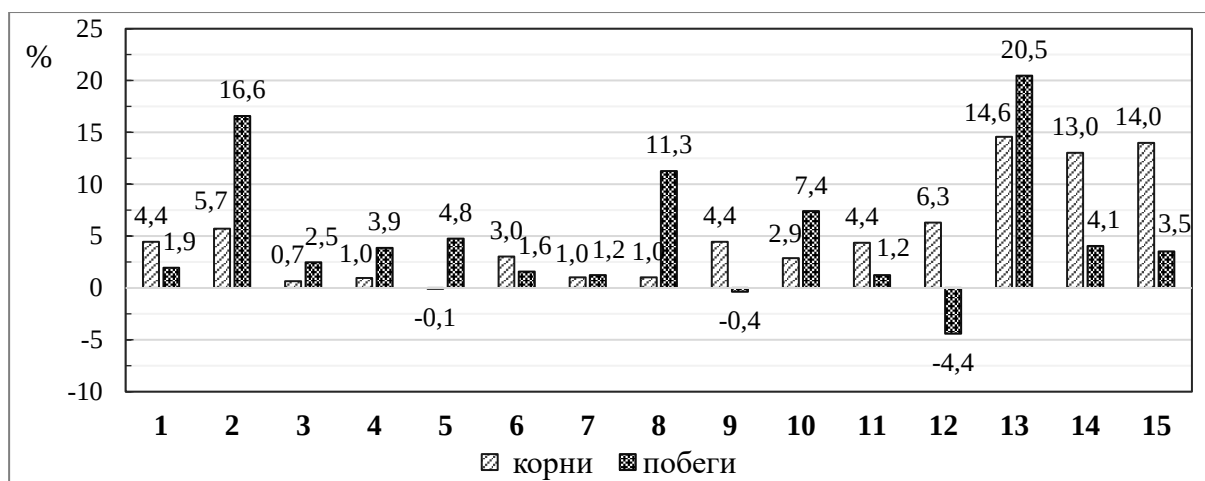
Изучение влияния ЭК и его конъюгатов с кислотами на длину корня и побега подсолнечника однолетнего сорта Везувий показало, что растения подсолнечника положительно отзываются на предварительное замачивание в растворах исследуемых стероидных соединений практически во всех исследуемых концентрациях. Зарегистрировано увеличение подземной части подсолнечника при воздействии ЭК в диапазоне от 0,7 % в концентрации 10^{-9} М до 5,7 % в концентрации 10^{-10} М, при воздействии S23 от 1,0 % в концентрации 10^{-9} М до 4,4 % в концентрации 10^{-8} М, при воздействии S31 от 4,4 % в концентрации 10^{-11} М до 14,6 % в концентрации 10^{-9} М (таблица 1, рисунок 2). Таким образом, максимальное влияние на рост корней оказал 24-ЭК в концентрации 10^{-10} М, S23 в концентрации 10^{-8} М и 10^{-7} М и S31 в концентрации 10^{-9} М.

Таблица 1 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры начальных этапов роста и развития подсолнечника однолетнего сорта Везувий

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
24-Эпикастерон				
Контроль	135,0 ± 1,89	100,0	56,7 ± 1,34	100,0
10^{-11} М	141,0 ± 2,10*	104,4	57,8 ± 1,52	101,9
10^{-10} М	142,7 ± 2,57*	105,7	66,1 ± 1,66***	116,6
10^{-9} М	135,9 ± 3,82	100,7	58,1 ± 1,79	102,5
10^{-8} М	136,3 ± 3,33	101,0	58,9 ± 1,53	103,9
10^{-7} М	134,9 ± 3,57	99,9	59,4 ± 1,29	104,8
2-моносалицилат 24-эпикастерона (S23)				
Контроль	135,0 ± 1,89	100,0	56,7 ± 1,34	100,0
10^{-11} М	139,1 ± 4,32	103,0	57,6 ± 1,31	101,6
10^{-10} М	136,4 ± 5,27	101,0	57,4 ± 1,41	101,2
10^{-9} М	136,4 ± 2,54	101,0	63,1 ± 1,69**	111,3
10^{-8} М	141,0 ± 4,82	104,4	56,5 ± 1,53	99,6
10^{-7} М	138,9 ± 1,84	102,9	60,9 ± 1,50*	107,4
тетраиндолилацетат 24-эпикастерона (S31)				
Контроль	135,0 ± 1,89	100,0	56,7 ± 1,34	100,0
10^{-11} М	140,9 ± 3,40	104,4	57,4 ± 1,43	101,2
10^{-10} М	143,5 ± 4,46	106,3	54,2 ± 1,55	95,6
10^{-9} М	154,7 ± 3,71***	114,6	68,3 ± 1,32***	120,5
10^{-8} М	152,6 ± 3,72***	113,0	59,0 ± 1,51	104,1
10^{-7} М	153,9 ± 3,02***	114,0	58,7 ± 1,31	103,5

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

Увеличение надземной части подсолнечника однолетнего сорта Везувий относительно контроля наблюдается при воздействии ЭК в диапазоне от 1,9 % в концентрации 10^{-11} М до 16,6 % в концентрации 10^{-10} М, при воздействии S23 от 1,2 % в концентрации 10^{-10} М до 11,3 % в концентрации 10^{-9} М, при воздействии S31 от 1,2 % в концентрации 10^{-11} М до 20,5 % в концентрации 10^{-9} М (таблица 1, рисунок 2). Максимальное влияние на рост побегов оказал ЭК в концентрации 10^{-10} М, S23 в концентрации 10^{-9} М и 10^{-7} М и S31 в концентрации 10^{-9} М (различия по отношению к контролю статистически достоверны) (таблица 1). Незначительное уменьшение длины надземной части подсолнечника наблюдается при воздействии S23 в концентрациях 10^{-8} и при воздействии S31 в концентрациях 10^{-10} М.



1–5 – ЭК, 10^{-11} М – 10^{-7} М, 6–10 – S23, 10^{-11} М – 10^{-7} М, 11–15 – S31, 10^{-11} М – 10^{-7} М

Рисунок 2 – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий в лабораторных условиях, % относительно контроля

Таким образом, по результатам лабораторного опыта наиболее эффективными концентрациями исследуемых веществ, оказывающими максимальный эффект на рост корней и побегов подсолнечника однолетнего сорта Везувий, являются 24-эпикастастерон в концентрации 10^{-10} М, 2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23) в концентрации 10^{-9} М и 10^{-7} М и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31) в концентрации 10^{-9} М.

Вегетационный лабораторный эксперимент

На следующем этапе исследований был проведен анализ влияния 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и биохимические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта с изучением параметров длины подземной и надземной частей подсолнечника, а также содержания основных фотосинтетических пигментов. Для проведения вегетационного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации исследуемых веществ: ЭК в концентрации 10^{-10} М, S23 в концентрациях 10^{-9} и 10^{-7} М, и S31 в концентрации 10^{-9} М, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на рост корней и побегов подсолнечника однолетнего сорта Везувий.

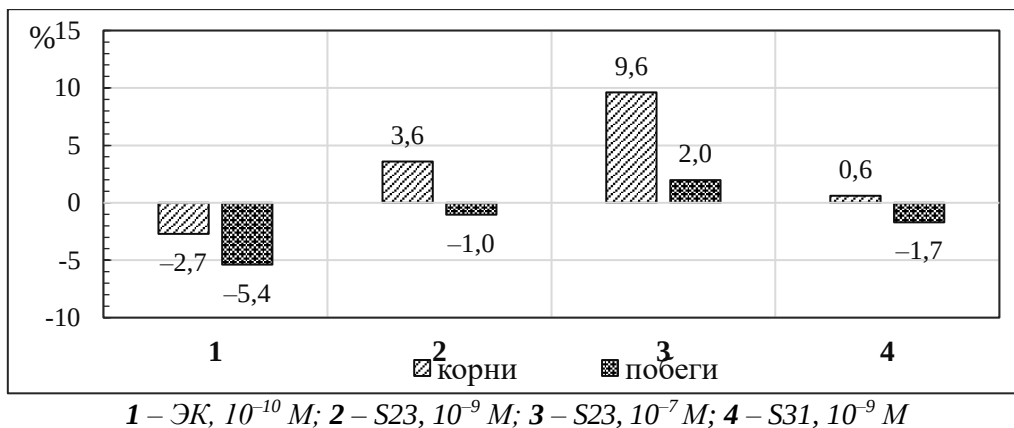
Исследование воздействия ЭК и его конъюгатов на морфометрические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий (средняя длина корней и средняя длина побегов) показало, что положительное влияние на рост корней оказывал только S23 в концентрациях 10^{-9} и 10^{-7} М при предпосевном замачивании семян подсолнечника (таблица 2, рисунок 3).

Так, при обработке S23 в концентрации 10^{-9} длина корней увеличивалась на 3,6 % (однако различия от контроля статистически недостоверны), а при концентрации S23 10^{-7} М – на 9,6 % (различия статистически достоверны). Длина побегов увеличивалась на 2,0 % лишь при обработке S23 в концентрации 10^{-7} М, однако отличия от контроля были статистически недостоверны.

Таблица 2 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Контроль	66,6 ± 1,68	100,0	182,1 ± 2,42	100,0
ЭК 10 ⁻¹⁰ М	64,8 ± 2,80	97,3	172,3 ± 3,05*	94,6
S23 10 ⁻⁹ М	69,0 ± 1,53	103,6	180,2 ± 1,79	99,0
S23 10 ⁻⁷ М	73,0 ± 1,50**	109,6	185,7 ± 2,18	102,0
S31 10 ⁻⁹ М	67,0 ± 0,96	100,6	179,0 ± 1,24	98,3

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$.



1 – ЭК, 10⁻¹⁰ М; 2 – S23, 10⁻⁹ М; 3 – S23, 10⁻⁷ М; 4 – S31, 10⁻⁹ М

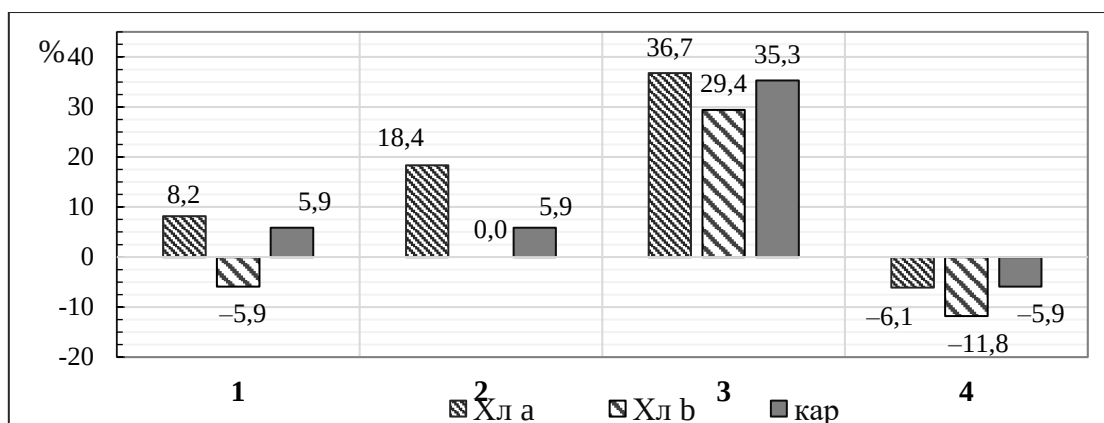
Рисунок 3 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий, % относительно контроля

Исследование содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях подсолнечника однолетнего проводилось с изучением концентрации хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов (Кар). При предпосевном замачивании семян подсолнечника сорта Везувий в растворах брассиностероидов наблюдается достоверное увеличение содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях лишь при использовании S23 в концентрации 10⁻⁷ М (таблица 3). Так, содержание хлорофилла *a* увеличивается на 36,7 %, хлорофилла *b* на 29,4 % и каротиноидов на 35,3 % (рисунок 4).

Таблица 3 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях подсолнечника однолетнего сорта Везувий (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Содержание, мг/г		
	хлорофилла <i>a</i>	хлорофилла <i>b</i>	каротиноидов
Контроль	0,98 ± 0,04	0,34 ± 0,02	0,34 ± 0,02
ЭК 10 ⁻¹⁰ М	1,06 ± 0,08	0,32 ± 0,01	0,36 ± 0,01
S23 10 ⁻⁹ М	1,16 ± 0,02	0,34 ± 0,04	0,36 ± 0,04
S23 10 ⁻⁷ М	1,34 ± 0,04**	0,44 ± 0,01*	0,46 ± 0,01*
S31 10 ⁻⁹ М	0,92 ± 0,04	0,30 ± 0,02	0,32 ± 0,02

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$.



1 – ЭК, 10^{-10} М; 2 – S23, 10^{-9} М; 3 – S23, 10^{-7} М; 4 – S31, 10^{-9} М

Рисунок 4 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов подсолнечника однолетнего сорта Везувий, % относительно контроля

Заключение

В лабораторных условиях проведено двухэтапное исследование биологической активности 24-эпикастерона и его конъюгатов (2-моносалицилат 24-эпикастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастерона) по влиянию на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.) сорта Везувий.

В условиях лабораторного опыта показано, что для подсолнечника однолетнего сорта Везувий наиболее эффективными концентрациями исследуемых веществ, оказывающими максимальный эффект на рост корней и побегов, являются 24-эпикастерон в концентрации 10^{-10} М, 2-моносалицилат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-9} М и 10^{-7} М и тетраиндолилацетат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-9} М.

В условиях вегетационного опыта статистически достоверное влияние на рост корней и содержание фотосинтетических пигментов в растениях подсолнечника однолетнего сорта Везувий оказывал только 2-моносалицилат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-7} М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрипач, В. А. Перспективы практического применения brassinosteroidов нового класса фитогормонов (Обзор) / В. А. Хрипач, В. И. Жабинский, Ф. А. Лахвич // С.-х. биология. – 1995. – № 1. – С. 3–11.
2. Khripach V. A. Science at the interface of brassinosteroids: a new role of steroids as biosignaling molecules / V. A. Khripach, V. N. Zhabinskii, R. A. Karnachuk // Chemical probes in biology : conference proceedings / M. P. Schneider (ed.). – Netherlands : Kluwer Academic Publishers. – NATO Science Series. – 2003. – Vol. 129. – P. 153–167.
3. Прусакова, Л. Д. Роль brassinosteroidов в росте, устойчивости и продуктивности растений / Л. Д. Прусакова, С. И. Чижова // Агрохимия. – 1996. – № 11. – С. 137–150.
4. Синтез и стресс-протекторное действие на растения конъюгатов brassinosteroidов с салициловой кислотой / Р. П. Литвиновская [и др.] // Химия прир. соед. – 2016. – № 3. – С. 394–398.
5. Защитное действие салицилатов brassinosteroidов на растения ярового ячменя, подвергнутых биотическому стрессу / Н. Е. Манжелесова [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 304–311.

6. Индолил-3-ацетоксипроизводные брассиностероидов: синтез и рострегулирующая активность / Р. П. Литвиновская [и др.] // Химия прир. соед. – 2013. – № 3. – С. 408–414.
7. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
8. Агрохимические методы исследований : учеб.-метод. пособие / В. Н. Дышко [и др.]. – Смоленск : ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2014. – 197 с.
9. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: учебн. пособие для студ. вузов / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.
10. Шульгин, И. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм / И. А. Шульгин, А. А. Ничипорович // Хлорофилл : сб. науч. ст. под ред. А. А. Шлыка. – Минск : Наука и техника, 1974. – С. 121–136.
11. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Hripach, V. A. Perspektivy prakticheskogo primeneniya brassinosteroidov novogo klassa fitogormonov (Obzor) / V. A. Hripach, V. I. Zhabinskij, F. A. Lahvich // S.-h. biologiya. – 1995. – № 1. – S. 3–11.
2. Khripach V. A. Science at the interface of brassinosteroids: a new role of steroids as biosignaling molecules / V. A. Khripach, V. N. Zhabinskii, R. A. Karnachuk // Chemical probes in biology : conference proceedings / M. P. Schneider (ed.). – Netherlands : Kluwer Academic Publishers. – NATO Science Series. – 2003. – Vol. 129. – P. 153–167.
3. Prusakova, L. D. Rol' brassinosteroidov v roste, ustojchivosti i produk-tivnosti ras-tenij / L. D. Prusakova, S. I. Chizhova // Agrohimiya. – 1996. – № 11. – S. 137–150.
4. Sintez i stress-protektornoe dejstvie na rasteniya kon'yugatov brassino-steroidov s salicilovoj kislotoj / R. P. Litvinovskaya [i dr.] // Himiya prir. soed. – 2016. – № 3. – S. 394–398.
5. Zashchitnoe dejstvie salicilatov brassinosteroidov na rasteniya yarovogo yachmenya, podvergnutyh bioticheskomu stressu / N. E. Manzhelesova [i dr.] // Doklady NAN Belarusi. – 2019. – T. 63, № 3. – S. 304–311.
6. Indolil-3-acetoksiproizvodnye brassinosteroidov: sintez i rostreguliruyushchaya aktivnost' / R. P. Litvinovskaya [i dr.] // Himiya prir. soed. – 2013. – № 3. – S. 408–414.
7. Semena sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti : GOST 12038–84. – Vved. 01.07.86. – М. : Standartinform, 2011. – 29 s.
8. Agrohimicheskie metody issledovaniy : ucheb.-metod. Posobie / V. N. Dyshko [i dr.]. – Smolensk : FGBOU VPO «Smolenskaya GSKHA», 2014. – 197 с.
9. Gavrilenko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu: uchebn. posobie dlya stud. Vuzov / V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova ; pod red. I. P. Ermakova – М. : Akademiya, 2003. – 256 s.
10. Shul'gin, I. A. Raschet soderzhaniya pigmentov s pomoshch'yu nomogram / I. A. SHul'gin, A. A. Nichiporovich // Hlorofill : sb. nauch. st. pod red. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1974. – S. 121–136.
11. Rokickij, P. F. Biologicheskaya statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Uradzhaj, 1973. – 320 s.

УДК 597/599:574

DOI 10.63874/2218-0311-2025-1-13-24

Виктор Трофимович Демянчик¹, Валентин Петрович Рабчук², Дарья Андреевна Кунаховец³¹канд. биол. наук, доц., зав. лабораторией оптимизации экосистем Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси²науч. сотрудник лаборатории оптимизации экосистем

Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси

³мл. науч. сотрудник лаборатории оптимизации экосистем

Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси

Viktar Dziamianchyk¹, Valiantsin Rabchuk², Darya Kunakhavets³¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Ecosystem Optimization of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus²Researcher of the Laboratory of Ecosystem Optimization

of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus

³Junior Researcher of the Laboratory of Ecosystem Optimization of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belaruse-mail: ¹koktebel.by@mail.ru, ²pvrpsr@yandex.by, ³daria.sharko@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КРУПНЕЙШЕЙ В БЕЛАРУСИ ВЫВОДКОВОЙ КОЛОНИИ *PIPISTRELLUS PYGMAEUS*, *PIPISTRELLUS NATHUSII*

Рассматриваются средообразующие экологические факторы ландшафтной, гидрографической, геоботанической, эколого-фаунистической среды и хозяйственной деятельности в местообитании крупнейшей в Беларуси выводковой колонии *Pipistrellus pygmaeus* с участием *P. nathusii* в пойме Западного Буга в городе Бресте. Величина колонии, по учетам 08.06.2023, в максимальной численности составила более 320 самок. Местообитание характеризуется благоприятными биотопическими, абиотическими и антропогенными экологическими условиями для размножения *Pipistrellus*.

Ключевые слова: *Pipistrellus pygmaeus*, *Pipistrellus nathusii*, выводковая колония, экологические условия, Брест.

Ecological Characteristics of the Largest Breeding Colony of *Pipistrellus pygmaeus*, *Pipistrellus nathusii* in Belarus

The environment-forming ecological factors of the landscape, hydrographic, geobotanical, ecological-faunistic environment and economic activity in the habitat of the largest brood colony of *Pipistrellus pygmaeus* in Belarus with the participation of *P. nathusii* in the floodplain of the Western Bug in the city of Brest are considered. The size of the colony, according to the counts of 06.08.2023, in maximum numbers was more than 320 females. The habitat is characterized by favorable biotopic, abiotic and anthropogenic ecological conditions for the reproduction of *Pipistrellus*.

Key words: *Pipistrellus pygmaeus*, *Pipistrellus nathusii*, brood colony, ecological conditions, Brest.

Введение

Летучие мыши признаны одной из наиболее уязвимых групп наземных позвоночных Европы. Для сохранения этих животных заключено Общеввропейское соглашение по охране рукокрылых – EUROBATS (единственный в своем роде международный документ экологического права Европы). Все виды летучих мышей Беларуси включены в Приложения Боннской конвенции по мигрирующим животным, половина видов включена в Красную книгу Республики Беларусь. Летучие мыши – широко распространенные животные, но в периоды образования колоний отличаются избирательным поселением в наиболее благоприятной экологической среде. Состав выводковых колоний, стабильность их по годам представляет значимый интерес в биоиндикации окружающей среды. Нетопырь малый, или пигмей (*Pipistrellus pygmaeus*), и нетопырь лесной, или Натузиуса (*P. nathusii*), – типичные перелетные виды синантропных представителей летучих мышей Беларуси. В последние годы на крайнем юго-западе Беларуси эти

виды отмечены и на зимовках. Несмотря на обширный ареал, экология этих видов в условиях Беларуси изучена недостаточно. Как и в подавляющем большинстве публикаций по биологии рукокрылых, в белорусской хироптеронологической литературе экологические характеристики конкретных местообитаний приводятся в кратком, общем виде, что не всегда достаточно для сравнения. Поэтому представляется актуальным составить характеристику основных показателей окружающей среды на момент формирования крупнейшей колонии летучих мышей в современных условиях Беларуси. Такие сведения могут быть полезны для организации долгосрочной охраны ключевых местообитаний летучих мышей. Хироптериологическая характеристика крупнейшей колонии *P. pygmaeus*, *P. nathusii* опубликована в отдельной статье [1].

Цель исследования

Экологическая характеристика местообитания крупнейшей в Беларуси выводковой колонии *Pipistrellus pygmaeus*, *Pipistrellus nathusii*.

Материалы и методы исследования

Крупнейшая выводковая колония *P. pygmaeus* и *P. nathusii* обнаружена в 2020 г. на участке поймы р. Западный Буг в черте г. Бреста (далее – брестская колония). Участок ежегодно обследовался начиная с 1993 г. Учеты на участке проводились путем тщательного обследования потенциальных убежищ днем, регистрации видов и особей – ультразвуковыми детекторами Stags-electronic, D-200 и D-240 Peterson. Непосредственный учет численности особей в колонии целенаправленно проводился в 2023 г. и в 2024 г. одновременно 2–4 специалистами на расстоянии 3–7 м от летков убежища. Контрольные отловы проводились паутинной сетью. Идентификация отдельных особей проведена в лаборатории молекулярной зоологии НПЦ по биоресурсам НАН Беларуси и по литературным источникам [2–8].

08.06.2023 в колонии *Pipistrellus* зарегистрировано 320–340 самок, вылетевших из дневного убежища. Все отловленные самки из выборки в 30 экземпляров оказались на последних днях перед родами.

Общая экологическая оценка участка проводилась с учетом биологической специфики нетопырей [6–12]. Расчеты структуры земель проведены по данным геопортала Земельно-информационной системы Республики Беларусь. Экологическое описание приводится по состоянию на июнь – июль 2024 г. Синтаксоны растительности выделены по аналогии с польскими данными, полученными в этой части поймы Западного Буга, и в ходе непосредственных консультаций с Данутой Урбан в 2001–2002 гг. [13]. Ландшафтно-экологическая оценка этой зоны Бреста приводится в эколого-фаунистической монографии [14].

Результаты и их обсуждение

По месту расположения выводковых и зимовальных местообитаний *P. pygmaeus* и *P. nathusii* в условиях Беларуси относят к видам-синантропам [4]. Аналогичная биотопическая приуроченность выводковых колоний у этих видов установлена и в других странах Европы [8–10]. Долгое время считалось, что в Беларуси обитает только 2 вида нетопырей: лесной и карлик [8; 12]. В начале 1990 гг. в населении широко распространенного нетопыря-карлика (*P. pipistrellus*) были установлены два криптических вида: *P. pygmaeus* (широко распространен и размножается в Беларуси) и *P. nathusii* (крайне редкий на размножении в Беларуси). В ходе инвентаризации 2020 г. путем ДНК-анализа многих экземпляров нетопырей белорусской популяции из состава *Pipistrellus sp.*, собственно *P. pipistrellus* оказался единственным экземпляром из Бреста. Все остальные – *P. pygmaeus*. Сходная ситуация оказалась и в других географически близких странах

Европы, поэтому старые литературные данные по *P. pipistrellus* «скрывают» в подавляющем большинстве именно *P. pygmaeus* [2–6; 11; 12]. Выводковые колонии *Pipistrellus pygmaeus* (*P. pipistrellus*), в отличие от миграционных, в городах западной части Беларуси и в соседней Польше до недавнего времени были относительно редки. В Бресте такие колонии обнаружены после 1995 г. [4–6]. В хорошо изученной с 1860 гг. Варшаве выводковые или иные колонии *Pipistrellus sp.* не найдены по крайней мере до конца 1990 гг. [7].

Крупнейшая выводковая колония (брестская колония) *P. pygmaeus* (более 90 % самок) и *P. nathusii* (менее 10 % самок) с максимальной численностью 320+ самок на июнь 2023 г. ежегодно обитает по меньшей мере с 2020 г. и по настоящее время в небольшом кирпичном здании жилищно-коммунального назначения на западной окраине г. Бреста (рисунок 1).

Расположение выводковых и прочих колоний *Pipistrellus* в зданиях стало обычным явлением в 1990 – начале 2000 гг. До этого колонии в Беларуси обычно обитали в деревьях [6; 8]. Исключение составляли одиночки или мелкие группы (до 3–5 особей) [6; 8].



Рисунок 1 – Местоположение крупнейшей выводковой колонии *P. pygmaeus* и *P. nathusii* с максимальной численностью 320 самок в небольшом кирпичном здании жилищно-коммунального назначения на западной окраине г. Бреста

В отличие от Беларуси в Западной и Центральной Европе выводковые колонии *Pipistrellus* располагались главным образом в зданиях. «Все 85 известных в Австрии выводковых колоний *P. pipistrellus* (= *P. pygmaeus*) и все летние местообитания *P. nathusii* найдены в зданиях» [9, s. 236]. Среди специально изученных известных 309 выводковых и прочих колоний *P. pipistrellus* по всей Германии сообщается, что 98 % из них обитали в зданиях и сооружениях и только 2 % из них найдены в «щелях отмерших, поломанных или очень старых деревьев» [10, s. 72; 11].

Согласно литературным данным, величина выводковых колоний у *P. pygmaeus* и *P. nathusii* в целом одна из наибольших среди летучих мышей лесной зоны Европы и составляет: у *P. pipistrellus* 45–185 самок [9]; «может быть более 100 самок» у *P. pipistrellus* [2, s. 118], 10–40 самок у *P. nathusii* [2], 10–300 зверьков [10, s. 33].

В предыдущих наших исследованиях в окрестностях Бреста и других местах Беларуси находились колонии *Pipistrellus* численностью, как правило, не более 20–60 самок. На западе Беларуси в последние десятилетия выявлены три более крупные колонии, в т. ч. в долине Западного Буга: по 90–170 самок в выводковых колониях. На стадии разлета за счет молодняка в выводковых колониях насчитывалось 280–400+ особей *Pipistrellus* sp. Поэтому после многолетних сравнений обследованное 08.06.2023 скопление летучих мышей в брестской колонии было признано самой многочисленной выводковой колонией *P. rugmaeus*, состоящей из более чем 320 самок на разных стадиях беременности, и в числе которых было менее 10 % беременных самок *P. nathusii* [1; 2; 6; 8].

В обзорах по биологии летучих мышей в пределах бывшего СССР подчеркивалось, что «поселяется нетопырь-карлик на чердаках домов, в настилах глинобитных крыш, за наличниками окон и в других убежищах, связанных с жильем человека; реже в дуплах деревьев. В глубине лесов он совсем не встречается...» [12, с. 347]. Колонии *P. pipistrellus* и *P. nathusii* на территории Беларуси до 1995 г. также поселялись исключительно в убежищах с деревянным субстратом: под обшивкой стен и окон, под различными крышами с дощатой обрешеткой или подкладкой из дранки, в щелистых дуплах и т. п. [6; 8]. С середины 1990-х гг. в белорусской популяции *P. pipistrellus* и *P. nathusii* явно наметилась «западноевропейская» тенденция освоения колониями этих зверьков каменных и металлических полостей [6].

К каменному типу относится и брестская колония, которая ежегодно обитала в мае – июле в небольшом кирпичном здании площадью 25 м², высотой 4 м. Здание не отапливается, относительно редко посещается людьми, регулярно убирается. Крыша из железобетонной плиты перекрытия покрыта жестью с битуминозным покрытием. В крыше, на стыках стен и потолка имеются щели и полости. Непосредственные убежища *Pipistrellus* расположены в щелях вертикальной и горизонтальной ориентации в верхней части южной стены. В отдельные щели периодически попадает вода из атмосферных осадков и скапливается конденсационная влага.

Летное отверстие данного местообитания нетопырей представляло собой щель во внутреннем стыке стены и потолка длиной 200 см и высотой 1–1,5 см.

Зверьки вылетали свободно внутрь помещения и через 2,5 м – через открытый дверной проем на улицу.

По периметру здание регулярно обкашивается полосой шириной 2–4 м и с выходом на открытую поляну и берег глухой канавы. Здание находится на краю относительно обособленного комплекса старинных фортификационных сооружений общей площадью 9,1 га.

Стеной леса здание защищено от господствующего направления ветров. Весной и летом южная сторона под прямым воздействием солнечных лучей находится сравнительно недолго: 3,5 ч в первой половине дня. В жаркую погоду здание не перегревается. Благодаря обилию гигрофильной древесной растительности суточные амплитуды температуры и относительной влажности значительно (на 30 % и менее) ниже по сравнению с типичным городским микроклиматом. Относительная влажность воздуха при ночной (позднеевечерней) температуре 15–17 °С поддерживается на уровне 74–75 % и выше.

За счет сложившихся естественных и техногенных (фортификационные техноморфы, архитектура здания) фациальных ландшафтных элементов вокруг и внутри здания обеспечивается постоянная циркуляция воздуха. Захламленности, высокотравья, застойных «болотных» испарений по периметру здания нет.

Ландшафтная структура местности благоприятна для жизни летучих мышей, прежде всего в весенне-летний период и сезон гибернации.

Гидрографическая сеть развита (таблицы 1, 2). В радиусе 1 км от колонии расположено 14 старичных озер (два крупнейших из них составляют по площади 4,1 и 1,5 га), сюда входят полностью или частично акватории семи прудов, в т. ч. один пруд-карьер площадью 10 га (таблица 2). Водотоки в этом контуре представлены старой глухой канавой и мелиоративными каналами общей протяженностью 12,0 км (таблица 1).

В 1,2 км от местоположения колонии протекает большая р. Западный Буг.

Данные таблицы 1 показывают значительную экологическую разнородность водных объектов. Здесь в радиусе всего 1 км представлены: глухая канава, функционирующие каналы, старичные пруды и новый пруд-карьер разной величины и протяженности (таблицы 1, 2). Сравнительно многочисленны и озера старичного типа. За исключением быстротока р. Западного Буга (в 1,2 км от колонии) остальные водные объекты отличаются крайне медленным течением или полностью стоячей водой. Экотонная протяженность (длина береговой линии водоемов и водотоков) составляет относительно большую длину – 32,4 км. Густота речной сети данного земельного контура (3,14 км²) составила 3,82 км/км².

В последние два десятилетия крупнейшие озера из-за прекращения рекреации находятся в стадии зарастания, прежде всего телорезом (*Stratiotes aloides*).

Таблица 1 – Структура водных объектов в радиусе 1 км от местоположения колонии *P. rugmaeus* и *P. nathusii* на западной окраине Бреста

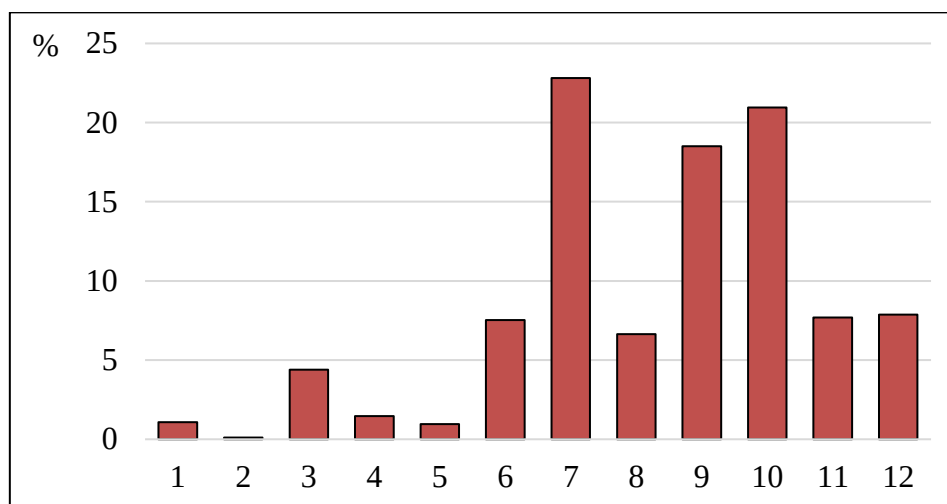
№ п/п	Водные объекты	Параметры
1	Протяженность береговой линии и площадь акватории водотоков	
1.1	Глухая канава	
1.1.1	Общая длина канавы	1,254 км
1.1.2	Площадь акватории канавы	1,254 га
1.1.3	Протяженность береговой линии канавы	2,51 км
1.2	Протяженность береговой линии и площадь акватории мелиоративных каналов	
1.2.1	Общая длина мелиоративных каналов	10,761 км
1.2.2	Площадь акватории мелиоративных каналов	2,1522 га
1.2.3	Протяженность береговой линии мелиоративных каналов	21,522 км
2	Количество, площадь акватории и протяженность береговой линии водоемов	
2.1	Площадь акватории водоемов	19,1302 га
2.1.1	Количество прудов (включая пруд-карьер)	7 объектов
2.1.2	Площадь акватории прудов (включая пруд-карьер)	11,66 га
2.1.3	Протяженность береговой линии прудов (включая пруд-карьер)	2,831 км
2.2.1	Количество озер старичных	14 объектов
2.2.2	Площадь акватории озер старичных	7,4702 га
2.2.3	Протяженность береговой линии озер старичных	5,565 км

В таблице 2 отдельно показана гидрография трех самых крупных водоемов: пруд-карьер и два старичных озера. Сочетание водоемов разной величины и генезиса формирует обильную и разнообразную кормовую базу для *Pipistrellus* [6].

Таблица 2 – Количество, площадь акватории и протяженность береговой линии относительно крупных пруда и озера, расположенных в радиусе 1 км от колонии *P. rugtaeus* и *P. nathusii* на западной окраине Бреста

№ п/п	Водные объекты	Параметры
1	Пруд-карьер (относительно крупный)	1
1.1	Площадь акватории пруда	10,04 га
1.2	Протяженность береговой линии пруда	1,482 км
2	Озеро старичное (относительно крупное)	1
2.1	Площадь акватории озера	4,101 га
2.2	Протяженность береговой линии озера	1,706 км
3	Озеро старичное (относительно крупное)	1
3.1	Площадь акватории озера	1,53 га
3.2	Протяженность береговой линии озера	1,023 км

Лесная и древесно-кустарниковая растительность преимущественно сырых и периодически подтапливаемых категорий в радиусе 1 км от колонии занимает более 90 га и составляет 29,5 % общей площади (рисунок 2). Около 66 га занимают пахотные земли, которые до 2018 г. были в основном культурными и естественными лугами. Луговые, в т. ч. слабо закустаренные, земли, включая обочины дорог, составляют около 70 га (рисунок 2).



- | | |
|--|---|
| 1 – Земли общего пользования | 7 – Лесные земли |
| 2 – Земли под болотами | 8 – Земли под древесно-кустарниковой растительностью |
| 3 – Земли под дорогами | 9 – Луговые земли |
| 4 – Земли под застройкой (без разделения на жилую и производственную застройку) | 10 – Пахотные земли |
| 5 – Земли под застройкой (используемые для строительства и (или) обслуживания жилого дома) | 11 – Иные земли (дамбы и плотины, технологические полосы каналов (бровки), действующие строительные площадки и т. п.) |
| 6 – Земли под поверхностными водными объектами | 12 – Неиспользуемые земли |

Рисунок 2 – Виды земель в радиусе 1 км от местоположения колонии *P. rugtaeus* и *P. nathusii* на западной окраине Бреста, по данным геопортала Земельно-информационной системы Республики Беларусь

Край застройки обширного частного сектора, входящий в условный контур, составляет 3 га. Дороги и аналогичные полосы имеют протяженность 5,5 км.

Фортификационный комплекс расположен в правобережной центральной пойме р. Западный Буг, внутри широкого ленточного массива лиственного леса в сочетании с участками сырых и болотных лугов, канав, старичных озер. Массив простирается вдоль правого берега реки почти без перерыва на протяжении более 10 км в обе стороны от местоположения колонии. Левобережье Западного Буга (территория Польши), напротив, распаханно в большинстве мест почти до самого русла.

Здание брестской колонии находится в 1,1 км от линии государственной границы и русла большой реки (Западный Буг), в 0,4 км от закрытой полосы инженерно-технических сооружений госграницы. От сравнительно тихой жилищной застройки коттеджного типа лесной массив разделяют севооборотные поля шириной 0,9–1,5 км на мелиорированном лугу с густой сетью открытых каналов.

Ближайшая дорога-улица с интенсивным дорожным движением крупного города находится в 2,2 км. Непосредственно возле здания проходит шоссейная дорога с крайне слабым дорожным движением: 0,9 автомобиля / 1 час днем; 0,1 автомобиля / 1 час после 19:30. После 18:30 в июне отмечается почти полное отсутствие людей и слышимых антропогенных шумов. В 0,1 км находится фонарь уличного освещения. В 0,1 – 0,5 км периодически наблюдаются группы людей-рекреантов: жителей Бреста и туристов. Непосредственно в зоне колонии осуществляется туристическая и рекреационная деятельность в умеренных масштабах.

После прекращения выпаса КРС в 1990 гг. вокруг фортификационного комплекса сформировались леса естественного возобновления. В целом участок в радиусе 1 км от колонии в черте и пригородной зоне Бреста выделяется сравнительно высокой мозаичностью и разнородностью земель и растительных сообществ.

По распространению доминирует растительность из класса *Salicetea purpureae* и включает три таксона: *Salicetum albo-fragilis*; *Populetum albae*, *Salicetum triandroviminalis* (рисунок 3). Вторым классом является *Alnetea glutinosae*. Такая структура растительности типична для среднего течения р. Западный Буг в зонах староречий [13]. Встречаются участки ясенево-вязовых лесов *Fraxino-Ulmetum campestris*, небольшими фрагментами представлены ивняки *Salicetum pentadro-cinereae*. На открытых местах представлена растительность классов *Phragmieteae*, *Bidentetea tripartite*, *Artemisieteae vulgaris*. Водная растительность представлена классами *Lemnetea minoris*, *Potametaea*. В лесотипологическом отношении лес в радиусе 50 м от здания соответствует «ветлянику крапивному (малиновому)» в составе: 7 – ива ломкая, 1 – тополь черный, 1 – тополь белый, 1 – ясень + ива белая + дуб черешчатый + осина. По ТЛУ это насаждение примерно соответствует С3 и D4 (бонитет 1А и 3). Далее простираются насаждения злаково-пойменного типа, периодически подтапливаемые.

На территории в радиусе 0,3 км от здания брестской колонии представлен достаточно богатый состав древесных и кустарниковых пород. По мере убывания обилия здесь встречаются древесные породы: *Salix fragilis*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *P. nigra*, *P. alba*, *Salix alba*, *Salix caprea*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Acer negundo*, *Ulmus scabra*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer platanoides*, *Malus* sp., *Pyrus* sp., *Pinus sylvestris*, *Prunus cerasifera*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Prunus padus*, *Prunus serotina*, *Salix babylonica*. Кроме единичных экземпляров, в жилищной застройке хвойные породы в радиусе 1 км от колонии почти везде отсутствуют. Однако небольшое (3,5 га) искусственное насаждение *Pinus sylvestris*, *Quercus rubra*, *Betula pendula* находится в 0,8 км от брестской колонии. Это насаждение составляет единственное (в радиусе 1 км) суходольное лесное насаждение (высажено в 2001 г. на гривистом возвышении поймы Западного Буга).



Рисунок 3 – Доминирующие таксоны в ближайшем окружении колонии *P. rugosus* и *P. nathusii*: *Salicetum albo-fragilis* и *Populetum albae*

Встречаются свыше 20 видов кустарников, доминируют: *Salix purpurea*, *Salix cinerea*, *Euonymus europaeus*, *Cornus alba*, *Salix myrsinifolia*, *Salix viminalis*. Характерны заросли крапивы, малины, ежевики, хмеля, костреца, пырея и других видов злаково-разнотравных сообществ.

Непосредственно возле брестской колонии представлен достаточно оригинальный герпетокомплекс. В июне 2024 г. на момент обследования колонии в значительном обилии выявлены только два вида амфибий: *Bombina bombina*, *Pelophylax ridibundus*. Не отмечены обычные для данных экотопов: *Rana arvalis*, *Rana temporaria*, *Bufo* sp., *Hyla orientalis*, *Pelobates fuscus*. Не отмечены рептилии. Орнитокомплекс по вечерним учетам 21.06.2024 сравнительно богат и представлен следующими видами (таблица 4).

Таблица 4 – Виды птиц, отмеченные 21.06.2024 19:30–22:30 в радиусе 0,5 км от колонии *P. rugosus* и *P. nathusii* на западной окраине Бреста

№ п/п	Виды птиц	Примечание
1	2	3
1	Цапля серая (<i>Ardea cinerea</i>)	Подлет на кормежку, транзитный пролет
2	Журавль серый (<i>Grus grus</i> , <i>G. communis</i>)	Позыв с гнездового участка
3	Лебедь-шипун (<i>Cygnus olor</i>)	Плавание двух взрослых особей после неудачного гнездования
4	Кряква (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Подлет на кормежку самки и двух молодых особей
5	Сова ушастая (<i>Asio otus</i>)	Позыв слетка с гнездового участка
6	Дятел малый (<i>Picoides minor</i>)	Позывы, перелеты особей
7	Вяхрь (<i>Columba palumbus</i>)	Токование, перелеты 3–5 особей
8	Стриж черный (<i>Apus apus</i>)	Кормовые пролеты единичных особей
9	Крапивник (<i>Troglodytes troglodytes</i>)	Пение самца, позывы, перелеты особей
10	Дрозд черный (<i>Turdus merula</i>)	Активное пение 4–6 самцов, перелеты взрослых и молодых особей

Окончание таблицы 4

11	Дрозд певчий (<i>Turdus philomelos</i>)	Активное пение 2 самцов, позывы, перелеты особей
12	Зарянка (<i>Erithacus rubecula</i>)	Пение 2–4 самцов, позывы, перелеты особей
13	Пеночка-теньковка (<i>Phylloscopus collybita</i>)	Пение 1 самца, позывы, перелеты особей
14	Славка черноголовая (<i>Sylvia atricapilla</i>)	Пение 3–4 самцов, позывы, перелеты особей
15	Славка ястребиная (<i>Sylvia nisoria</i>)	Пение 1 самца, позывы, перелеты особей
16	Славка серая (<i>Sylvia communis</i>)	Позывы, перелеты особей
17	Камышевка дроздовидная (<i>Acrocephalus arundinaceus</i>)	Перелеты взрослых и молодых особей
18	Камышевка болотная (<i>Acrocephalus palustris</i>)	Пение 1 самца, перелеты особей
19	Сверчок речной (<i>Locustella fluviatilis</i>)	Пение 1 самца
20	Сверчок соловьиный (<i>Locustella luscinioides</i>)	Пение 1 самца
21	Ласточка береговая, береговушка (<i>Riparia riparia</i>)	Активное кормление 7–8 особей
22	Сойка (<i>Garrulus glandarius</i>)	Позывы, перелеты 2–3 особей
23	Зяблик (<i>Fringilla coelebs</i>)	Пение 2–3 самцов, перелеты особей
24	Овсянка обыкновенная (<i>Emberiza citrinella</i>)	Активное пение 4 самцов

Териокомплекс этого участка достаточно своеобразен.

Млекопитающие представлены крупными грызунами. В радиусе 0,6 км 21.06.2024 на старых канавах учтено сразу 10 взрослых особей бобра (*Castor fiber*). Среди крупных хищников в этом же радиусе обитает барсук (*Meles meles*), а также синантропизированная (из «городской популяции») семья лисы (*Vulpes vulpes*). Отметим, что адаптированные многолетние «городские» группировки барсука и лисы в настоящее время в условиях больших и крупных городов Беларуси характерны только для Бреста. Необычно высокой оказалась и плотность бобра: 10 особей на 1,2 км длины водотока.

Сравнительно редко (в предшествующих учетах) отмечалась куница каменная (*Martes foina*) и норка американская (*Neogale vison*). В радиусе 0,6 км на зимовках (в предшествующих учетах) регулярно с разной численностью регистрировались восемь видов летучих мышей.

В ближайших окрестностях колонии достаточно обильны (для городских земель Бреста) двукрылые *Diptera*, чешуекрылые *Lepidoptera*.

Значительное многообразие древесной растительности лиственных формаций, луговые и полевые агроугодья, различные водные объекты и прочие эдафические элементы обуславливают обильную кормовую базу мелких летающих насекомых в наиболее значимую стадию жизни нетопырей: жировку беременных самок, самок-рожиц, неполнорослых молодых особей в мае – первой половине июля.

Выводы

1. На западной окраине Бреста в 2023 г. выявлена наиболее крупная на территории Беларуси выводковая колония нетопыря малого и нетопыря лесного.

2. Местообитание выводковой колонии нетопырей характеризуется благоприятными экологическими условиями для размножения летучих мышей в отношении кормности, безопасности от хищников, микроклимата, антропогенного беспокойства.

3. Местообитание колонии в урбанизированном ландшафте г. Бреста характеризуется: развитой гидрографической сетью и разнообразием водных объектов; обилием древесно-кустарниковой и луговой растительности естественного происхождения; наличием прокашиваемых участков и застройки; своеобразным герпето- и териокомплексом; сравнительно богатым составом орнитокомплекса; низким уровнем транспортного и рекреационного воздействия.

4. Ландшафтный комплекс составляет относительно небольшой геоморфологически преобразованный в XIX ст. локалитет фортификаций в пределах малонарушенной поймы большой реки (Западный Буг), входящей в состав одного из общеевропейских экологических коридоров.

Выражаем благодарность секретариату EUROBATS за предоставленные детекторы: В. В. Демянчику, О. С. Гроде, М. Г. Демянчик, И. Г. Марзану и другим помощникам в проведении исследований и подготовке статьи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Демянчик, В. В. Крупнейшая колония нетопырей *Pipistrellus pygmaeus*, *Pipistrellus nathusii* в условиях урбанизированного ландшафта юго-запада Беларуси / В. В. Демянчик, О. С. Грода // Териофауна Беларуси и сопредельных регионов : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения проф. П. Г. Козло, Минск, 24–26 сент. 2024 г. / Междунар. ассоц. акад. Наук ; редкол.: В. В. Шакур (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2024. – С. 69–72.

2. Görner, M. Säugetiere Europas / M. Görner, H. Hackethal. – Leipzig ; Radebeul : Neumann, 1987. – 371 s.

3. Dietz, C. Illustrated identification key to the bats of Europe [Электронный ресурс] / C. Dietz, O. von Helversen. – Tuebingen & Erlangen, 2004. – 72 s. – URL: https://www.chiroptera.se/documents/Illustrated_Key_to_European_Bats.pdf. (datum der behandlung: 24.06.2024).

4. Демянчик, В. В. Синантропный экологический комплекс и структура населения позвоночных на селитебных территориях Белорусского Полесья / В. В. Демянчик, М. Е. Никифоров // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2017. – Ч. 3. – С. 7–18.

5. Криптический видовой комплекс рукокрылых *Plecotus auritus* / *austriacus* в Беларуси: видовая идентификация и филогеографические паттерны / А. В. Шпак, Е. Э. Хейдорова, А. И. Ларченко [и др.] // Молекулярная и прикладная генетика. – 2020. – Т. 29. – С. 59–69.

6. Демянчик, В. Т. Рукокрылые Беларуси : справ.-определитель / В. Т. Демянчик, М. Г. Демянчик. – Брест : С. Б. Лавров, 2000. – 216 с.

7. Lesiński, G. Charakterystyka miejskiego zgrupowania nietoperzy Warszawy / G. Lesiński, E. Fuszara, M. Kowalski // Nietoperze. – 2001. – Vol. 2, № 1. – S. 3–17.

8. Курсков, А. Н. Рукокрылые Белоруссии / А. Н. Курсков. – Минск : Наука и техника, 1981. – 135 с.

9. Grüne Reihe des Lebensministeriums : in 19 bd. / Lebensministerium ; redcol.: R. Wallner (ed.). – Graz : Austria medien Service GmbH, 1992–2007. – Bd. 13 : Die Säugetierfauna Österreichs / F. Spitzenberger. – 2001. – 895 s.

10. Simon, M. Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Dörfern und Städten / M. Simon, S. Hüttenbügel, J. Smit-Viergutz // Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. – 2004. – H. 76. – 275 s.
11. Boye, P. Fledermäusen und Fledermausschutz in Deutschland / P. Boye, M. Dietz, M. Weber. – Bonn : Bundesamt für Naturschutz, 1999. – 126 s.
12. Кузякин, А. П. Летучие мыши (Систематика, образ жизни и польза для сельского и лесного хозяйства) / А. П. Кузякин. – М. : Советская наука, 1950. – 443 с.
13. Urban, D. Roślinność starorzeczy doliny Bugu (odcinek Gołębie – Kostomłoty) / D. Urban, H. Wójciak // Korytarze ekologiczne – metodyka, projektowanie, realizacja. Międzynarodowy korytarz ekologiczny rzeki Bug : materiały konf., Lublin, 20–21 list. 2002 r. / KUL ; redcol.: S. Kozłowski, J. Kuśmierczyk, M. Kamola. – Lublin, 2002. – S. 133–143.
14. Птицы Бреста: общие сведения : монография / В. Т. Демянчик, В. В. Демянчик, М. Г. Демянчик, В. П. Рабчук. – Брест : БрГУ, 2022. – 210 с.

REFERENCES

1. Demyanchik, V. V. Krupnejshaya koloniya netopyrej *Pipistrellus pygmaeus*, *Pipistrellus nathusii* v usloviyah urbanizirovannogo landshafta yugo-zapada Belarusi / V. V. Demyanchik, O. S. Groda // Teriofauna Belarusi i sopredel'nyh regionov : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 90-letiyu so dnya rozhdeniya prof. P. G. Kozlo, Minsk, 24–26 sent. 2024 g. / Mezhdunar. assoc. akad. Nauk ; redkol.: V. V. Shakun (gl. red.) [i dr.]. – Minsk, 2024. – S. 69–72.
2. Görner, M. Säugetiere Europas / M. Görner, H. Hackethal. – Leipzig ; Radebeul : Neumann, 1987. – 371 s.
3. Dietz, C. Illustrated identification key to the bats of Europe [Электронный ресурс] / C. Dietz, O. von Helversen. – Tuebingen & Erlangen, 2004. – 72 s. – URL: https://www.chiroptera.se/documents/Illustrated_Key_to_European_Bats.pdf. (datum der behandlung: 24.06.2024).
4. Demyanchik, V. V. Sinantropnyj ekologicheskij kompleks i struktura naseleniya pozvonochnyh na selitebnyh territoriyah Belorusskogo Poles'ya / V. V. Demyanchik, M. E. Nikiforov // Vesci Nacyyanal'naj akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnyh navuk. – 2017. – Ch. 3. – S. 7–18.
5. Kripticheskij vidovoj kompleks rukokrylyh *Plecotus auritus* / *austriacus* v Belarusi: vidovaya identifikaciya i filogeograficheskie patterny / A. V. Shpak, E. E. Hejdorova, A. I. Larchenko [i dr.] // Molekulyarnaya i prikladnaya genetika. – 2020. – T. 29. – S. 59–69.
6. Demyanchik, V. T. Rukokrylye Belarusi : sprav.-opredelitel' / V. T. Demyanchik, M. G. Demyanchik. – Brest : S. B. Lavrov, 2000. – 216 s.
7. Lesiński, G. Charakterystyka miejskiego zgrupowania nietoperzy Warszawy / G. Lesiński, E. Fuszara, M. Kowalski // Nietoperze. – 2001. – Vol. 2, № 1. – S. 3–17.
8. Kurskov, A. N. Rukokrylye Belorussii / A. N. Kurskov. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1981. – 135 s.
9. Grüne Reihe des Lebensministeriums : in 19 bd. / Lebensministerium ; redcol.: R. Wallner (ed.). – Graz : Austria medien Service GmbH, 1992–2007. – Bd. 13 : Die Säugetierfauna Österreichs / F. Spitzenberger. – 2001. – 895 s.
10. Simon, M. Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Dörfern und Städten / M. Simon, S. Hüttenbügel, J. Smit-Viergutz // Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. – 2004. – H. 76. – 275 s.
11. Boye, P. Fledermäusen und Fledermausschutz in Deutschland / P. Boye, M. Dietz, M. Weber. – Bonn : Bundesamt für Naturschutz, 1999. – 126 s.

12. Kuzyakin, A. P. Letuchie myshi (Sistematika, obraz zhizni i pol'za dlya sel'skogo i lesnogo hozyajstva) / A. P. Kuzyakin. – M. : Sovetskaya nauka, 1950. – 443 s.
13. Urban, D. Roślinność starorzeczy doliny Bugu (odcinek Gołębie – Kostomłoty) / D. Urban, H. Wójciak // Korytarze ekologiczne – metodyka, projektowanie, realizacja. Międzynarodowy korytarz ekologiczny rzeki Bug : materiały konf., Lublin, 20–21 list. 2002 r. / KUL ; redcol.: S. Kozłowski, J. Kuśmierczyk, M. Kamola. – Lublin, 2002. – S. 133–143.
14. Pticy Bresta: obshchie svedeniya : monografiya / V. T. Demyanchik, V. V. Demyanchik, M. G. Demyanchik, V. P. Rabchuk. – Brest : BrGu, 2022. – 210 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 08.04.2025

УДК 616.831.31-005.4.-092.913:618.33

DOI 10.63874/2218-0311-2025-1-25-32

**Елизавета Игоревна Бонь¹, Наталия Евгеньевна Максимович²,
Ольга Анатольевна Карнюшко³, Сергей Михайлович Зиматкин⁴,
Никита Витальевич Кохан⁵**

¹канд. биол. наук, доц. доц. каф. патологической физиологии имени Д. А. Маслакова
Гродненского государственного медицинского университета

²д-р мед. наук, проф., зав. каф. патологической физиологии им. Д. А. Маслакова
Гродненского государственного медицинского университета

³канд. биол. наук, доц. доц. каф. гистологии, цитологии и эмбриологии
Гродненского государственного медицинского университета

⁴д-р биол. наук, проф., зав. каф. гистологии, цитологии и эмбриологии
Гродненского государственного медицинского университета

⁵студент 6-го курса медико-психологического факультета
Гродненского государственного медицинского университета

Elizaveta Bon¹, Nataliya Maksimovich², Olga Karnyushko³, Sergey Zimatkin⁴, Nikita Kokhan⁵

¹PhD in Biology, Associate Professor; ²Doctor of Medical Sciences, Professor;

³PhD in Biology, Associate Professor; ⁴Doctor of Biological Sciences;

⁵Student of the Faculty of Mental Health Medicine

e-mail: asphodela@list.ru¹; mne@grsmu.by²; karnyushko-olga@mail.ru³;

smzimatin@mail.ru⁴; nikita.kokhan1@gmail.com⁵

СОДЕРЖАНИЕ ГИПОКСИЕЙ ИНДУЦИРОВАННОГО ФАКТОРА В НЕЙРОНАХ ТЕМЕННОЙ КОРЫ И ГИППОКАМПА КРЫС С ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ИШЕМИЕЙ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ

Церебральная ишемия, включая инсульты, является одной из ведущих причин инвалидности и смерти в мире. Несмотря на достижения в медицине, многие случаи церебральной ишемии остаются недиагностированными или неправильно диагностированными. Это подчеркивает необходимость изучения механизмов, связанных с гипоксией и разработки новых терапевтических подходов для лечения инсультов и других заболеваний, связанных с недостатком кровоснабжения. Адаптация к условиям ишемии представлена повышением выработки в нейронах головного мозга индуцированного фактора 1-α. Его экспрессия повышается при уменьшении в крови количества кислорода. В настоящей работе оценено содержание гипоксией индуцированного фактора в нейронах теменной коры и гиппокампа крыс с церебральной ишемией различной степени тяжести.

Ключевые слова: гиппокамп, ишемия, теменная кора, гипоксией индуцированный фактор 1-α.

Hypoxia-induced Factor Content in Neurons of the Parietal Cortex and Hippocampus of Rats with Cerebral Ischemia of Various Severity

Cerebral ischemia, including strokes, is one of the leading causes of disability and death in the world. Despite advances in medicine, many cases of cerebral ischemia remain undiagnosed or misdiagnosed. This highlights the need to study the mechanisms associated with hypoxia and develop new therapeutic approaches for the treatment of strokes and other diseases associated with insufficient blood supply. Adaptation to ischemic conditions is represented by an increase in the production of induced factor 1-α in neurons of the brain. Its expression increases with a decrease in the amount of oxygen in the blood. In this study, the content of hypoxia-induced factor 1-α in neurons of the parietal cortex and hippocampus of rats with cerebral ischemia of varying severity was assessed.

Key words: hippocampus, ischemia, parietal cortex, hypoxia-induced factor 1-α.

Введение

Вопросы повышения резистентности организма к недостатку кислорода и энергодефициту являются актуальными, т. к. гипоксия как типовой патологический процесс в той или иной мере инициирует развитие и сопутствует течению всех видов патоло-

гии, приводя к функциональным, а затем структурным изменениям в органах и тканях в результате снижения внутриклеточного напряжения кислорода [1; 3; 5; 6].

В последние годы изучены фундаментальные механизмы развития гипоксии различного генеза и индуцируемых ею метаболических и функциональных нарушений на уровне клетки и субклеточных структур. Выявлен ряд морфофункциональных структур, принимающих непосредственное участие в развитии срочной и долговременной адаптации организма к гипоксии. Эти структуры могут выступать специфическими мишенями для воздействия фармакологических агентов с целью регуляции процессов адаптации организма к гипоксии, что открывает перспективные возможности поиска и разработки новых эффективных лекарственных средств с антигипоксическим действием [6–8; 11].

Важная роль в адаптации организма к гипоксии принадлежит специфическому регуляторному белку – гипоксией индуцированному фактору (HIF, сокр. от англ. *Hypoxia-inducible factors*), экспрессия которого увеличивается при уменьшении напряжения кислорода в крови [7–9].

Показано, что HIF играет важную роль в системном ответе организма на гипоксию, образуется во многих тканях организма, в т. ч. в нервной ткани, где его экспрессия максимальна в нейронах [10–15].

Цель – оценить содержание гипоксией индуцированного фактора в нейронах теменной коры и гиппокампа крыс с церебральной ишемией различной степени тяжести.

Материалы и методы исследования

Эксперименты выполнены на 24 самцах беспородных белых крыс массой 260 ± 20 г с соблюдением требований Директивы Европейского Парламента и Совета № 2010/63/EU от 22.09.2010 о защите животных, используемых для научных целей.

Моделирование церебральной ишемии осуществляли в условиях внутривенного тиопенталового наркоза (40–50 мг/кг).

В исследованиях использованы модели частичной (ЧИГМ), ступенчатой субтотальной (ССИГМ), субтотальной (СИГМ) и тотальной (ТИГМ) ишемии головного мозга [2].

Частичную ишемию головного мозга (ЧИГМ) моделировали путем перевязки одной общей сонной артерии (ОСА) справа.

Ступенчатую субтотальную ИГМ (ССИГМ) осуществляли путем перевязки обеих ОСА с интервалом 7 суток (подгруппа 1), 3 суток (подгруппа 2) или 1 сутки (подгруппа 3).

Субтотальную ишемию головного мозга (СИГМ) моделировали путем одномоментной перевязки обеих ОСА.

Тотальную ишемию головного мозга (ТИГМ) моделировали путем декапитации животных.

Забор головного мозга осуществляли спустя 1 ч после операции.

После декапитации у крыс быстро извлекали головной мозг, кусочки коры больших полушарий фиксировали в цинк-этанол-формальдегиде при +4 °C (на ночь), затем заключали в парафин. Парафиновые срезы толщиной 5 мкм готовили с помощью микротомы, монтировали на предметные стекла. Препараты обрабатывали согласно протоколу иммуноцитохимической реакции для световой микроскопии, исключаяющей процедуру теплового демаскирования антигенов. Для определения иммунореактивности молекулярного маркера HIF применяли первичные поликлональные мышинные антитела Anti-HIF1A antibody фирмы Elabscience (Китай, Catalog No. E-AB-66968) в разведении 1 : 500 при +4 °C, экспозиция 20 ч, во влажной камере [4]. Для выявления связавшихся первичных антител использовали набор EXPOSE Mouse and Rabbit specific HRP/DAB

detection IHC kit Abcam (Великобритания, ab. 80436). Содержание HIF оценивали в цитоплазме нейронов пятого слоя теменной коры и нейронов поля СА₁ гиппокампа в иммуногистохимических препаратах на основе величины оптической плотности осадка хромогена с помощью микроскопа Axioscop 2 plus (Zeiss, Германия), цифровой видеокамеры (LeicaDFC 320, Германия) и программы анализа изображения ImageWarp (Bitflow, США).

Для предотвращения систематической ошибки измерений образцы головного мозга от сравниваемых контрольной и опытных групп животных изучали в одинаковых условиях.

В результате исследований получены количественные непрерывные данные. Так как в эксперименте использованы малые выборки, которые имели ненормальное распределение, анализ проводили методами непараметрической статистики с помощью лицензионной компьютерной программы Statistica 10.0 для Windows (StatSoft, Inc., США). Данные представлены в виде Me (LQ; UQ), где Me – медиана, LQ – значение нижнего квартиля; UQ – значение верхнего квартиля. Различия между группами считали достоверными при $p < 0,05$ (тест Крускала – Уоллиса с поправкой Бонферони).

Результаты и их обсуждение

У крыс с ЧИГМ не было выявлено изменения содержания HIF по отношению к уровню в контрольной группе ($p > 0,05$) (таблица 1, рисунки 1, 2).

Таблица 1 – Содержание HIF (в единицах оптической плотности) в цитоплазме пирамидных нейронов теменной коры и поля СА₁ гиппокампа головного мозга крыс ишемией головного мозга различной степени тяжести, Me (LQ; UQ)

Группы		Теменная кора	Гиппокамп
Контроль		0,18 (0,17; 0,19)	0,18 (0,16; 0,19)
ЧИГМ		0,18 (0,16; 0,20)	0,17 (0,16; 0,19)
ССИГМ	1-я подгруппа	0,24 (0,24; 0,25)*	0,23 (0,22; 0,26)*
	2-я подгруппа	0,14 (0,12; 0,16)*	0,16 (0,15; 0,17)
	3-я подгруппа	0,14 (0,11; 0,14)*	0,14 (0,13; 0,15)*
СИГМ		0,12 (0,06; 0,16)*	0,13 (0,09; 0,14)*
ТИГМ		0,03 (0,02; 0,05)*	0,10 (0,09; 0,11)*

Примечание – * – $p < 0,05$ по сравнению с группой «контроль»; ЧИГМ – частичная ишемия головного мозга; ССИГМ – субтотальная ступенчатая ишемия головного мозга; СИГМ – субтотальная ишемия головного мозга; ТИГМ – тотальная ишемия головного мозга.

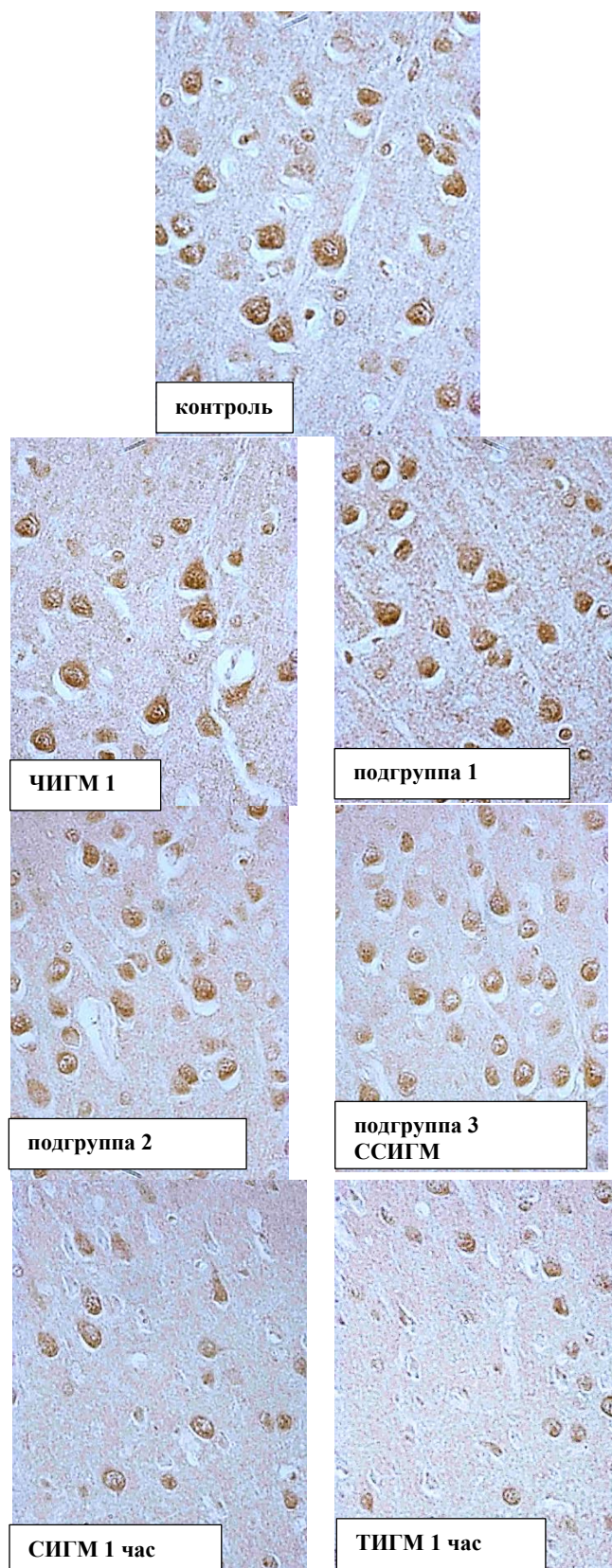


Рисунок 1 – Содержание НІФ (в единицах оптической плотности) в цитоплазме пирамидных нейронов теменной коры крыс с частичной (ЧИГМ), ступенчатой субтотальной (ССИГМ), субтотальной (СИГМ) и тотальной (ТИГМ) ишемией головного мозга. Увеличение x400

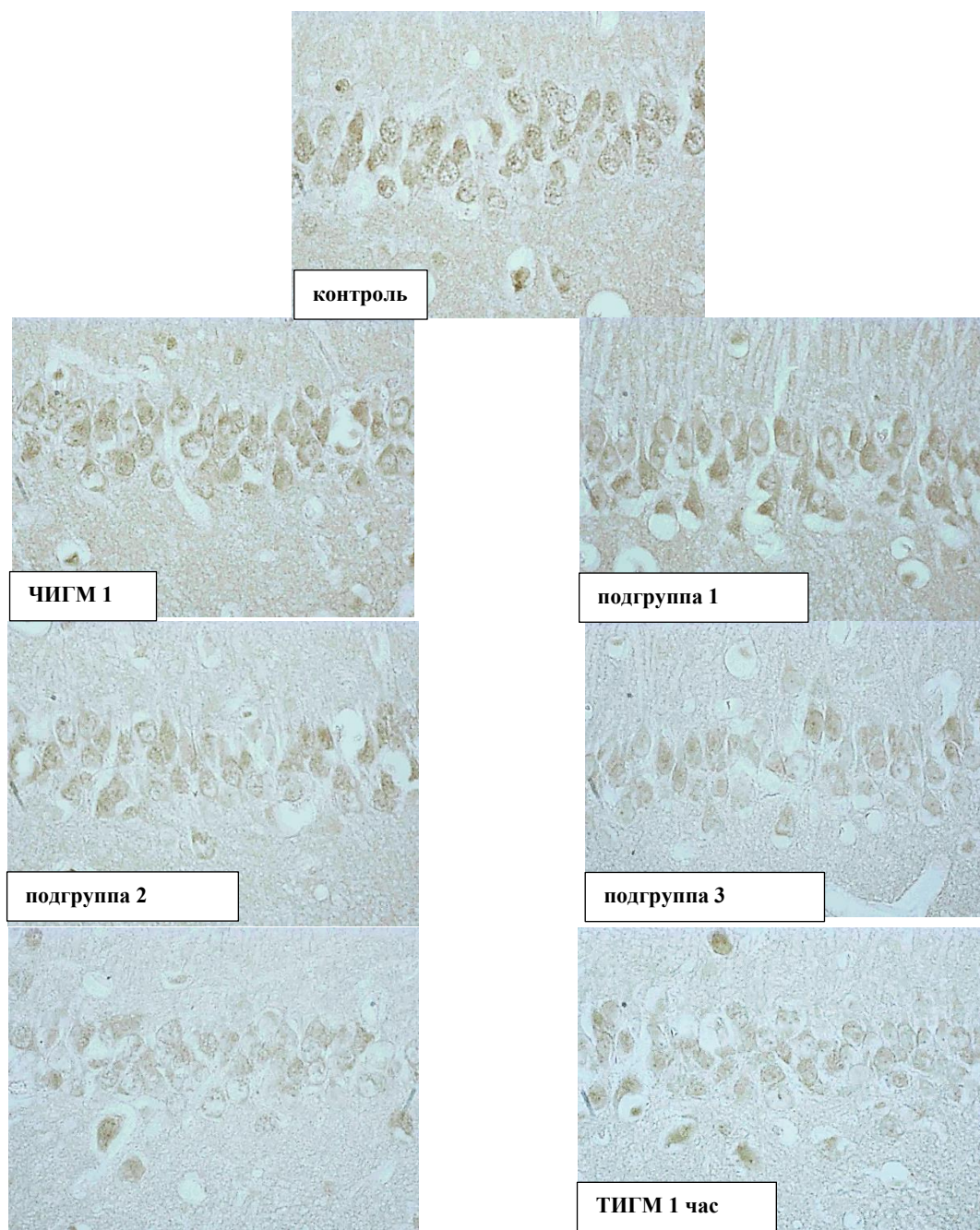


Рисунок 2 – Содержание НІФ (в единицах оптической плотности) в цитоплазме пирамидных нейронов поля СА₁ гиппокампа крыс с частичной (ЧИГМ), ступенчатой субтотальной (ССИГМ), субтотальной (СИГМ) и тотальной (ТИГМ) ишемией головного мозга. Цифровая микрофотография. Увеличение x400

По сравнению с группой «контроль», в 1-й подгруппе ССИГМ (промежуток между перевязками обеих ОСА 7 суток), происходило увеличение содержания НІФ на 25 % в теменной коре ($p < 0,05$) и на 22 % – в гиппокампе ($p < 0,05$), во 2-й подгруппе ССИГМ (промежуток между перевязками 3 суток) содержание НІФ уменьшилось – на 22 % в теменной коре ($p < 0,05$), а в гиппокампе не изменилось ($p > 0,05$). В 3-й подгруппе отмечалось снижение содержания НІФ – на 22 % как в теменной коре ($p < 0,05$), так и в гиппокампе ($p < 0,05$).

В 3-й подгруппе ССИГМ (интервал между перевязками ОСА 1 сутки) содержание НІФ было меньше, по сравнению с 1-й подгруппой на 42 % – в теменной коре ($p < 0,05$) и на 39 % – в гиппокампе ($p < 0,05$), а по сравнению со 2-й подгруппой различий не было ни в одном из изучаемых отделов ($p > 0,05$).

Таким образом, в 1-й подгруппе ССИГМ с интервалом между перевязками 7 суток наблюдалось увеличение содержания НІФ, в то время как во 2-й и 3-й подгруппах отмечалось снижение данного показателя.

По сравнению с контролем в группе СИГМ, моделируемой путем одномоментной перевязки обеих ОСА, содержание НІФ уменьшилось на 33 % в теменной коре ($p < 0,05$) и на 28 % – в гиппокампе ($p < 0,05$) и не имело отличий от содержания НІФ во 2-й и 3-й подгруппах ССИГМ.

При тотальной церебральной ишемии отмечено наиболее значимое уменьшение содержания НІФ, по сравнению с контролем – на 83 % в теменной коре, $p < 0,05$ и на 44 % в гиппокампе, $p < 0,05$.

Таким образом, изменения содержания НІФ в 1-й, 2-й и 3-й подгруппах ССИГМ были разнонаправленными: в 1-й подгруппе с максимальным интервалом между перевязками ОСА 7 суток оно увеличивалось, свидетельствуя о достаточном времени (7 суток) для активации механизмов компенсации при гипоксии путем повышения экспрессии генов, которые обеспечивают адаптацию клетки к гипоксии и стимулируют эритропоэз (гены эритропоэтина), ангиогенез (ген фактора роста эндотелия сосудов), ферменты гликолиза (ген альдолазы, лактатдегидрогеназы, фосфофруктокиназы, пируваткиназы и пр.). Кроме того, НІФ регулирует экспрессию генов, участвующих в обмене железа, регуляции сосудистого тонуса, клеточной пролиферации, апоптозе, липогенезе, развитии В-лимфоцитов и др. [7–15], в то время как по мере сокращения временного интервала между перевязками ОСА его содержание снижалось, указывая на недостаточное включение механизмов компенсации при более тяжелых формах ИГМ.

Содержание НІФ в 1-й подгруппе ССИГМ (интервал между перевязками ОСА 7 суток) превосходило значение показателей в группе «ЧИГМ» и «контроль», в то время как в 3-й подгруппе ССИГМ с минимальным интервалом между перевязками ОСА 1 сутки в большей степени было близко к значениям содержания белка в группе «СИГМ», моделируемой путем одномоментной перевязки обеих ОСА, что свидетельствует о более выраженном нарушении антигипоксической защиты. Наиболее выраженное снижение НІФ отмечалось при тотальной ишемии головного мозга как отражение деградации белка.

Кроме того, гипоксией индуцированный фактор ответственен за формирование долговременной адаптации к гипоксии, в связи с чем является подходящей мишенью для фармакологического воздействия [9; 10]. Поиск лекарственных веществ, выступающих в роли индукторов или ингибиторов его синтеза является актуальным направлением в экспериментальной фармакологии, поскольку позволяет не только регулировать процессы адаптации к гипоксии, но и более эффективно лечить цереброваскулярные, сердечно-сосудистые, онкологические и другие заболевания, в генезе которых ведущую роль играет кислородная недостаточность.

Заключение

Таким образом, наиболее значительные изменения произошли при тотальной ишемии (ТИГМ), при частичной (ЧИГМ) не изменялись, а при субтотальной ступенчатой ишемии (ССИГМ) 7 суток даже превысил контрольный уровень.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беленичев, И. Ф. Нейропротекция и нейропластичность: монография. / И. Ф. Беленичев // «Полиграф плюс». – 2014. – 512 с.
2. Бонь, Е. И. Способы моделирования и морфофункциональные маркеры ишемии головного мозга / Е. И. Бонь, Н. Е. Максимович // Биомедицина. – 2018. – № 2. – 59–71 с.
3. Бонь, Е. И. Сравнительный анализ морфологических нарушений нейронов теменной коры и гиппокампа крыс при различных видах экспериментальной ишемии головного мозга / Е. И. Бонь, Н. Е. Максимович // Оренбургский медицинский вестник. – 2021. – № 2. – 29–36 с.
4. Коржевский, Д. Э. Иммуногистохимическое исследование головного мозга / Д.Э. Коржевский, Е.Г. Гилерович, О.В. Кирик // Санкт-Петербург: СпецЛит. – 2016. – 143 с.
5. Максимович, Н. Е. Головной мозг крысы и его реакция на ишемию: монография. / Н. Е. Максимович, Е. И. Бонь, С. М. Зиматкин // Гродно: ГрГМУ. – 2020. – 240 с.
6. Clemens, J. A. Cerebral ischemia: gene activation, neuronal injury, and the protective role of antioxidants / J.A. Clemens // Free Radic. Biol. Med. – 2000. – V. 28. – 1526–1531 p.
7. Maksimovich, N. Ye. The role of hypoxia-induced factor in cell metabolism / N. Ye. Maksimovich, E.I. Bon, I. K. Dremza // Clinical Reviews and Case Reports. – Vol. 2, № 1. – P. 1–5.
8. Hypoxia of the brain and mechanisms of its development / E.I. Bon [et al.] // J. Clinical Research and Reports. – Vol. 13, № 14. – 1–5 p.
9. Aquaporin 4 in Traumatic Brain Injury: From Molecular Pathways to Therapeutic Target / E. Dadgostar [et al.] // Neurochem Res. – 2022. – 860–871 c.
10. Vatte, S HIF-1, an important regulator in potential new therapeutic approaches to ischemic stroke / S. Vatte, R. Ugale // Neurochem Int. – 2023. – 5605 c.
11. Dexmedetomidine ameliorates acute brain injury induced by myocardial ischemia-reperfusion via upregulating the HIF-1 pathway / X. Yang [et al.] // Shock. – 2023. – 83 c.
12. HIF-1: structure, biology and natural modulators / C. Yang [et al.] // Chin J Nat Med. – 2021. – 521–527 c.
13. Cardamonin attenuates cerebral ischemia/reperfusion injury by activating the HIF-1 α /VEGFA pathway / H. Ni [et al.] // Phytother Res. – 2022. – 404 c.
14. Li, G Effects of Hypoxia-Inducible Factor 1 (HIF-1) Signaling Pathway on Acute Ischemic Stroke / G. Li, L. Tao, H. Wu // Comput Math Methods Med. – 2022. – 6786 c.
15. Pericyte, but not astrocyte, hypoxia inducible factor-1 (HIF-1) drives hypoxia-induced vascular permeability in vivo / J. Baumann [et al.] // Fluids Barriers CNS. – 2022. – 6 c.

REFERENCES

1. Belenichev, I. F. Neuroprotection and neuroplasticity: monograph. / I. F. Belenichev // «Polygraph plus». – 2014. – 512 p.
2. Bon, E. I. Modeling methods and morphofunctional markers of cerebral ischemia / E. I. Bon, N. E. Maksimovich // Biomedicine. – 2018. – No. 2. – 59–71 p.
3. Bon, E. I. Comparative analysis of morphological disorders of neurons in the parietal cortex and hippocampus of rats with various types of experimental cerebral ischemia / E. I. Bon, N. E. Maksimovich // Orenburg Medical Bulletin. – 2021. – No. 2. – 29–36 p.
4. Korzhevsky, D. E. Immunohistochemical study of the brain / D. E. Korzhevsky, E. G. Gilerovich, O. V. Kirik // St. Petersburg: SpetsLit. – 2016. – 143 p.

5. Maksimovich, N. E. The rat brain and its response to ischemia: monograph. / N. E. Maksimovich, E. I. Bon, S. M. Zimatkin // Grodno: Grodno State Medical University. – 2020. – 240 p.
6. Clemens, J.A. Cerebral ischemia: gene activation, neuronal injury, and the protective role of antioxidants / J.A. Clemens // Free Radic. Biol. Med. – 2000. – V. 28. – 1526–1531 p.
7. Maksimovich, N.Ye. The role of hypoxia-induced factor in cell metabolism / N. Ye. Maksimovich, E.I. Bon, I. K. Dremza // Clinical Reviews and Case Reports. – Vol. 2, No. 1. – R. 1-5.
8. Hypoxia of the brain and mechanisms of its development / E. I. Bon [et al.] // J. Clinical Research and Reports. – Vol. 13, No. 14. – 1–5 p.m.
9. Aquaporin 4 in Traumatic Brain Injury: From Molecular Pathways to Therapeutic Target / E. Dadgostar [et al.] // Neurochem Res. – 2022. – 860–871 p.
10. Vatte, S HIF-1, an important regulator in potential new therapeutic approaches to ischemic stroke / S. Vatte, R. Ugale // Neurochem Int. – 2023. – 5605 p.
11. Dexmedetomidine ameliorates acute brain injury induced by myocardial ischemia-reperfusion via upregulating the HIF-1 pathway / X. Yang [et al.] // Shock. – 2023. – 83 p.
12. HIF-1: structure, biology and natural modulators / C. Yang [et al.] // Chin J Nat Med. – 2021. – 521–527 p.
13. Cardamonin attenuates cerebral ischemia/reperfusion injury by activating the HIF-1 α /VEGFA pathway / H. Ni [et al.] // Phytother Res. – 2022. – 404c.
14. Li, G Effects of Hypoxia-Inducible Factor 1 (HIF-1) Signaling Pathway on Acute Ischemic Stroke / G. Li, L. Tao, H. Wu // Comput Math Methods Med. – 2022. – 6786 c.
15. Pericyte, but not astrocyte, hypoxia inducible factor-1 (HIF-1) drives hypoxia-induced vascular permeability in vivo / J. Baumann [et al.] // Fluids Barriers CNS. – 2022. – 6 c.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 08.04.2025

**Андрей Степанович Домас¹, Наталья Валерьевна Шкуратова²
Егор Викторович Чипурных³**

¹канд. с.-х. наук, доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³студент 3-го курса факультета естествознания
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Andrei Domas¹, Natalia Shkuratova², Egor Chipurnykh³

¹Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

²Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

³3-th Year Student of the Faculty of Natural Sciences of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: ¹domasandrei@gmail.com; ²shkuratova_n@tut.by, ³chi-riki@yandex.by

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗАСОЛЕННОЙ ПОЧВЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЧВЕННЫХ ДОБАВОК В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ*

Представлены результаты лабораторных исследований возможности применения препаратов биологически активных веществ в качестве почвенных добавок для регулирования биологической активности почв в условиях засоления NaCl. Показано положительное влияние гуминового препарата «Оксидат торфа» и нецелесообразность использования биопрепарата на основе цеолита, обогащенного комплексом штаммов бактерий-почвоулучшителей «Profit».

Ключевые слова: почва, биологическая активность, почвенное дыхание, целлюлозолитическая способность, засоление, 24-эпибрасинолид, гуминовый препарат.

Biological Activity of Saline Soil when Using Soil Additives in Laboratory Conditions

The results of laboratory studies of the possibility of using biologically active substances as soil additives to regulate the biological activity of soils under conditions of NaCl salinity are presented. The positive effect of the humic preparation «Peat oxidate» and the inexpediency of using a biological product based on zeolite enriched with a complex of strains of soil-improving bacteria «Profit» are shown.

Key words: soil, biological activity, soil respiration, cellulolytic ability, salinization, 24-epibrassinolide, humic preparation.

Введение

Использование противогололедных смесей в умеренных широтах является обязательным компонентом обеспечения безопасности передвижения как автомобильного транспорта, так и пешеходов в зимний период. В связи с этим противогололедные смеси используют очень широко: на автомагистралях, тротуарах в жилых кварталах, в промышленных и даже в рекреационных зонах города. В свою очередь, активное применение противогололедных реагентов, в составе которых преобладают хлориды натрия и кальция, в условиях урбанизированных территорий является одним из факторов деградации городских почв.

Токсическое действие NaCl в почве проявляется в увеличении осмотического дав-

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка гумусового состояния и биологической активности почв урбанизированных территорий с различной техногенной нагрузкой» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (номер государственной регистрации 20211453 от 20.05.2021).

ления почвенной влаги и снижении ее доступности не только растениям [1], но живым организмам, населяющим почву. Внесение в почву высоких доз NaCl также способно резко понижать показатели pH_{KCl} почвенного раствора, поскольку катионы Na^+ вытесняют из почвенного поглощающего комплекса значительное количество H^+ . Вследствие этого, как правило, на засоленных почвах биологические процессы протекают менее интенсивно, чем на незасоленных [2]. При этом микрофлора почв более устойчива к засолению, чем высшие растения [3]. Ввиду чувствительности биологических показателей почвы на внешние воздействия показано их применение для целей диагностики экологического состояния территорий [4–6].

Одним из интегральных показателей биологической активности почв является интенсивность почвенного дыхания, т. е. выделения CO_2 и потребления кислорода почвой. Дыхание почвы можно назвать индикатором экосистемного метаболизма и запасов углерода в экосистеме. По интенсивности выделения CO_2 можно судить о направлении изменения содержания органического вещества в почвах, соотношении процессов минерализации и гумификации органического вещества, функционировании почвенной биоты и как следствие, экологическом состоянии почвенного покрова [7; 8].

Универсальным показателем общей биологической активности почвы также служит численность и интенсивность деятельности целлюлозолитических микроорганизмов, свидетельствующие о темпах превращения растительных остатков в почве, что позволяет судить об уровне ее плодородия и биогенности. В присутствии токсических веществ в почве, как правило, отмечается замедление процесса разрушения целлюлозы [9, 10].

Негативное влияние засоления на население почв и растительный покров, а также длительность и сложность процесса рассоления почв обуславливает актуальность поиска путей мелиорации засоленных территорий.

Материалы и методы

Для проведения опыта была использована дерновая заболоченная почва связнопесчаного гранулометрического состава. Для выявления эффективности применения почвенных добавок были использованы два варианта засоления почвы: с дозой NaCl 170 г/м² и 240 г/м², что соответствует условиям борьбы с образованием гололеда толщиной 1 мм при диапазонах температур от 0 до –5 °С и от 6 до –10 °С согласно рекомендации, указанной в Приказе Комитета по автомобильным дорогам при Министерстве транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 20.11.2000 № 216 «Об утверждении руководящего документа».

В качестве почвенных добавок использовали гуминовый препарата «Оксидат торфа» (ОТ), стероидный препарата «Эпин-экстра» (ЭБ) и биопрепарат на основе цеолита, обогащенного комплексом микроорганизмов (*B. amyloliquefaciens*, *B. mojavensis*, *B. megaterium*, *P. brassicacearum*), «Profit мультибактериальный комплекс» (Pr). В опыте применяли растворы с различной дозировкой препарата: исходная, согласно инструкции производителя (1,0), более высокая (1,5) и более низкая (0,5). Подготовленные растворы приливали к почвенным навескам однократно в объеме 50 мл. В дальнейшем по мере необходимости почвенные образцы увлажнялись водопроводной отстоявшейся водой. В качестве контроля были использованы загрязненные NaCl почвы без применения мелиорантов (K_{170} и K_{240} соответственно), а также исходная почва без использования и загрязнения и мелиорантов (К).

Метод определения целлюлозолитической активности почв – аппликационный. Для выявления интенсивности минерализации органических веществ неотбеленную льняную ткань пришивали к полимерной пленке (10 × 5 см). Пленку стерилизовали спиртом, а ткань проглаживали утюгом. Ткань предварительно взвешивали. Подготов-

ленную льняную пластинку помещали в почвенный образец так, чтобы льняная пластинка была полностью покрыта почвой. Время экспозиции составило 30 дней. Интенсивности процесса разрушения целлюлозы оценивали по убыли в весе (%).

Для оценки биологической активности почв по интенсивности разрушения клетчатки использовали шкалу, предложенную Д. Г. Звягинцевым (процент разложившегося полотна за вегетационный сезон): очень слабая (< 10), слабая (10–30), средняя (30–50), сильная (50–80), очень сильная (> 80) [11].

В этих же образцах почвы, по окончании экспозиции, определялся показатель дыхания почвы. Интенсивность эмиссии углекислого газа из почвы устанавливали методом оценки поглощения CO_2 раствором 0,1 н. КОН из герметично закрытой камеры, в которой находилась почвенная навеска. Остаток непрореагировавшей с CO_2 щелочи оттитровывали 0,01 н. НСІ. Параллельно закладывали холостой опыт без почвенной навески, для выяснения количества поглощенного CO_2 из воздуха камеры. Количество поглощенного углекислого газа находили по формуле:

$$B = \frac{(A-B) \cdot 2,2}{m \cdot t \cdot 10},$$

где D – интенсивность дыхания, $\text{мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$; A – объем НСІ, затраченный на титрование холостой пробы, мл; B – объем НСІ, затраченный на титрование щелочи в опыте, мл; m – масса навески, кг; t – время экспозиции, ч; 2,2 – количество CO_2 , поглощаемое 1 мл 0,1 н. раствора щелочи, мг; 10 – коэффициент, учитывающий разность концентраций щелочи и кислоты.

Оценку биологической активности почв производили согласно шкале, разработанной А. В. Смагиным [12].

Повторность опытов – трехкратная. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием MS Excel.

Результаты и их обсуждение

Целлюлозолитическая способность почвы в опыте в целом была невысокой, что возможно объяснить малой почвенной навеской. Так, даже в варианте без засоления (К) убыль массы льняной пластинки составила всего $56,2 \pm 1,23$ %, что согласно шкале Д. Г. Звягинцева. При этом внесение в почву соли приводило лишь к незначительному ингибированию работы целлюлозолитического пула почвенных микроорганизмов, что в целом согласуется с выводами М. А. Ибраевой [3]. Увеличение дозы соли сопровождалось усилением ингибирующего эффекта. Так, если в варианте с дозой NaCl из расчета 170 г/м^2 интенсивность разрушения целлюлозы была сопоставима со значениями в контроле, то при увеличении дозы NaCl до 240 г/м^2 показатель убыли целлюлозы снижался на 8,6 % относительно варианта К (таблица).

Интенсивность дыхания контрольной почвы составила $4,44 \text{ мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$, что позволяет охарактеризовать ее как почву с нормальной биологической активностью, согласно шкале биологической активности, разработанной А. В. Смагиным. В результате засоления интенсивность дыхания существенно снижалась до очень низкой. Снижение составило 73,0 % и 69,5 % относительно контроля для вариантов K_{170} и K_{240} соответственно (таблица).

Таблица – Изменение биологической активности почвы в результате засоления

Вариант опыта	ЦЛС убыль массы, %	Дыхание почвы $\text{мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$
Контроль	$56,23 \pm 1,23$	$4,44 \pm 0,52$
K_{170}	$56,07 \pm 0,83$	$1,20 \pm 0,19^*$
K_{240}	$51,38 \pm 2,64$	$1,35 \pm 0,28^*$

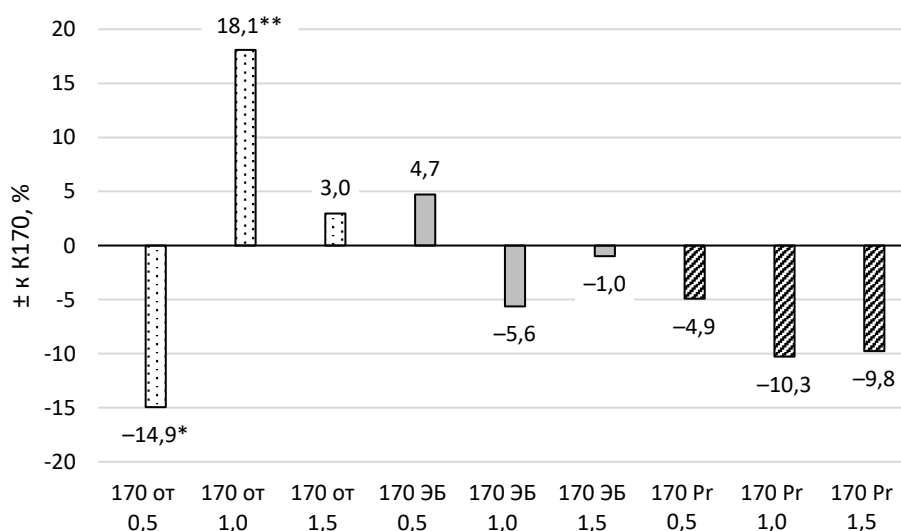
* – достоверно при $P \leq 0,05$.

Биологическая активность почв в результате применения биологически активных веществ в качестве почвенных добавок в условиях загрязнения почвы солью зависела от конкретного почвенного мелиоранта и применяемой дозы.

Использование мультибактериального препарата оказало ингибирующее влияние на показатель разложения целлюлозы вне зависимости от дозы применяемого препарата и степени засоления почвенного образца (рисунок 1, 2). Наиболее положительный результат выявлен при внесении в засоленную почву самой низкой дозы биопрепарата ($-4,91\%$ относительно K_{170}). Более высокие дозы мультибактериального препарата оказывали и более выраженный ингибирующий эффект на деятельность целлюлозоразрушающих бактерий ($-10,27\%$ и $-9,76\%$ относительно K_{170} в вариантах $170\text{ Pr}_{1,0}$ и $170\text{ Pr}_{1,5}$ соответственно). При этом одним из заявляемых назначений данного препарата является ускорение разложения растительных остатков в почве.

Использование стероидного препарата сопровождалось неоднозначными результатами. В случае применения препарата «Эпин-экстра» в минимальной дозе отмечается стимулирование разложения целлюлозы в загрязненной почве ($+4,72\%$ к K_{170}), тогда как результат применения брассиностероида в варианте $170\text{ ЭБ}_{1,0}$ уже был отрицательным ($-5,63\%$). Более высокая доза стероидного препарата ($\text{ЭБ}_{1,5}$) практически не оказывала влияния на интенсивность разложения органического вещества, а полученные значения были сопоставимы со значениями, достигнутыми в загрязненном контроле (K_{170}).

Более выраженное, но тем не менее неоднозначное влияние выявлено и в результате применения гуминового препарата. Введение в почву гуминовых веществ в минимальной применяемой в опыте дозе ($0,5$) оказало достоверный ($P_{0,05}$) ингибирующий эффект на разложение целлюлозы ($-17,94\%$). При этом увеличение дозы гуминового препарата в варианте $170\text{ ОТ}_{1,0}$ уже сопровождалось достоверным стимулированием биологической активности $+18,09\%$ ($P_{0,01}$). Использование наиболее высокой дозы гуминового препарата также сопровождалось стимулированием процесса разложения целлюлозы в засоленной почве ($+2,96\%$), однако достигнутое усиление активности почвы носило недостоверный характер.



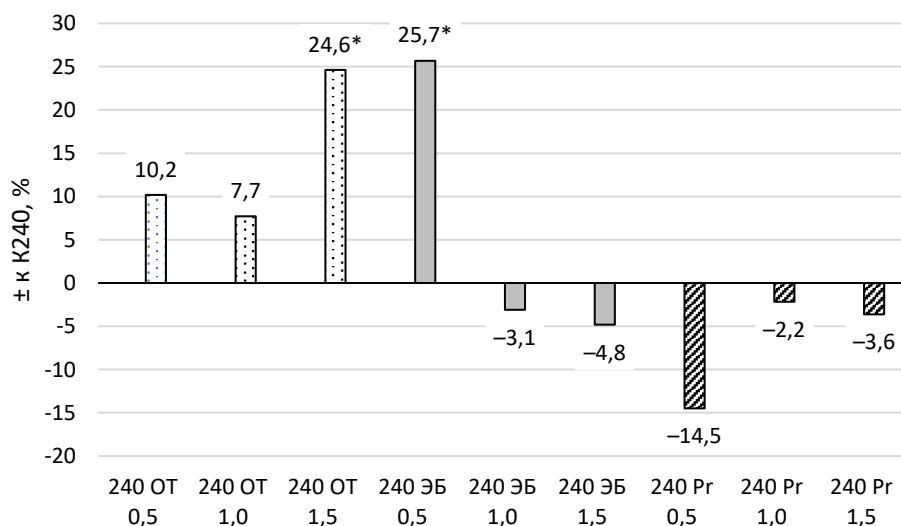
* – достоверно при $P \leq 0,05$, ** – достоверно при $P \leq 0,01$.

Рисунок 1 – Влияние почвенных добавок на целлюлозолитическую способность почв в условиях засоления (170 г/м^2)

При усилении солевого стресса эффективность применения гуминовых веществ для стимулирования разложения целлюлозы в почве в целом возрастает. Положительный эффект отмечается уже с применения минимальной дозы препарата, где интенсивность разложения целлюлозы превышает таковую в варианте K_{240} более, чем на 10 % (рисунок 2). Тем не менее, выявленное различие со значениями контроля было не достоверным, как и в варианте 240 ОТ_{1,0}. Достоверный результат получен лишь при использовании наиболее высокой дозы гуминового препарата, что сопровождалось самой высокой интенсивностью разложения льняной пластинки – +24,63 % ($P_{0,05}$) к K_{240} . При этом полученный результат был на 13,87 % выше, даже чем в варианте без загрязнения.

Применение стероидного препарата также зависело от дозы биологически активного вещества в почве. Так, выраженный достоверный ($P_{0,01}$) положительный эффект был достигнут при применении наименьшей дозы 24-эпибрассинолида (240 ЭБ_{0,5}) – +25,68 % и был самым высоким среди всех вариантов опыта с засолением. Повышение дозы эпибрассинолида в почве сопровождалось снижением ее биологической активности до значений ниже уровня засоленного контроля. Таким образом, применение стероидного препарата в более высоких концентрациях является нецелесообразным при засолении почв.

Ввиду формирования ингибирующего эффекта на процесс разрушения целлюлозы в почве также нецелесообразным является и использование почвоулучшителя на основе комплекса микроорганизмов от компании «Profit». При этом наиболее сильное угнетение биологической активности отмечается при внесении минимальной используемой дозы биопрепарата – –14,49 % к K_{240} . Тем не менее указанное различие носило недостоверный характер. Повышение дозы препарата «Profit мультибактериальный комплекс» сопровождалось лишь незначительным снижением биологической активности почвы при ее засолении дозой NaCl 240 г/м².



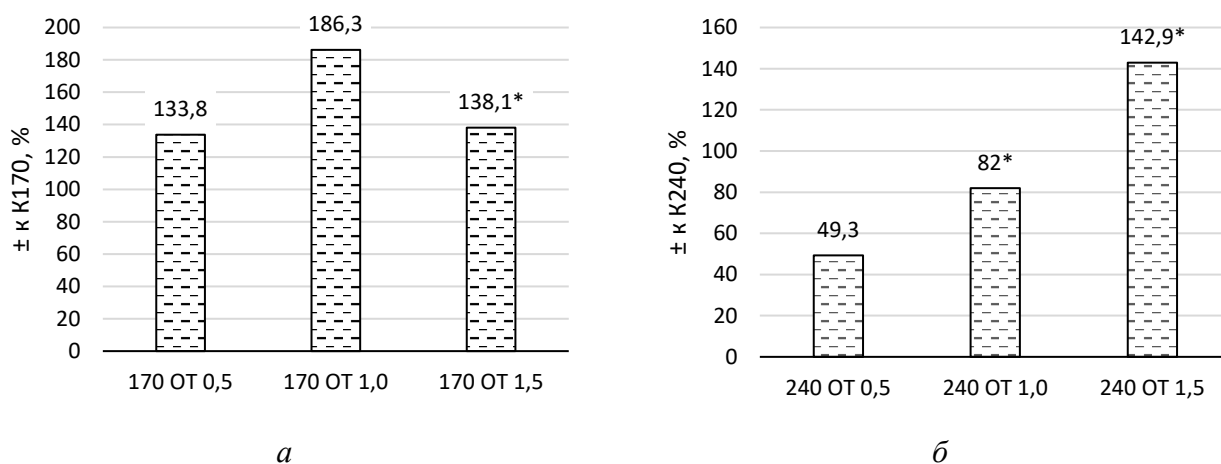
* – достоверно при $P \leq 0,05$.

Рисунок 2 – Влияние почвенных добавок на целлюлозолитическую способность почв в условиях засоления (240 г/м²)

Применение исследуемых почвенных добавок в условиях засоления преимущественно сопровождалось положительным эффектом в отношении показателя интенсивности эмиссии CO₂ из почвы. Так, гуминовый препарат в условиях засоления почвы из расчета 170 г NaCl на 1 м² повышал регистрируемый показатель с категории очень низкой до низкой биологической активности согласно шкале А. В. Смагина. При

этом в присутствии гуминовых веществ в почве в дозе $OT_{0,5}$ показатель дыхания почвы достоверно возрастал на 133,8 % относительно K_{170} (рисунок 3а). Схожее значение было достигнуто и при использовании гуминового препарата в дозе $OT_{1,5}$ – +138,1 %. Эффект от применения оксидата торфа в исходной концентрации приводил к еще более существенному росту интенсивности почвенного дыхания – +186,3 %. Тем не менее, в связи с тем, что засоление почвы в контрольном варианте приводило к ингибированию биологической активности на 73 % относительно чистого контроля, значения, полученные в результате применения гуминового препарата по отношению к варианту К, были по-прежнему очень низкими – -36,8 %, -22,6 %, -35,6 % для вариантов $OT_{0,5}$, $OT_{1,0}$, $OT_{1,5}$ соответственно.

В условиях более интенсивного засоления применение гуминового препарата также было очень эффективно. Минимальный прирост биологической активности здесь отмечается уже в варианте с исходной дозой препарата $OT_{0,5}$ – +49,3 % (рисунок 3б).

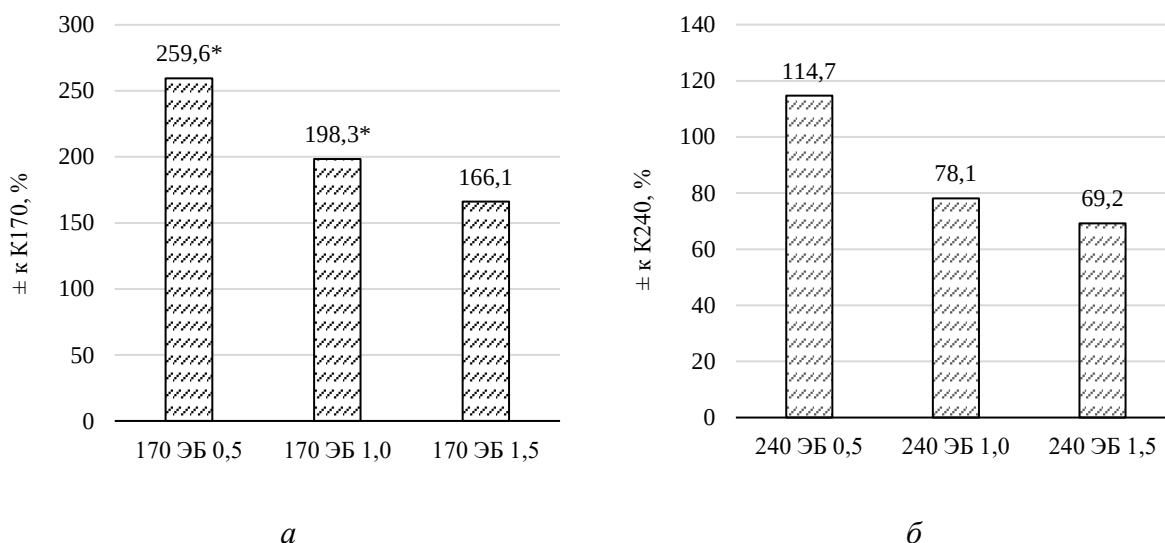


* – достоверно при $P \leq 0,05$.

Рисунок 3 – Изменение интенсивности дыхания почвы в условиях засоления (а – 170 г/м², б – 240 г/м²) при внесении в почву гуминового препарата

Еще более выраженное ремедиационное действие гуминового препарата отмечается при использовании оксидата торфа в дозе $OT_{1,0}$ и $OT_{1,5}$ – +82,0 % и +142,9 % соответственно. Однако, как и в вариантах с более слабым засолением, несмотря на выраженный положительный эффект гуминовых веществ, почва сохраняет значительную токсичность в отношении пула микроорганизмов, продуцирующих CO_2 . Таким образом, биологическая активность относительно чистого контроля в результате применения гуминовых веществ составила – -54,5 %, -44,5 % и -25,9 % для вариантов $OT_{0,5}$, $OT_{1,0}$, $OT_{1,5}$ соответственно.

В результате исследования было выявлено, что токсическое влияние засоления почв на их биологическую активность возможно снизить и использованием в качестве почвенной добавки биологически активного вещества стероидного происхождения – 24-эпибрассинолида (препарат «Эпин-экстра»). При засолении почвы NaCl в дозе 170 г/м² наиболее эффективным было использование стероидного препарата в дозе $ЭБ_{0,5}$. Усиление биологической активности в варианте 170 $ЭБ_{0,5}$ составило +259,6 % относительно K_{170} (рисунок 4а). Таким образом, интенсивность почвенного дыхания в данном варианте достигала 4,32 мг CO_2 / кг·ч, что, согласно шкале А. В. Смагина, относится к градации нормальной биологической активности.



* – достоверно при $P \leq 0,05$.

Рисунок 4 – Изменение интенсивности дыхания почвы в условиях засоления (а – 170 г/м², б – 240 г/м²) при внесении в почву стероидного препарата

Следует отметить, что снижение интенсивности почвенного дыхания относительно чистого без токсикантов контроля составило всего $-2,8\%$. Таким образом, применение эпибрассинолида в дозе ЭБ_{0,5} способствовало практически полному нивелированию негативного эффекта от засоления почвы (170 г/м²).

Увеличение дозы стероидного препарата сопровождалось прямолинейной обратной зависимостью с интенсивностью дыхания почвы, загрязненной NaCl. Так, повышение дозы ЭБ до исходной отзывалось повышением биологической активности с 1,20 до 3,58 мг CO₂ / кг·ч, т. е. на $+198,3\%$, тогда как в варианте 170 ЭБ_{1,5} этот показатель составил уже $+166,1\%$ (рисунок 4а). Биологическая активность указанных почв относилась к градации низкой.

Эффективность стероидного препарата в качестве почвенного мелиоранта в условиях более интенсивного засоления почвы была существенно ниже, чем при уровне засоления 170 г/м², однако характер распределения значений интенсивности почвенного дыхания с ростом дозы препарата «Эпин-экстра» был аналогичен уровню засоления в 170 г/м² (рисунок 4б). Так, наиболее значительный ремедиационный эффект также был достигнут при минимальной дозе эпибрассинолида (ЭБ_{0,5}) и составил $+114,7\%$ относительно варианта K₂₄₀, или 2,91 мг CO₂ / кг·ч, что относилось к градации низкой биологической активности. Относительно же чистой без токсикантов почвы этот показатель был ниже почти на 35% .

Увеличение дозы стероидного препарата оказывало менее выраженный протекторный эффект от засоления на почвенную микрофлору, однако тем не менее усиление интенсивности почвенного дыхания было существенным: $+78,1\%$ и $+69,2\%$ относительно K₂₄₀ соответственно, что в абсолютных значениях составило 2,41 и 2,29 мг CO₂ / кг·ч.

Таким образом, подтверждается снижение положительного эффекта от применения 24-эпибрассинолида в более высоких концентрациях. Следовательно, в условиях засоления целесообразно проводить ремедиацию почв путем внесения стероидного препарата «Эпин-экстра» в дозе 0,5 от исходной, что составляет $0,75 \cdot 10^{-5}$ г 24-эпибрассинолида на 1 кг почвы.

Применение биопрепарата на основе комплекса бактерий отличалось неоднозначными результатами. Так, в условиях засоления почвы дозой соли из расчета 170 г/м^2 выявлено усиление токсического эффекта на 24,6 % (рисунок 5а).

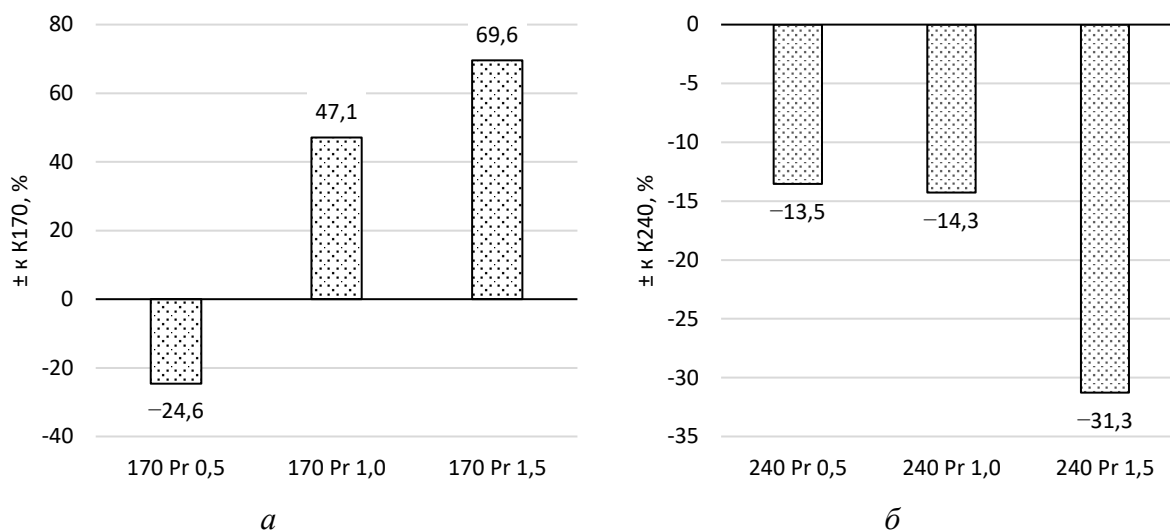


Рисунок 5 – Изменение интенсивности дыхания почвы в условиях засоления (а – 170 г/м^2 , б – 240 г/м^2) при внесении в почву биопрепарата «Profit»

Таким образом, показатель почвенного дыхания снижался до $0,91 \text{ мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$, что относилось к градации «очень низкая», согласно шкале А. В. Смагина, и было самым низким значением среди всех вариантов в ходе опыта. При этом более высокие дозы препарата способствовали усилению интенсивности эмиссии углекислого газа из почвы относительно варианта K_{170} . Так, если в варианте $170 \text{ Pr}_{1,0}$ показатель биологической активности составил $1,77 \text{ мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$, что было выше, чем в загрязненном контроле на 47,1 %, то усиление интенсивности почвенного дыхания в варианте $170 \text{ Pr}_{1,5}$ составило +69,6 %. Однако относительно уровня чистого контроля (К), по прежнему отмечается значительное ингибирование биологической активности загрязненной почвы: -60,2 % и -54,2 % соответственно. В ходе исследования было выявлено, что в условиях более сильного засоления почвы применение биопрепарата является нецелесообразным, поскольку воздействие препарата на почву сопровождалось усилением ингибирующего эффекта. При этом, в отличие от вариантов с загрязнением в 170 г/м^2 , применение более высоких доз биопрепарата отзывалось снижением биологической активности (рисунок 5б). Наиболее же существенное снижение показателя дыхания почвы выявлено нами в варианте $240 \text{ Pr}_{1,5}$: -31,3 % ($0,93 \text{ мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$).

Заключение

В ходе проведенной работы показано, что NaCl оказывает значительное токсическое действие на почвенный микробиом, что выражается в снижении показателя дыхания почвы. При этом выявлено, что пул целлюлозолитических микроорганизмов был устойчив к засолению.

Установлено, что применение гуминового препарата в дозе $\text{OT}_{1,0-1,5}$ преимущественно способствует усилению биологической активности почв с различной степенью засоления.

Использование в качестве почвенной добавки стероидного препарата оказывало положительное влияние на показатель дыхания почвы, тогда как повышение целлюло-

золитической способности почв отмечается лишь в варианте с минимальной в опыте дозой ЭБ.

Применение биопрепарата «Profit» для повышения биологической активности почв в условиях засоления преимущественно нецелесообразно. Положительный эффект отмечается лишь для показателя дыхания почвы при применении наиболее высокой дозы препарата в варианте с минимальным засолением.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еремченко, О. З. Солевой обмен растений в условиях техногенного засоления / О. З. Еремченко, О. А. Лымарь, Н. В. Орлова // Вестник Пермского университета. Серия Биология. – 2005. – Вып. 6. – С.164–167.
2. Экзогенная регуляция минерального питания хвойных и лиственных пород в условиях засоления / Ж. М. Анисова [и др.] // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды : сб. мат. Годич. собр. Общ-ва физиологов раст. России, Всерос. науч. конф. с междунар. уч. и шк. мол. уч. (Иркутск, 10–15 июля 2018 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. – В 2-х частях. Часть II. – С. 1029–1033.
3. Ибраева, М. А. Влияние засоления почв на микробиологическую активность / М. А. Ибраева, Д. Е. Шаухарова, М. Джуманова // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 2. – С. 71–78.
4. Latter, P. M. Cotton strip assay an index of decomposition in soils / P. M. Latter, A. F. Harrison, D. W. H. Walton. – Grange-Over-Sands : Institute of Terrestrial Ecology, 1988. – 170 p.
5. Xu, Y. Microbial functional diversity and carbon use feedback in soils as affected by heavy metals / Y. Xu [et al.] // Environment International. – 2019. – Vol. 125. – P. 478–488.
6. Терехова, В. А. Методология биодиагностики почв и особенности некоторых методов биоиндикации и биотестирования (обзор) / В. А. Терехина [и др.]. // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2023. – Т. 78, № 2. – С. 35–45.
7. Иващенко, К. В. Обилие и дыхательная активность микробного сообщества почвы при антропогенном преобразовании наземных экосистем: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.03 Микробиология / К. В. Иващенко. – Пущино, 2017. – 205 с.
8. Doran, J. W. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality / J. W. Doran, M. R. Zeiss // Applied Soil Ecology. – 2000. – V. 15. – P. 6–17.
9. Фомина, Н. В. Анализ изменения целлюлозоразрушающей способности антропогенно загрязненной почвы / Н. В. Фомина // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 7. – С. 101–107.
10. Семенова, И. Н. Биологическая активность как индикатор техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.13 / И. Н. Семенова. – Уфа, 2013. – 330 с.
11. Звягинцев, Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.
12. Смагин, А. В. Газовая фаза почв / А. В. Смагин. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 301 с.

REFERENCES

1. Eremchenko, O. Z. Solevoj obmen rastenij v usloviyah tekhnogennoho zasoleniya / O. Z. Eremchenko, O. A. Ly-mar', N. V. Orlova // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya. – 2005. – Vyp. 6. – S.164–167.

2. Ekzogennaya regulyaciya mineral'nogo pitaniya hvojnyh i listvennyh porod v usloviyah zasoleniya / Zh. M. Anisova [i dr.] // Mekhanizmy ustojchivosti rastenij i mikroorganizmov k neblagopriyatnym usloviyam sredy : sb. mat. Godich. sobr. Obshch-va fiziologov rast. Rossii, Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uch. i shk. mol. uch. (Irkutsk, 10–15 iyulya 2018 g.). – Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2018. – V 2-h chastyah. Chast' II. – S. 1029–1033.

3. Ibraeva, M. A. Vliyanie zasoleniya pochv na mikrobiologicheskuyu aktivnost' / M. A. Ibraeva, D. E. Shauharova, M. Dzhumanova // Pochvovedenie i agrohimiya. – 2020. – № 2. – S. 71–78.

4. Latter, P. M. Cotton strip assay an index of decomposition in soils / P. M. Latter, A. F. Harrison, D. W. H. Walton. – Grange-Over-Sands : Institute of Terrestrial Ecology, 1988. – 170 p.

5. Xu, Y. Microbial functional diversity and carbon use feedback in soils as affected by heavy metals / Y. Xu [et al.] // Environment International. – 2019. – Vol. 125. – P. 478–488.

6. Terekhova, V. A. Metodologiya biodiagnostiki pochv i osobennosti nekotoryh metodov bioindikacii i biotestirovaniya (obzor) / V. A. Terekhina [i dr.]. // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie. – 2023. – T. 78, № 2. – S. 35–45.

7. Ivashchenko, K. V. Obilie i dyhatel'naya aktivnost' mikrobnogo soobshchestva pochvy pri antropogennom preobrazovanii nazemnyh ekosistem: dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.03 Mikrobiologiya / K. V. Ivashchenko. – Pushchino, 2017. – 205 s.

8. Doran, J. W. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality / J. W. Doran, M. R. Zeiss // Applied Soil Ecology. – 2000. – V. 15. – P. 6–17.

9. Fomina, N. V. Analiz izmeneniya cellyulozorazrushayushchej sposobnosti antropogennno zagryaznennoj pochvy / N. V. Fomina // Vestnik KrasGAU. – 2014. – № 7. – S. 101–107.

10. Semenova, I. N. Biologicheskaya aktivnost' kak indikator tekhnogennogo zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami: dis. ... d-ra. biol. nauk: 03.02.13 / I. N. Semenova. – Ufa, 2013. – 330 s.

11. Zvyaginцев, D. G. Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya ocenki nekotoryh ee pokazatelej / D. G. Zvyaginцев // Pochvovedenie. – 1978. – № 6. – S. 48–54.

12. Smagin, A. V. Gazovaya faza pochv / A. V. Smagin. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 301 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 11.03.2025

Виктор Викторович Коваленко

ст. преподаватель каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Viktar Kavalenka

Senior lecturer of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: kvv0407@rambler.ru

ВЛИЯНИЕ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТИМОФЕЕВКИ ЛУГОВОЙ СОРТА БЕЛОРУССКАЯ МЕСТНАЯ*

Изучено влияние 24-эпикастасстерона, тетраиндолилacetата 24-эпикастасстерона и тетрасуццината 24-эпикастасстерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимофеевки луговой сорта Белорусская местная в лабораторных условиях. Исследовано действие различных концентраций 24-эпикастасстерона и его конъюгатов с кислотами на показатели энергии прорастания, всхожести, длины корня и длины побега проростков тимофеевки луговой. В условиях вегетационного лабораторного эксперимента изучено влияние 24-эпикастасстерона и его конъюгатов с кислотами на длину корня, длину побега, сырую и сухую массу побегов, содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилла а, хлорофилла b, каротиноидов), активность каталазы. Установлено, что сорт тимофеевки луговой Белорусская местная по сравнению с ранее изученным сортом Воля характеризуется большей отзывчивостью на действие 24-эпикастасстерона и его конъюгатов с кислотами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сортовые особенности растений являются одним из факторов, определяющих биологические эффекты стероидных соединений.

Ключевые слова: тимофеевка луговая, энергия прорастания, всхожесть, брассиностероиды, 24-эпикастасстерон, конъюгаты 24-эпикастасстерона, хлорофилл, каротиноиды, каталаза.

The Effect of 24-epicastasterone and its Conjugates with Acids on Morphometric and Physiological-Biochemical Parameters of the Belarusian Local Variety of Timothy

The effect of 24-epicastasterone, tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone and tetrasuccinate of 24-epicastasterone on morphometric and physiological-biochemical parameters of the Belarusian local variety of Timothy was studied in laboratory conditions. The effect of various concentrations of 24-epicasterone and its conjugates with acids on germination energy, germination, root length and shoot length of Timothy seedlings was revealed. The effect of 24-epicasterone and its conjugates with acids on root length, shoot length, raw and dry mass of shoots, the content of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids), and catalase activity was studied in a vegetative laboratory experiment. It was found that the Belarusian local variety of Timothy is characterized by greater responsiveness to the action of 24-epicasterone and its conjugates with acids compared to the previously studied variety Volia. The results obtained indicate that the varietal characteristics of plants are one of the factors determining the biological effects of steroid compounds.

Key words: Timothy, germination energy, germination, brassinosteroids, 24-epicastasterone, conjugates of 24-epicastasterone, chlorophyll, carotenoids, catalase.

Введение

В настоящее время брассиностероиды позиционируются как универсальные стимуляторы роста и адаптогены растений [1]. Отмечается, что их действие основано на стимулировании естественных защитных сил растительного организма, повышении

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных брассиностероидов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» подпрограммы 2.3 «Химические основы процессов жизнедеятельности (Биоорганическая химия)» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганическая химия» на 2021–2025 гг.

фотосинтетической и анаболической активности, улучшении приспособительных реакций и иммунного статуса [2].

В лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси получены конъюгаты brassinosterоидов с кислотами, которые проявляют стимулирующую рост растений активность. Действие 24-эпикастерона и его конъюгатов с кислотами исследовано, например, на культуре клевера лугового [3;4], амаранта трехцветного [5], колеуса Блюме [6], гречихи посевной [7]. Так, на растениях клевера лугового показано, что 24-эпикастерон в концентрациях 10^{-10} М и 10^{-8} М, тетраиндолилацетат 24-эпикастерона 10^{-8} М оказывают стимулирующее действие на морфометрические параметры, в особенности на увеличение длины корней [3]. Тетрасукцинат 24-эпикастерона оказывает наибольший эффект на рост корней клевера лугового в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-8} М [4]. На растениях амаранта трехцветного тетраиндолилацетат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-8} М характеризуется наибольшим действием в отношении содержания фотосинтетических пигментов [5].

Нами было проведено изучение 24-эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на культуре тимopheевки луговой сорта Воля [8–10].

Целью данного этапа исследования является изучение рострегулирующего действия 24-эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические показатели тимopheевки луговой сорта Белорусская местная, поскольку биологические эффекты brassinosterоидов могут быть обусловлены не только видовыми, но и сортовыми особенностями растений.

Материал и методы исследования

24-эпикастерон (ЭК) и его конъюгаты – тетраиндолилацетат 24-эпикастерона (S31) и тетрасукцинат 24-эпикастерона (S439) синтезированы в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси.

Исследование рострегулирующей активности 24-эпикастерона и его конъюгатов с кислотами проводилось на культуре тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) сорта Белорусская местная.

В первой серии эксперимента исследовано влияние различных концентраций стероидных соединений на показатели энергии прорастания, всхожести, длины корня и длины побега проростков тимopheевки луговой в лабораторных условиях. С целью предпосевной обработки семена замачивали в растворах данного соединения с концентрациями 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} , 10^{-10} , 10^{-11} М либо в воде (контроль) в течение 5 ч. Проращивание семян проводилось в соответствии с ГОСТ 12038–84 [11]. Повторность опыта четырехкратная. Энергия прорастания определялась на 4-е сутки, всхожесть – на 8-е сутки. На 8-е сутки также определялись длина корня и длина побега проростков.

Во второй серии эксперимента исследовано влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на длину корня, длину побега, сырую и сухую массу побегов, содержание основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов) и активность каталазы в вегетационном лабораторном эксперименте. Исследовано действие 24-ЭК в концентрациях 10^{-11} М и 10^{-7} М, S31 в концентрации 10^{-8} М, S439 в концентрациях 10^{-11} М и 10^{-7} М. Данные концентрации стероидных соединений показали наибольшую активность в лабораторном эксперименте.

Предпосевная обработка семян осуществлялась замачиванием семян в растворах стероидных соединений указанных выше концентраций либо в воде (контроль) в течение 5 ч, после чего семена высевали в почвогрунт в пластиковые контейнеры и выращивали в лабораторных условиях вегетационного эксперимента. Повторность опыта четырехкратная. На 8-е сутки эксперимента определяли длину корня, длину

побега проростков тимOFFеевки, сырую массу побегов. Сухую массу побегов определяли после их высушивания при комнатной температуре в течение 2 недель.

Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом [12; 13], активность каталазы – методом М. А. Королук [14].

Статистическую обработку результатов проводили в соответствии с общепринятыми методиками биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [15] с использованием программы Microsoft Excel. Установление достоверности различий от контроля проводили нахождением t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

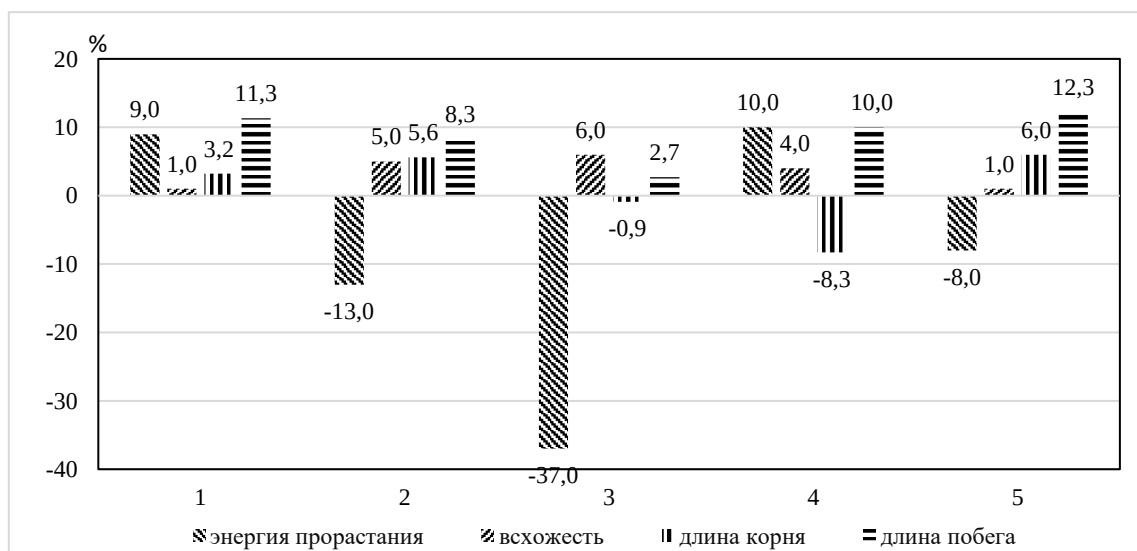
Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические показатели тимOFFеевки луговой в лабораторном эксперименте

Данные о влиянии 24-эпикастастерина, полученные в лабораторном эксперименте, приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Влияние 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимOFFеевки луговой в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, см	Длина побега, см
Контроль	$78,0 \pm 2,34$	$90,0 \pm 1,73$	$2,16 \pm 0,07$	$3,00 \pm 0,08$
ЭК, 10^{-11} М	$87,0 \pm 1,94^{**}$	$91,0 \pm 1,65$	$2,23 \pm 0,06$	$3,34 \pm 0,07^{**}$
ЭК, 10^{-10} М	$65,0 \pm 2,75^{***}$	$95,0 \pm 1,26^{*}$	$2,28 \pm 0,06$	$3,25 \pm 0,06^{*}$
ЭК, 10^{-9} М	$41,0 \pm 2,84^{***}$	$96,0 \pm 1,13^{**}$	$2,14 \pm 0,06$	$3,08 \pm 0,07$
ЭК, 10^{-8} М	$88,0 \pm 1,88^{**}$	$94,0 \pm 1,37$	$1,98 \pm 0,07$	$3,30 \pm 0,07^{**}$
ЭК, 10^{-7} М	$70,0 \pm 2,65^{*}$	$91,0 \pm 1,65$	$2,29 \pm 0,07$	$3,37 \pm 0,06^{***}$

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.



1 – ЭК 10^{-11} М; 2 – ЭК 10^{-10} М; 3 – ЭК 10^{-9} М; 4 – ЭК 10^{-8} М; 5 – ЭК 10^{-7} М.

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимOFFеевки луговой, % относительно контроля

Статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении показателя энергии прорастания ЭК демонстрирует в концентрациях 10^{-8} и 10^{-11} М. Увеличение данного показателя по сравнению с контролем составляет 10 % и 9 % соответственно.

В остальных вариантах опыта наблюдается уменьшение энергии прорастания по сравнению с контролем (рисунок 1).

Статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении показателя всхожести семян зафиксирован в варианте опыта с концентрацией ЭК 10^{-9} М. Отличия показателей опыта и контроля составляют 6 %.

Отличия значений длины корня проростков тимopheевки луговой в опыте и контроле статистически недостоверны (таблица 1). В вариантах опыта 10^{-7} , 10^{-10} , 10^{-11} М отмечается незначительное увеличение длины корня. При этом наибольший прирост длины корня отмечен в варианте опыта с концентрацией ЭК 10^{-7} М и составляет 6,0 % по сравнению с контролем.

Увеличение длины побега проростков тимopheевки отмечается во всех вариантах опыта. Статистически достоверный стимулирующий эффект зафиксирован в четырех вариантах опыта. Наибольший прирост длины побега наблюдается в варианте опыта с концентрацией ЭК 10^{-7} М. Увеличение длины побега составляет 12,3 % по сравнению с контролем.

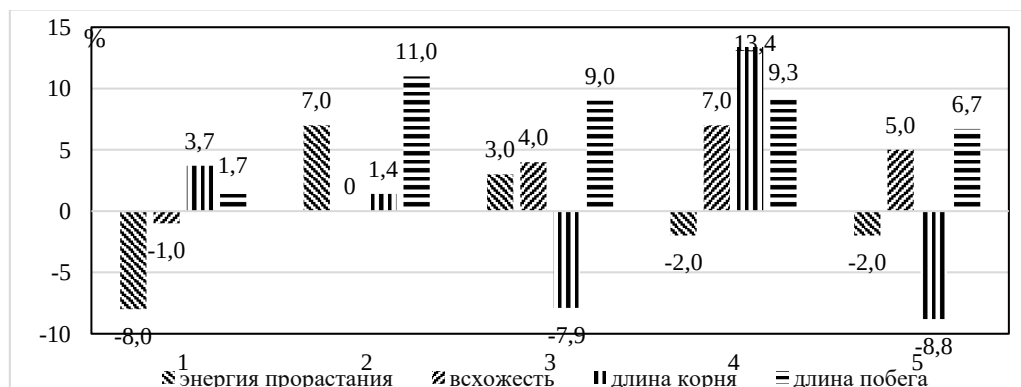
Таким образом, действие ЭК на разные морфометрические показатели тимopheевки луговой сорта Белорусская местная отличается. В отношении показателя энергии прорастания наибольший стимулирующий эффект зафиксирован в варианте опыта с ЭК 10^{-8} М, в отношении показателя всхожести – в варианте опыта с ЭК 10^{-9} М, в отношении показателей длины корня и длины побега – в варианте опыта с ЭК 10^{-7} М. Ранее проведенные исследования показали, что в отношении морфометрических показателей тимopheевки луговой сорта Воля наибольшей активностью характеризуется 10^{-8} М ЭК.

Данные о влиянии тетраиндолилацетата 24-эпикастастерина, полученные в лабораторном эксперименте, приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2 – Влияние тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимopheевки луговой в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, см	Длина побега, см
Контроль	$78,0 \pm 2,34$	$90,0 \pm 1,73$	$2,16 \pm 0,07$	$3,00 \pm 0,08$
S31, 10^{-11} М	$70,0 \pm 2,65^*$	$89,0 \pm 1,81$	$2,24 \pm 0,06$	$3,05 \pm 0,08$
S31, 10^{-10} М	$85,0 \pm 2,06$	$90,0 \pm 1,73$	$2,19 \pm 0,12$	$3,33 \pm 0,06^{***}$
S31, 10^{-9} М	$81,0 \pm 2,26$	$94,0 \pm 0,98$	$1,99 \pm 0,07$	$3,27 \pm 0,07^*$
S31, 10^{-8} М	$76,0 \pm 2,47$	$97,0 \pm 1,37^{***}$	$2,45 \pm 0,05^{***}$	$3,28 \pm 0,07^{**}$
S31, 10^{-7} М	$76,0 \pm 2,47$	$95,0 \pm 1,26^*$	$1,97 \pm 0,07$	$3,20 \pm 0,08$

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.



1 – S31 10^{-11} М; 2 – S31 10^{-10} М; 3 – S31 10^{-9} М; 4 – S31 10^{-8} М; 5 – S31 10^{-7} М.

Рисунок 2 – Влияние S31 на морфометрические показатели тимopheевки луговой, % относительно контроля

Статистически достоверный стимулирующий эффект S31 в отношении энергии прорастания не зафиксирован. Наибольшее увеличение энергии прорастания отмечается в варианте опыта с концентрацией 10^{-10} М. Увеличение показателя энергии прорастания в данном варианте опыта составляет 7 % по сравнению с контролем (рисунок 2).

Статистически достоверный стимулирующий эффект S31 в отношении всхожести наблюдается в двух вариантах опыта (10^{-8} и 10^{-7} М). Наибольший стимулирующий эффект отмечается в варианте опыта с концентрацией S31 10^{-8} М. Отличия показателей опыта и контроля составляют 7 %.

Увеличение длины корня проростков тимфеески отмечается в вариантах опыта 10^{-8} , 10^{-10} , 10^{-11} М. Статистически достоверны различия показателей контроля и опыта с концентрацией S31 10^{-8} М. Увеличение длины корня составляет 13,4 % по сравнению с контролем.

Статистически достоверное увеличение длины побега проростков тимфеески зафиксировано в трех вариантах опыта (таблица 2). Наибольший прирост длины побега наблюдается в варианте опыта с концентрацией S31 10^{-10} М. Увеличение длины побега составляет 11,0 % по сравнению с контролем.

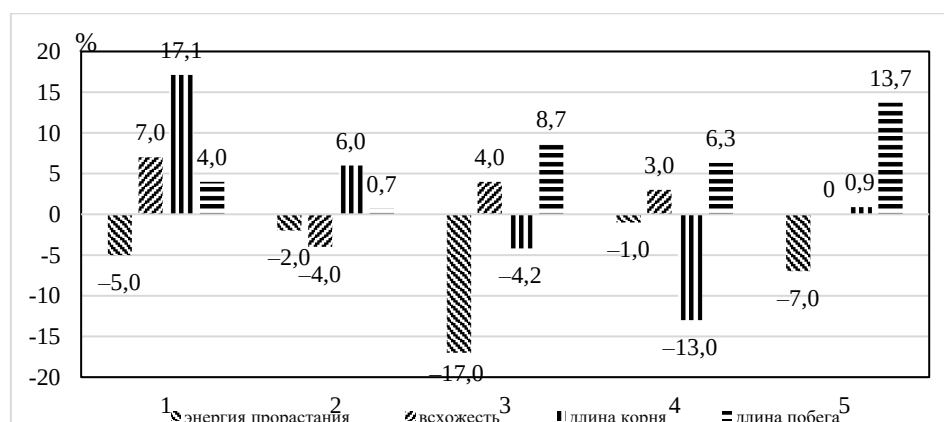
Таким образом, соединение S31 демонстрирует наибольший стимулирующий эффект в концентрации 10^{-8} М. Ранее проведенные исследования показали, что в отношении морфометрических показателей тимфеески луговой сорта Воля наибольшей активностью характеризуется S31 в концентрации 10^{-9} М.

Данные о влиянии тетрасукцината 24-эпикастестерина, полученные в лабораторном эксперименте, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастестерона на морфометрические показатели тимфеески луговой в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, см	Длина побега, см
Контроль	$78,0 \pm 2,34$	$90,0 \pm 1,73$	$2,16 \pm 0,07$	$3,00 \pm 0,08$
S439, 10^{-11} М	$73,0 \pm 2,56$	$97,0 \pm 0,98^{***}$	$2,53 \pm 0,06^{***}$	$3,12 \pm 0,08$
S439, 10^{-10} М	$76,0 \pm 2,47$	$86,0 \pm 2,00$	$2,29 \pm 0,08$	$3,02 \pm 0,07$
S439, 10^{-9} М	$61,0 \pm 2,82^{***}$	$94,0 \pm 1,37$	$2,07 \pm 0,07$	$3,26 \pm 0,07^*$
S439, 10^{-8} М	$77,0 \pm 2,43$	$93,0 \pm 1,47$	$1,88 \pm 0,07^{**}$	$3,19 \pm 0,07$
S439, 10^{-7} М	$71,0 \pm 2,62^*$	$90,0 \pm 1,73$	$2,18 \pm 0,07$	$3,41 \pm 0,06^{***}$

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.



1 – S439 10^{-11} М; 2 – S439 10^{-10} М; 3 – S439 10^{-9} М; 4 – S439 10^{-8} М; 5 – S439 10^{-7} М.

Рисунок 3 – Влияние S439 на морфометрические показатели тимфеески луговой, % относительно контроля

S439 не проявил стимулирующий эффект в отношении показателя энергии прорастания. Во всех вариантах опыта показатель энергии прорастания уменьшается по сравнению с контролем (таблица 3).

Статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении показателя всхожести наблюдается в варианте опыта с концентрацией S439 10^{-11} М. Отличие показателя всхожести в данном варианте опыта по сравнению с контролем составляет 7 %.

Статистически достоверное увеличение длины корня проростков тимOFFеевки отмечается в варианте опыта с концентраций S439 10^{-11} и составляет 17,1 % по сравнению с контролем (рисунок 3).

Увеличение длины побега проростков тимOFFеевки отмечается во всех вариантах опыта и составляет от 0,7 % до 13,7 %. В двух вариантах опыта отличия статистически достоверны. Наибольший прирост длины побега наблюдается в варианте опыта с концентрацией S439 10^{-7} М.

Таким образом, S439 демонстрирует незначительное влияние на показатели энергии прорастания и всхожести, но более существенное воздействие на длину корня и длину побега проростков тимOFFеевки. Наибольший прирост длины корня зафиксирован в варианте опыта 10^{-11} М S439, наибольший прирост длины побега – в варианте опыта 10^{-7} М S439. Ранее проведенное исследование влияния S439 на показатели тимOFFеевки луговой сорта Волия показало, что наибольшим стимулирующим эффектом в отношении показателя длины корня характеризуется S439 в концентрации 10^{-7} М, в отношении показателя длины побега – S439 в концентрации 10^{-10} М.

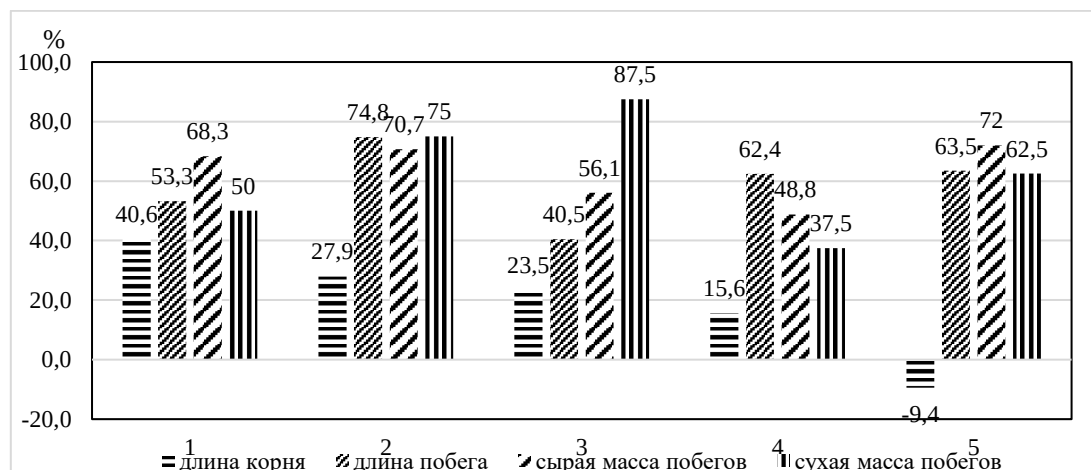
Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические показатели тимOFFеевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте

Данные о влиянии 24-эпикастастерина и его конъюгатов с кислотами на морфометрические показатели тимOFFеевки луговой, полученные в вегетационном лабораторном эксперименте, приведены в таблице 4 и на рисунке 4.

Таблица 4 – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические показатели тимOFFеевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Длина корня, мм	Длина побега, мм	Сырая масса, побегов, г	Сухая масса, побегов, г
Контроль	$22,20 \pm 1,20$	$34,50 \pm 2,92$	$0,0082 \pm 0,0012$	$0,0008 \pm 0,0001$
ЭК, 10^{-11} М	$31,22 \pm 1,74^{***}$	$52,90 \pm 1,96^{***}$	$0,0138 \pm 0,0016^*$	$0,0012 \pm 0,0001^*$
ЭК, 10^{-7} М	$28,39 \pm 2,37^*$	$60,32 \pm 2,54^{***}$	$0,0140 \pm 0,0012^*$	$0,0014 \pm 0,0001^{**}$
S31, 10^{-8} М	$27,41 \pm 1,41^{**}$	$48,47 \pm 1,73^{***}$	$0,0128 \pm 0,0009^*$	$0,0015 \pm 0,0001^{**}$
S439, 10^{-11} М	$25,67 \pm 1,65$	$56,03 \pm 1,79^{***}$	$0,0122 \pm 0,0005^*$	$0,0011 \pm 0,0001$
S439, 10^{-7} М	$20,11 \pm 2,85$	$56,40 \pm 2,71^{***}$	$0,0141 \pm 0,0009^*$	$0,0013 \pm 0,0002$

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.



1 – ЭК 10^{-11} М; 2 – ЭК 10^{-7} М; 3 – S31 10^{-8} М; 4 – S439 10^{-11} М; 5 – S439 10^{-7} М.

Рисунок 4 – Влияние ЭК, S31, S439 на морфометрические показатели тимфеески луговой, % относительно контроля

ЭК демонстрирует статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении всех изучаемых морфометрических показателей тимфеески луговой (таблица 4). Большой стимулирующий эффект ЭК отмечается в концентрации 10^{-7} М. В данном варианте опыта увеличение показателя длины корня составляет 27,9 % по сравнению с контролем, увеличение длины побега – 74,8 %, увеличение сырой массы побегов – 70,7 %, увеличение сухой массы побегов – 75,0 % (рисунок 4).

S31 в концентрации 10^{-8} М также проявляет статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении всех изучаемых морфометрических показателей тимфеески луговой. Увеличение показателей в данном варианте опыта по сравнению с контролем составляет от 23,5 % до 87,5 %.

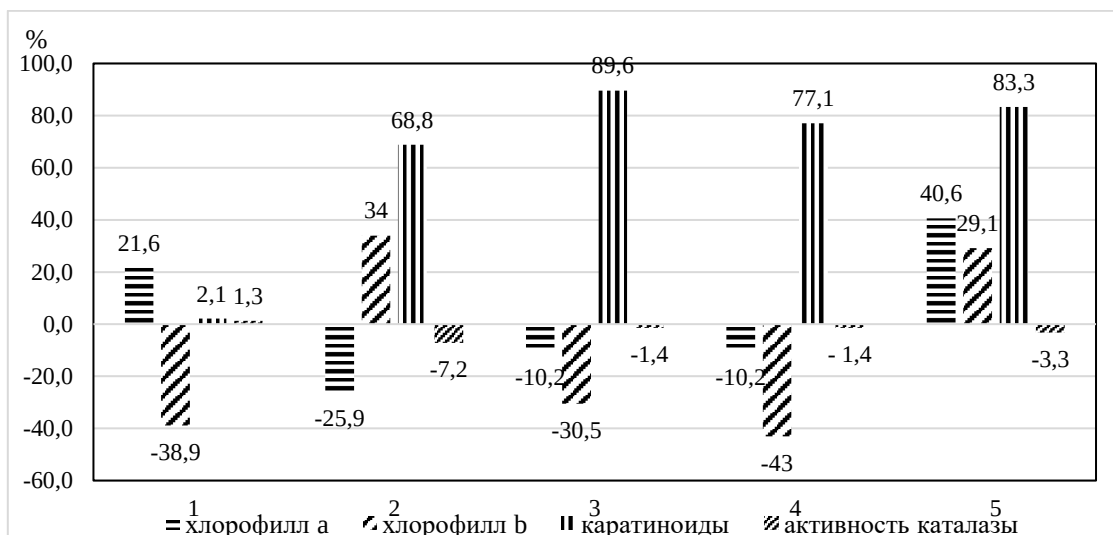
S439 в концентрации 10^{-7} М уменьшает длину корня на 9,4 % по сравнению с контролем. В отношении остальных изученных морфометрических показателей в эксперименте наблюдается стимулирующий эффект. Статистически достоверным является увеличение длины побега и увеличение сырой массы побегов под действием S439. Большим эффектом в отношении данных показателей характеризуется S439 в концентрации 10^{-7} М.

Данные о влиянии 24-эпикастастерина и его конъюгатов с кислотами на физиолого-биохимические показатели тимфеески луговой, полученные в вегетационном лабораторном эксперименте, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на физиолого-биохимические показатели тимфеески луговой в вегетационном лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Содержание пигментов, мг/г			Активность каталазы, мкат/л
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	
Контроль	0,717 ± 0,036	0,702 ± 0,084	0,047 ± 0,008	841,8 ± 30,3
ЭК, 10^{-11} М	0,915 ± 0,042*	0,429 ± 0,069	0,049 ± 0,009	852,5 ± 26,3
ЭК, 10^{-7} М	0,531 ± 0,031*	0,942 ± 0,141	0,103 ± 0,016	781,5 ± 25,7
S31, 10^{-8} М	0,644 ± 0,028	0,488 ± 0,068	0,110 ± 0,019	829,8 ± 33,8
S439, 10^{-11} М	0,644 ± 0,030	0,400 ± 0,052	0,085 ± 0,012	830,2 ± 28,5
S439, 10^{-7} М	1,009 ± 0,046*	0,906 ± 0,154	0,099 ± 0,016	813,9 ± 27,6

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$.



1 – ЭК 10^{-11} М; 2 – ЭК 10^{-7} М; 3 – S31 10^{-8} М; 4 – S439 10^{-11} М; 5 – S439 10^{-7} М.

Рисунок 5 – Влияние ЭК, S31, S439 на биохимические показатели тимфеевки луговой, % относительно контроля

ЭК в концентрации 10^{-11} М демонстрирует увеличение содержания хлорофилла *a* на 21,6 % по сравнению с контролем, уменьшение содержания хлорофилла *b* на 38,9 %, незначительное увеличение содержания каротиноидов (на 2,1 %) и активности каталазы (на 1,3 %). Статистически достоверным является стимулирующий эффект в отношении содержания хлорофилла *a* (таблица 5). В варианте опыта с концентрацией ЭК 10^{-7} М наблюдается уменьшение содержания хлорофилла *a* на 25,9 % и активности каталазы на 7,2 %. При этом увеличение содержания хлорофилла *b* по сравнению с контролем составляет 34,0 %, а каротиноидов – 68,8 % (рисунок 5). Статистически достоверным является ингибирующий эффект в отношении содержания хлорофилла *a*.

В варианте опыта с концентрацией S31 10^{-8} М по сравнению с контролем наблюдается уменьшение содержания хлорофилла *a* (на 10,2 %), хлорофилла *b* (на 30,5 %), активности каталазы (на 1,4 %). При этом отмечается увеличение содержания каротиноидов на 89,6 %. Однако отмеченные тенденции статистически недостоверны.

S439 больший стимулирующий эффект проявляет в концентрации 10^{-7} М. В данном варианте опыта увеличение содержания хлорофилла *a* составляет 40,6 % по сравнению с контролем, хлорофилла *b* – 29,1 %, каротиноидов – 83,3 %. В отношении активности каталазы отмечается ее уменьшение на 3,3 %. Статистически достоверным является стимулирующий эффект в отношении содержания хлорофилла *a*.

Заключение

Проведенное исследование показало, что сорта тимфеевки луговой Воля и Белорусская местная характеризуются разной отзывчивостью на действие 24-эпикастастерона и его конъюгатов. Сорт Белорусская местная демонстрирует большую отзывчивость на действие стероидных соединений, чем ранее изученный сорт Воля. Если в отношении показателей тимфеевки луговой сорта Воля больший стимулирующий эффект проявляет ЭК в концентрации 10^{-8} М, то в отношении показателей тимфеевки луговой сорта Белорусская местная больший стимулирующий эффект проявляет ЭК в концентрациях 10^{-7} и 10^{-11} М. Таким образом, сортовые особенности растений являются одним из факторов, определяющих биологические эффекты стероидных соединений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабовская, Н. И. Протекторное действие на растения препаратов, содержащих брассиностероиды, условиях загрязнения среды свинцом (обзор) / Н. И. Грабовская, О. Н. Бабенко // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. – 2020. – № 13 (2). – С. 129–163. DOI: 10.17516/1997-1389-0322.
2. Хрипач, В. А. Брассиностероиды и урожай. Экологически дружелюбный подход к решению проблемы производства высококачественной продукции / В. А. Хрипач // Химико-биологические технологии и экологическая безопасность : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–17 мая 2001 / под ред. И. И. Лиштвана [и др.]. – Минск, 2001. – С. 121–130.
3. Хомюк, Я. В. Влияние эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры *Trifolium pratense* L. / Я. В. Хомюк, Е. Г. Артемук, Р. П. Литвиновская // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 1. – С. 52–62.
4. Артемук, Е. Г. Влияние тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические и содержание фотосинтетических пигментов в растениях *Trifolium pratense* L. / Е. Г. Артемук // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 1. – С. 5–12.
5. Корзюк, О. В. Рострегулирующая активность эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на растения амаранта трехцветного / О. В. Корзюк // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 1. – С. 59–68.
6. Бульская, И. В. Оценка влияния 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры клевера Блюме на ранних этапах роста / И. В. Бульская // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 15–23.
7. Кароза, С. Э. Влияние тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов у гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / С. Э. Кароза, А. В. Швайко // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 50–64.
8. Коваленко, В. В. Влияние эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 1. – С. 22–30.
9. Коваленко, В. В. Протекторная активность 24-эпикастерона и тетраИНДОЛИЛАЦЕТАТА 24-эпикастерона в отношении токсического действия ионов свинца на культуре тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 31–40.
10. Коваленко, В. В. Влияние тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 65–72.
11. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
12. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: учебн. пособие для студ. вузов / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.
13. Шульгин, И. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм / И. А. Шульгин, А. А. Ничипорович // Хлорофилл : сб. науч. ст. под ред. А. А. Шлыка. – Минск : Наука и техника, 1974. – С. 121–136.

14. Метод определения активности каталазы / М. А. Королук [и др.] // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.

15. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Grabovskaya, N. I. Protekturnoe dejstvie na rasteniya preparatov, sodержashchih brassinosteroidy, usloviyah zagryazneniya sredy svincom (obzor) / N. I. Grabovskaya, O. N. Babenko // ZHurn. Sib. feder. un-ta. Biologiya. – 2020. – № 13 (2). – S. 129–163. DOI: 10.17516/1997-1389-0322.

2. Khripach, V. A. Brassinosteroidy i urozhai. Ekologicheski družhestvennyi podkhod k resheniiu problemy proizvodstva vysokokachestvennoi produktsii / V. A. Khripach // Khimiko-biologicheskie tekhnologii i ekologicheskaya bezopasnost : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 15–17 maia 2001. / pod red. I. I. Lishtvana [i dr.]. – Minsk, 2001. – S. 121–130.

3. Homyuk, Ya. V. Vliyanie epikastasterona i ego kon'yugatov s kislotami na morfometricheskie i fiziologo-biohimicheskie parametry Trifolium pratense L. / YA. V. Homyuk, E. G. Artemuk, R. P. Litvinovskaya // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2022. – № 1. – S. 52–62.

4. Artemuk, E. G. Vliyanie tetrasukcinata 24-epikastasterona na morfometricheskie i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov v rasteniyah Trifolium pratense L. / E. G. Artemuk // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 1. – S. 5–12.

5. Korzyuk, O. V. Rostreguliruyushchaya aktivnost' epikastasterona i ego kon'yugatov s kislotami na rasteniya amaranta trekhcvetnogo / O. V. Korzyuk // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 1. – S. 59–68.

6. Bul'skaya, I. V. Ocenka vliyaniya 24-epikastasterona i 2-monosalicilata 24-epikastasterona na morfometricheskie i fiziologo-biohimicheskie parametry koleusa Blyume na rannih etapah rosta / I. V. Bul'skaya // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 15–23.

7. Karoza, S. E. Vliyanie tetrasukcinata 24-epikastasterona na morfometricheskie pokazateli i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov u grechihi posevnoj (Fagopyrum esculentum Moench.) / S. E. Karoza, A. V. Shvajko // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 50–64.

8. Kovalenko, V. V. Vliyanie epikastasterona i ego kon'yugatov na morfometricheskie i fiziologo-biohimicheskie parametry timofeevki lugovoj (Phleum pratense L.) / V. V. Kovalenko // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2022. – № 1. – S. 22–30.

9. Kovalenko, V. V. Protekturnaya aktivnost' 24-epikastasterona i tetraindolilacetata 24-epikastasterona v otnoshenii toksicheskogo dejstviya ionov svinca na kul'ture timofeevki lugovoj (Phleum pratense L.) / V. V. Kovalenko // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2023. – № 1. – S. 31–40.

10. Kovalenko, V. V. Vliyanie tetrasukcinata 24-epikastasterona na morfometricheskie i fiziologo-biohimicheskie parametry timofeevki lugovoj (Phleum pratense L.) / V. V. Kovalenko // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 65–72.

11. Semena selskokhoziaistvennykh kultur. Metody opredeleniia vskhozhesti : GOST 12038–84. Vved. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.

-
12. Gavrilenko, V. F. Bolshoi praktikum po fotosintezu: uchebn. posobie dlia stud. vuzov / V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova ; pod red. I. P. Ermakova – M. : Akademiia, 2003. – 256 s.
 13. Shulgin, I. A. Raschet sodержaniia pigmentov s pomoshchiu nomogramm / I. A. Shulgin, A. A. Nichiporovich // Khlороfill : sb. nauch. st. pod red. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1974. – S. 121–136.
 14. Metod opredeleniia aktivnosti katalazy / M. A. Koroliuk [i dr.] // Lab. delo. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
 15. Rokitskii, P. F. Biologicheskaia statistika / P. F. Rokitskii. – Minsk : Uradzhai, 1973. – 320 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 07.04.2025

УДК 550.47, 911, 504.062, 581.143

DOI 10.63874/2218-0311-2025-1-54-65

Александр Петрович Колбас¹,**Александр Васильевич Левый², Николай Васильевич Михальчук³**¹канд. биол. наук, доц., старший науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси,

докторант Института природопользования Национальной академии наук Беларуси

²канд. биол. наук, старший науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси³канд. биол. наук, доц., директор Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси**Aliaksandr Kolbas¹, Aliaksandr Levy², Mikalai Mikhhalchuk³**¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus,

Doktoral Student of the Institute of Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus

²Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus³Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belaruse-mail: ¹kolbas77@mail.ru, ²a30413@mail.ru, ³info@paei.by

ОЦЕНКА БИОРЕМЕДИАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА РАСТЕНИЙ *SILPHIUM PERFOLIATUM* L., ПОЛУЧЕННЫХ КЛОНАЛЬНЫМ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO**

Приведены результаты тестирования фитоэкстракционных свойств силфийи пронзеннолистной (*Silphium perfoliatum* L.) с учетом возможности ее микроклонального размножения *in vitro* в качестве биоремедианта для почв с полиэлементным загрязнением среднего уровня. Используемые почвы характеризовались повышенным содержанием Pb, Co, Zn и Ni вследствие влияния эмиссий аккумуляторного производства. После выращивания в течение 5 месяцев отмечалось изменение некоторых биометрических параметров листьев силфийи под действием загрязненных почв: увеличивалась средняя масса листа и уменьшалось их количество, часто возрастала общая биомасса вследствие гормезиса. Анализ минераломассы позволяет рекомендовать тестируемые клоны силфийи для долговременных стратегий фитоэкстракции свинца, кобальта, меди, ванадия и титана на загрязненных территориях с возможностью последующей валоризации полученной биомассы.

Ключевые слова: *Silphium perfoliatum* L., микроклональное размножение, минераломасса, биоремедиация, тяжелые металлы, почвы, фитоэкстракция.

Assessment of Bioremediation Potential of *Silphium Perfoliatum* L. Obtained by Clonal Micropropagation *in vitro*

The paper presents the results of testing the phytoextraction properties of *Silphium perfoliatum* L. taking into account the possibility of its microclonal propagation *in vitro* as a bioremediant for soils with medium-level polyelement pollution. The soils were characterized by increased content of Pb, Co, Zn, and Ni due to the influence of battery production emissions. After growing for 5 months, some biometric parameters of *Silphium* leaves were observed to change under the influence of contaminated soils: the average leaf weight increased and their number decreased, the total biomass often increased due to hormesis. Analysis of the mineral mass allows us to recommend the tested *Silphium* clones for long-term strategies for phytoextraction of lead, cobalt, copper, vanadium, and titanium in contaminated areas with the possibility of subsequent valorization of the resulting biomass.

Key words: *Silphium perfoliatum* L., microclonal propagation, mineral mass, bioremediation, heavy metals, soils, phytoextraction.

Введение

Клональное микроразмножение находит все более широкое применение в современных экологических технологиях, в т. ч. и биоремедиации. Биотехнология

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка загрязнения тяжелыми металлами и иными экотоксикантами почв, вод, биологических объектов природных и природно-техногенных геосистем юго-запада Беларуси и научное обоснование минимизации сопутствующих экологических рисков», номер государственной регистрации 20210310, подпрограмма 10.1 ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда».

растений, вовлекая современные культуры тканей и селекцию *in vitro*, уже более 30 лет позволяет развивать новые формы гермопласта, лучше адаптированные под практические запросы [1]. Микрклональным размножением получают генетически стабильные группы организмов, схожие с полученными химическим мутагенезом [2]. Соматоклональные вариации и селекция *in vitro* позволяют развивать также вариации растений с повышенной выживаемостью в неблагоприятных условиях; к примеру, в Швейцарии и Бельгии были получены и протестированы устойчивые к тяжелым металлам (ТМ) соматоклональные варианты табака (*Nicotiana tabacum* L.) [3–4]. Лучшие варианты показали большие концентрации металлов (например, в 5–7 раз для меди, 2–5 раз для кадмия, 1,5 раза для цинка в гидропонике) по сравнению с материнскими клонами [3]; также были показаны различия в их антиоксидантном статусе [5].

В отличие от трансгенетических растений, клоны, полученные *in vitro*, могут быть сразу же тестированы в условиях *in vivo* для выявления экстракционного потенциала. Так, новые клоны табака с высокой аккумулярующей способностью были протестированы в полевых условиях, при этом эффективность их была несколько ниже, чем при выращивании в гидропонических условиях [6].

Поиск растений, способных обеспечивать биоремедиацию земель, – одно из перспективных направлений современных исследований в экологии. Такие растения должны иметь высокую скорость роста и соответствующий потенциал производства биомассы, глубокую и разветвленную корневую систему и обладать устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам, в частности, отличаться засухоустойчивостью, способностью развиваться на сильнозагрязненных ТМ почвах в условиях слабой обеспеченности N, P, K и микроэлементами. Для реализации длительных стратегий и создания перманентных посадок предпочтительнее рассматривать многолетние культуры. Рекомендуемые виды растений для извлечения тяжелых металлов должны, по мнению некоторых авторов, иметь значения коэффициента транслокации и коэффициента биологического накопления (КБН) выше 1 [7]. Сильфия пронзеннолистная (*S. perfoliatum* L.) является одним из перспективных видов для восстановления почв, загрязненных ТМ, поскольку имеет интенсивную скорость роста, устойчива к биотическим и абиотическим стрессам, производит значительное количество растительной биомассы [8], которая может быть собрана и использована для производства биогаза и прямого сжигания [9]. Figas с соавторами (2015) указывают, что это растение потенциально может восстанавливать деградированные земли посредством биоремедиации [10]. Предварительные исследования показывают, что сильфия является хорошим кандидатом для фиторемедиации почв, загрязненных кадмием [11]. По данным Sumalan et al. (2023), *S. perfoliatum* является потенциальным гипераккумулятором данного элемента [12]. Предварительные горшочечные эксперименты в контролируемых условиях показали ее потенциальную эффективность в фитоэкстракции цинка, меди и свинца [13].

Однако семенное размножение данной культуры, способствуя полиморфизму и генетической неоднородности, может снижать эффективность биоремедиационных стратегий, особенно в условиях полиэлементного загрязнения. Также зачастую отмечается продолжительное прорастание и низкая всхожесть семян, поэтому микрклональное размножение позволяет получить в короткие сроки достаточное количество генетически гомогенного посадочного материала.

Цель данной работы – изучить накопительные свойства по отношению к ТМ в контролируемых условиях у растений *S. perfoliatum*, полученных микрклональным размножением *in vitro*.

Материалы и методы исследования

Почвы отбирали в двух локациях на территории речного порта «Пинск» – филиала РТУП «Белорусское речное пароходство» (коды – П1 и П2). В предыдущих исследова-

ниях было выявлено повышенное содержание некоторых ТМ на данной территории, вследствие 15-летнего влияния эмиссий аккумуляторного производства [14]. В качестве контрольного (фонового) варианта была использована почва стационара «Луково» (Малоритский р-н) (код – К).

Отбор почв осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02–84 с глубины до 20 см. Все образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, далее измельчали до частиц менее 1 мм. Для определения валового содержания ТМ химическое разложение почвы проводили согласно ISO 11466 смесью HNO_3 (14 M) и HCl (12 M) в соотношении по объему 1 : 3. Содержание 15 металлов (металлоидов) (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Co, Cr, Mo, V, Ti, As, Sb, Sn) и некоторых макроэлементов (Ca, Mg, K, Na, P) определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) согласно ГОСТ ISO 22036–2014 с использованием спектрометра iCAP 7200 DUO (Thermo Scientific). Также были получены лизимитрические вытяжки из почв. Приспособление по отбору почвенного раствора Rhizon MOM (Eijkelkamp, Нидерланды) было помещено в каждый горшок под углом 45° . Почвенные растворы (30 мл) отбирали с каждого почвенного образца трижды с интервалом в одну неделю и хранили при температуре 4°C до проведения последующих анализов. Измеряли pH почвенных растворов с помощью pH-метра (Hanna instruments, pH 210). В почвенных растворах также определяли содержание 15 элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) по методике, указанной выше.

Растения. Работа включала следующие этапы (рисунок 1): ведение в культуру *in vitro*, микроразмножение, ризогенез, перенос клонов в условия *in vivo*, вегетационный эксперимент с загрязненными почвами, оценка биометрических параметров, пробоподготовка и химический анализ.

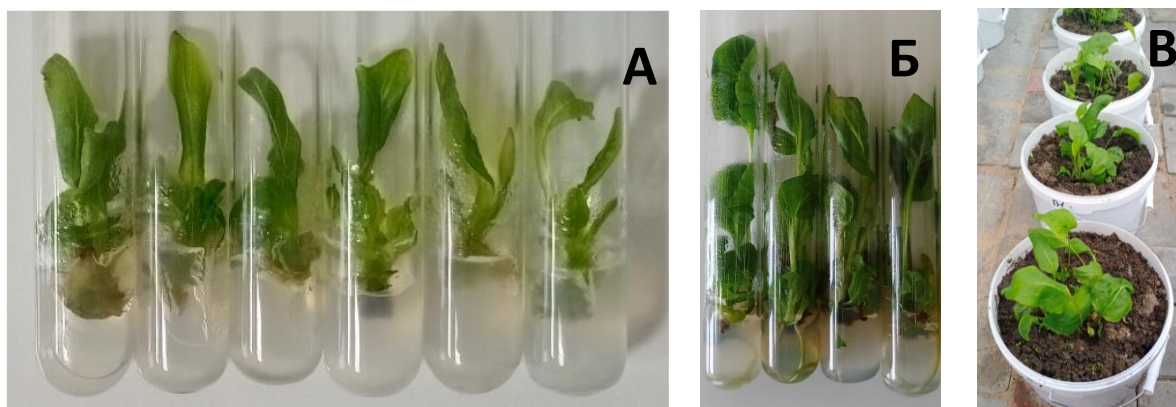


Рисунок 1 – Этапы эксперимента: микроразмножение (А) и ризогенез (Б) *in vitro*, адаптация (В) *in vivo*

Первые четыре этапа осуществляли по протоколу, описанному ранее [15]. Культивирование первичных эксплантов проводили в течение шести недель. Этап микроразмножения выполняли с использованием аналогичных условий и питательных сред. Коэффициент размножения при этом был равен четырем. При этом приживаемость растений-регенерантов составила 95 %. Таким образом, на данном этапе было получено достаточное количество клонов для осуществления последующих запланированных работ.

После пересадки на среду для ризогенеза по истечении четырех недель культивирования отмечено формирование корней у 97 % растений-регенерантов.

Для изучения биоремедиационных свойств сальфии провели эксперимент *in vivo* в условиях теплицы по прямому переносу, адаптации и последующему выращиванию растений-регенерантов непосредственно на грунтах с повышенным содержанием ТМ.

Вегетационные сосуды объемом 5,5 л были заполнены тремя вариантами почв, описанными ранее. В каждый вегетационный сосуд высаживали по четыре клона сильфии с развитыми корневыми системами. Приживаемость клонов составила 100 %. Далее полученные растения выращивались в условиях теплицы при регулярном поливе в течение пяти месяцев (с июня по октябрь), после чего осуществляли срезание, взвешивание, высушивание и определение содержания сухого вещества и ТМ в листьях.

Пробоподготовку растительного материала для химического анализа проводили по ГОСТ 26929-94. Определение содержания ТМ осуществляли согласно ГОСТ 30538-97 на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 7200 DUO.

Статистическую обработку результатов по химическому составу почв и растений проводили с использованием программ Microsoft Excel, Jamovi и R (версия 4.3.1). Она включала в себя дисперсионный анализ и создание графиков анализа главных компонент (PCA – Principal Component Analysis), а также корреляционный анализ параметров. Значения были предварительно обработаны. Значения R не превышали 0,05.

Статистическую обработку полученных данных по биометрическим параметрам растений выполняли методом однофакторного дисперсионного анализа (фактор – почва). Для оценки значимости различия между средними значениями выборок (групп) использовали величины F (критерий Фишера), F критическое (квантиль распределения Фишера) и P -значение (расчетный уровень значимости P), а также расчет значений HCp_{05} .

Результаты и их обсуждение

Почвы. Анализ валового содержания ТМ в почвах (таблица 1) выявил превышения значений ПДК [16] по свинцу для техноземов П1 и П2. При этом превышения порогов, указанных в ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 [17], не отмечалось. Так как приведенные в данном нормативном документе значения превышают общемировые и европейские критерии, то эколого-геохимическую оценку почв проводили с учетом региональных особенностей: ключевым для сравнения был выбран субрегиональный фон для нативных почв [18]. При этом техноземы П1 и П2 характеризовались полиэлементным загрязнением: порог аномальности ($K_a > 1$) у них был превышен по семи элементам, при этом отмечалось значительное превышение фоновых значений по свинцу, кобальту, цинку и никелю (таблица 2).

Анализ суммарного показателя загрязнения почв (Z_c) выявил, что для почвы стационара «Луково» его значение соответствует низкой степени загрязнения (от 1 до 5), что позволило рассматривать ее в качестве контрольной, тогда как техноземы речного порта «Пинск» характеризуются как умеренно опасные со средним уровнем загрязнения [19].

Анализ содержания ТМ в почвенных вытяжках, выявил, что загрязненные почвы отличаются низким уровнем содержания растворенных форм большинства элементов (таблица 1). Исключение составляет молибден, доля которого в почвах П1 и П2 превышает контрольные значения в 22 и 8,5 раза соответственно, мышьяк – 3,9 и 2,3 раза соответственно, олово – в 9,3 раза в П1.

Следует отметить также более низкое содержание в загрязненных почвах по сравнению с контрольными растворенных форм элементов-загрязнителей (Pb, Cd, Zn, Co), что свидетельствует о нахождении данных элементов в связанном виде и их невысокой фитотоксичности. Данное явление объясняется также более высоким pH экспериментальных почв по сравнению с контрольными (таблица 3) и повышенным содержанием кальция и магния в почвенных растворах.

Таблица 1 – Валовое содержание элементов (мкг/кг) / доля элементов в почвенных вытяжках, % к валовому содержанию

Почва	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Mo	V	Ti	As	Sb	Sn
К	4,94	0,05	1,15	8,53	32,5	1,26	0,38	1,96	0,08	2,03	29,38	0,79	0,17	0,13
	1,64	1,80	1,72	1,43	2,08	0,35	0,66	0,13	2,03	0,31	0,056	0,39	3,71	0,92
П1	39,1	0,02	2,27	22,2	90,6	2,01	2,32	3,51	0,03	11,92	221,7	0,62	0,44	0,16
	0,14	1,30	2,55	0,14	0,59	0,55	0,18	0,06	55,50	0,08	0,004	1,52	3,05	8,56
П2	38,6	0,03	2,57	22,1	55,8	2,65	1,52	3,71	0,03	6,58	136,9	0,67	0,34	0,18
	0,03	0,67	0,83	0,10	1,96	0,57	0,31	0,08	17,00	0,13	0,005	0,88	2,24	0,72
ПДК*	32	0,5	33	55	1500	20	20	100	10	150	–	–	–	–
Фон**	5,59	0,05	1,27	7,39	107,3	0,6	0,26	1,88	–	–	–	–	–	–

*Санитарно-гигиенические нормы для почв [16], **фон субрегиональный для нативных почв [18], – данные в литературных источниках не приводятся.

Таблица 2 – Коэффициенты концентрации для исследованных почв (относительно субрегионального фона [18]) и показатель суммарного загрязнения

Почва	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Co	Cr	Mo	Zc
К	0,88	1,00	0,91	1,15	0,30	0,62	2,10	1,46	1,04	1,68	3,44
П1	7,00	0,46	1,79	3,01	0,85	2,03	3,33	8,92	1,87	0,58	21,94
П2	6,90	0,60	2,02	2,99	0,52	1,32	4,42	5,85	1,97	0,54	19,47

Таблица 3 – Валовое содержание некоторых макроэлементов (г/кг) и органического вещества (%) в почве, pH почвенных вытяжек

Почва	K	Na	Ca	Mg	Fe	P	pH	орг. в-во (%)
К	6,65	40,19	21,22	3,016	1,39	1,098	4,08	3,09
П1	20,1	40,56	111,2	16,59	4,53	0,34	5,91	2,04
П2	10,25	34,55	133,8	19,82	2,94	0,24	6,24	0,93

Растения. Анализ биометрических параметров сальфии установил, что влияние загрязнения почвы статистически значимо в отношении среднего количества листьев одного растения ($F = 4,38 > F_{критическое} = 3,89$), массы образующихся листьев ($F = 12,06 > F_{критическое} = 3,89$) и содержания в них сухого вещества ($F = 7,32 > F_{критическое} = 3,89$) в первый год вегетации (таблица 4).

Наибольшее среднее количество листьев на одном растении сформировалось в варианте эксперимента с контрольной почвой – 10,65 шт., что статистически значимо (при $НСР_{05} = 1,82$) превышает данный показатель в варианте П2 – 8,25 шт.

Наибольшая масса листьев на одно растение была получена в варианте эксперимента с почвой П1 – 23,52 г, что статистически значимо (при $НСР_{05} = 3,79$) превышает этот параметр в вариантах К – 15,31 г и П2 – 17,40 г.

Таблица 4 – Биометрические параметры листьев сальфии пронзеннолистной в первый год вегетации (средние значения для одного растения)

Почва	Количество, шт.	Сырая масса, г	Сухое вещество, %
К	10,65	15,31	23,69
П1	8,95	23,52*	21,26*
П2	8,25*	17,40	22,90
НСР ₀₅	1,82	3,79	1,41

*Статистически достоверное отличие от контроля.

Наибольшее содержание сухого вещества было отмечено в вариантах эксперимента с почвами К и П2 (23,69 % и 22,90 % соответственно), что статистически значительно превышает значение данного показателя в варианте с почвой П1 (при НСР₀₅ = 1,41). При этом понижение содержания воды не приводило к падению общей урожайности. Ранее отмечалось, что клоны, выращиваемые на загрязненных почвах, менее зависимы от условий водообеспечения [3].

Таким образом, на загрязненных почвах происходит уменьшение количества листьев сальфии при одновременном их укрупнении и сохранении общей биомассы.

Содержание ТМ в листьях сальфии, выращенной на загрязненных почвах, характеризуется повышенными концентрациями свинца, меди, кобальта, ванадия и титана по сравнению с контрольными почвами (таблица 5). В то же время в тканях экспериментальных растений отмечаются более низкие концентрации по сравнению с контрольными растениями для таких ТМ, как Cd, Zn, Mn, Fe.

В целом концентрации большинства ТМ находились в пределах, описанных ранее для сальфии; более низкие концентрации по сравнению с литературными данными отмечены только для цинка и меди [13].

Таблица 5 – Содержание ТМ (мг/кг) / КБН для листьев сальфии

Почва	Элемент											
	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Co	Cr	Mo	V	Ti
К	0,38	0,02	3,72	12,03	108,53	36,10	0,24	0,004	0,10	0,11	0,010	0,011
	0,08	0,38	3,23	1,41	3,34	0,03	0,19	0,009	0,05	1,35	0,005	0,0004
П1	1,58	0,005	4,05	10,56	20,24	29,27	0,11	0,017	0,06	0,07	0,020	0,129
	0,04	0,21	1,78	0,48	0,22	0,01	0,06	0,007	0,02	2,55	0,002	0,001
П2	1,41	0,002	4,53	10,24	12,49	29,80	0,31	0,005	0,06	0,08	0,024	0,100
	0,04	0,07	1,76	0,46	0,22	0,01	0,12	0,003	0,02	3,01	0,004	0,001

Был рассчитан коэффициент биологического накопления ТМ (КБН) для листьев изученных растений [7] как отношение средней концентрации элемента в органах растений к валовому его содержанию в соответствующей почве; он отражает способность растений избирательно поглощать химические элементы (таблица 5).

Анализ данного параметра выявил накопительные стратегии для меди и молибдена на всех почвах и для цинка и марганца – на контрольных почвах. В целом на загрязненных почвах отмечается уменьшение поглощательных свойств по большинству ТМ (исключение – Mo). Схожие тенденции наблюдались ранее и для других растений и связаны в первую очередь с активизацией барьерных механизмов в растениях при превышении пороговых значений содержания ТМ в почве [6].

Для определения эффективности фитоэкстракции использовали показатель минераломассы (ММ), или выноса металла [6] (таблица 6). Вынос ТМ рассчитывался как произведение концентрации металлов в органах растений и биомассы этих органов (в пересчете на сухое вещество):

$$MM = \text{концентрация } TM_{\text{орган}} * \text{масса}_{\text{орган.}}$$

Следует отметить, что на загрязненных почвах биомасса растений не уменьшалась, а в случае почвы П1 даже увеличивалась (таблица 4). Данный факт объясняется эффектом гормезиса, или повышением виталитета растений при умеренных дозах загрязнения [20], что может значительно повышать вынос ТМ при данном уровне содержания ТМ в почве.

Таблица 6 – Минералломасса листьев сальфии (мг ТМ/раст)

поч- ва	элемент												
	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Co	Cr	Mo	V	Ti	Sb
К	1,38	0,07	13,45	43,63	394,41	131,21	0,88	0,01	0,35	0,41	0,04	0,04	0,32
П1	7,95	0,02	20	52,17	100,7	145,51	0,56	0,09	0,29	0,37	0,1	0,64	0,37
П2	5,49	0,01	17,93	40,38	48,48	117,62	1,22	0,02	0,25	0,32	0,1	0,39	0,3

У сальфии выявлены высокие показатели выноса на почвах П1 и П2 по сравнению с контролем следующих элементов: Pb (5,8 и 4,0 раза), Cu (1,5 и 1,3 раза), V (2,8 и 2,6 раза), Co (6,4 и 1,2 раза) и Ti (15,5 и 9,5 раза) (рисунок 2). Это позволяет рекомендовать тестируемые клоны сальфии для фитоэкстракции данных ТМ.

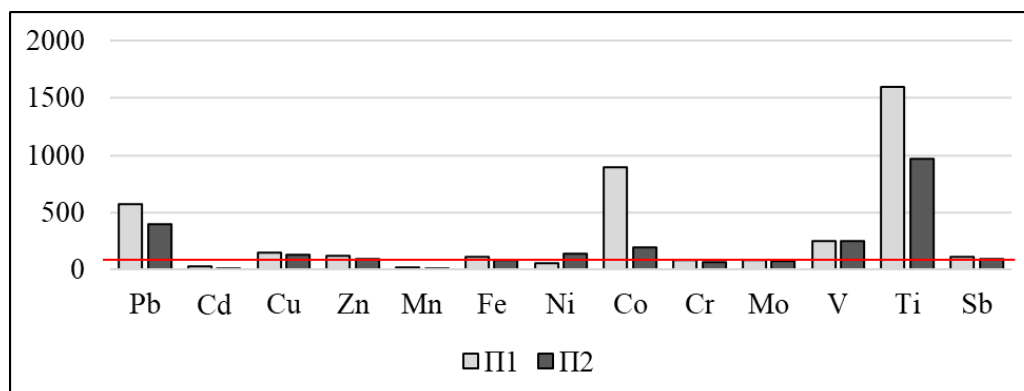


Рисунок 2 – Вынос ТМ листьями сальфии (в % относительно контрольной почвы – горизонтальная линия)

В то же время на контрольных почвах наблюдался больший вынос марганца, при его меньшем валовом содержании. Данное явление объясняется большим содержанием фосфора и меньшим pH почвы (таблица 3), что способствует резкому увеличению подвижности данного металла [19].

В предыдущих исследованиях отмечалось изменение урожайности и элементного состава надземных частей сальфии, выращенной в горшочечном эксперименте на почвах с сильным загрязнением ТМ [21]. Причем при выращивании сальфии в плавающих гидропонных системах в питательных растворах в присутствии тяжелых металлов растения активно накапливали Pb, Cu, Zn и Cd [12].

График анализа главных компонент (РСА) для всех анализируемых растений описывает 60,5 % общего варьирования (ось № 1 – 37,8 %, ось № 2 – 22,7 %) (рисунок 3).

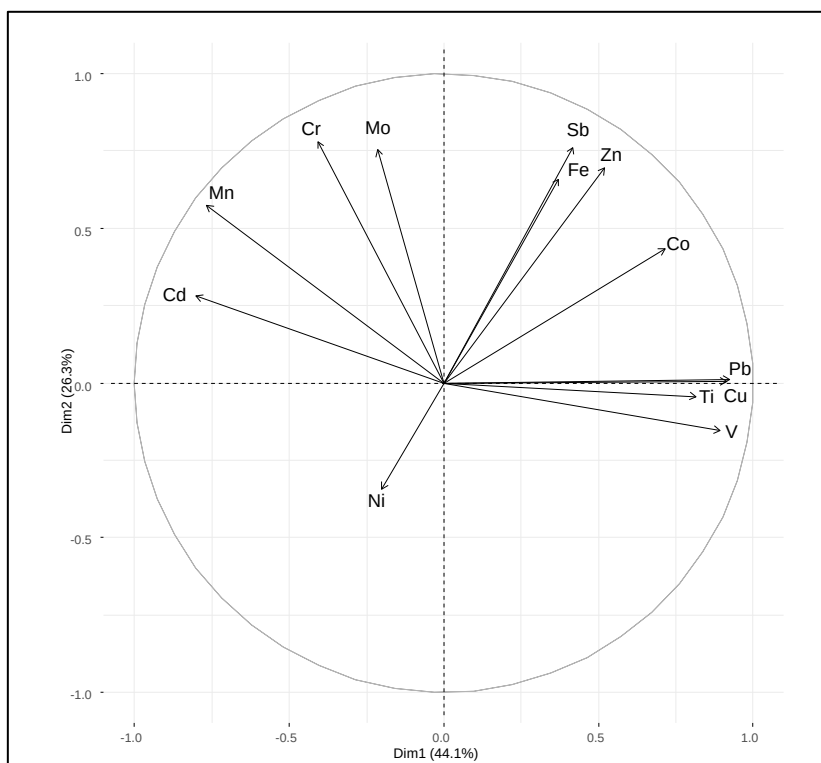


Рисунок 3 – График зависимости минераломассы растений от почвы в пространстве двух факторов (РСА)

Для ММ растений можно выделить несколько ассоциаций, описываемых соответствующими сценариями: первая ассоциация включает Pb, Cu, Ti, V и обусловлена главным образом, высокими показателями минераломассы по отношению к контролю. Причем степень корреляции между содержанием ТМ пула очень высока и приближается к 1 (таблица 6), что свидетельствует о схожей накопительной стратегии растений по отношению к данным элементам.

Таблица 6 – Корреляционная матрица для ТМ в минераломассе сільфії (выделены статистически достоверные значения)

ТМ	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Co	Cr	Mo	V	Ti
Cd	-0,65	–										
Cu	0,94	-0,71	–									
Zn	0,60	-0,18	0,58	–								
Mn	-0,74	0,75	-0,78	0,01	–							
Fe	0,21	-0,14	0,23	0,58	0,21	–						
Ni	-0,10	-0,04	-0,04	-0,20	-0,05	-0,26	–					
Co	0,59	-0,50	0,50	0,69	-0,17	0,70	-0,34	–				
Cr	-0,39	0,50	-0,39	0,21	0,71	0,24	-0,10	0,02	–			
Mo	-0,14	0,30	-0,07	0,35	0,49	0,16	-0,12	-0,02	0,83	–		
V	0,77	-0,77	0,76	0,19	-0,80	0,20	-0,14	0,53	-0,32	-0,19	–	
Ti	0,64	-0,58	0,60	0,20	-0,62	0,31	-0,36	0,62	-0,24	-0,20	0,91	–
Sb	0,46	-0,11	0,48	0,76	0,03	0,59	-0,26	0,43	0,40	0,51	0,23	0,19

Для второй группы (Fe, Sb, Zn и Co) значения ММ схожи с контрольными растениями и практически не изменяются в загрязненных почвах. Промежуточное место занимает кобальт, который имеет корреляционную связь как с элементами первой ассоциации, так и со второй. К третьей ассоциации относятся Cd, Mn, Cr, Mo, вынос у которых меньше, чем у контрольных растений. Данные элементы характеризуются сильной

обратной связью с ТМ первой ассоциации. Обособлено расположен никель. Статистически подтвержден фитоэкстракционный потенциал сильфии по отношению к Pb, Cu, Ti и V.

Заклучение

Таким образом, клоны сильфии пронзеннолистной, полученные в условиях *in vitro*, возможно выращивать на грунтах с повышенным содержанием ТМ в вегетационных сосудах путем прямого переноса и адаптации при поддержании высокой влажности воздуха в области листового аппарата на начальных этапах. Выявлено влияние загрязненных почв на биометрические параметры и химический состав листьев растений-ренерантов сильфии пронзеннолистной в первый год вегетации в условиях *in vivo*. Установленные фитоэкстракционные особенности сильфии с учетом продуктивного долголетия культуры (более 15 лет) позволяют рекомендовать данное растение в качестве биоремедианта для почв с полиэлементным загрязнением среднего уровня. Для уточнения транслокационных тенденций во временном аспекте требуется проведение дополнительных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Alibert, G. Sunflower tissue and cell-cultures and their use in biotechnology / G. Alibert, C. Aslanecanabe, M. Burrus // Plant Phys. and Bioch. – 1994. – Vol. 32. – P. 31–44.
2. Skirvin, R. Somaclonal variation: has it proved useful for plant improvement? / R. Skirvin, M. Norton, K. McPheeters // In Acta Hortic. – 1993. – Vol. 199. – P. 333–340.
3. Guadagnini, M. In vitro breeding for metal-accumulation in two Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Cultivars / M. Guadagnini // PhD thesis. – University of Freiburg. – 2000. – 97 p.
4. Vangronsveld, J. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field / J. Vangronsveld [et al.] // Env. Sci. and Poll. Res. – 2009. – Vol. 16, P. 765–794.
5. Lyubenova, L. Response of antioxidant enzymes in *Nicotiana tabacum* clones during phytoextraction of heavy metals / L. Lyubenova [et al.] // Env. Sci. and Poll. Res. – 2009. – Vol. 16, P. 573–581.
6. Kolbas, A. Field evaluation of one Cu-resistant somaclonal variant and two clones of tobacco for copper phytoextraction at a wood preservation site / A. Kolbas [et al.] // Env. Sci. and Poll. Res. – 2020. – Vol. 27. – P. 27831–27848.
7. Микроэлементы в окружающей среде: биогеохимия, биотехнология и биоремедиация: Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation / Под ред. М. Н. В. Прасада, К.С. Саджвана, Р. Найду; пер. с англ. Д. И. Башмакова и А. С. Лукаткина. – Москва: Физматлит, 2009. – 815 с.
8. Пастухова, М. А. Экономическая эффективность создания средостабилизирующих агрофитоценозов на основе сильфии пронзеннолистной в условиях агроэкологически проблемных ареалов агроландшафтов / М. А. Пастухова, Б. В. Шелюто // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии: научно-методический журнал. – Горки, 2021. – № 1. – С. 82–85.
9. Nescu, V. Physiological aspects of absorption, translocation, and accumulation of heavy metals in *Silphium perfoliatum* L. plants grown in a miningcontaminated soil / V. Nescu [et al.] // Minerals. – 2022. – Vol. 12, P. 334.

10. Figas, A. Influence of drip irrigation on the height of the biennial cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) from the micropropagation seedlings / A. Figas [et al.] // *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*. – 2015. – Vol. 3, P. 779–786.

11. Zhang, X. Potential of four forage grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils / X. Zhang [et al.] // *Bioresour. Technol.* – 2010. – Vol. 101, P. 2063–2066.

12. Sumalan, R.L. The Impact of heavy metal accumulation on some physiological parameters in *Silphium perfoliatum* L. plants grown in hydroponic systems / R. L. Sumalan [et al.] // *Plants*. – 2023. – Vol. 12. – P. 1718.

13. Колбас, А. П. Оценка эффективности растений-кандидатов для биоремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами / А. П. Колбас [и др.] // *Экологическая культура и охрана окружающей среды: IV Дорофеевские чтения : сб. материалов межд. науч.-практ. конф., Витебск, 29 нояб. 2024 г. / Витеб. гос. ун-т ; редкол.: Е.Я. Аршанский (отв. ред.) [и др.]. – Витебск : ВГУ, 2024. – С. 359–361.*

14. Качанович, П. В. Особенности пространственного распределения свинца в почвах в зоне влияния аккумуляторного производства / П. В. Качанович // *Молодежь в науке – 2021 : тез. Докл. XX Междунар. науч. конф. Молодых ученых, Минск, 20–22 сент. 2023 г. / Нац. Академ. Наук Беларуси, Совет молодых ученых ; редкол : В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская наука, 2023. – С. 725–727.*

15. Левый, А. В. Разработка технологии микроклонального размножения в условиях *in vitro* сильфии пронзеннолистной (*Silphium perfoliatum* L.) сорта Первый белорусский как потенциально эффективной культуры ремедианта загрязненных территорий / А. В. Левый, М. А. Пастухова // *Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання: зб. навук. прац. XI Міжнар. навук. канф. «Прыроднае асяроддзе Палесся», Брэст, 11–13 верасня 2024 / Палескі аграрна-экал. інст. НАН Беларусі ; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2024. – С. 215–218.*

16. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37 «Об утверждении гигиенических нормативов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037>. – Дата доступа: 01.12.2024.

17. ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ecolog.by/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show_file.php?fid=7510. – Дата доступа 01.06.2024.

18. Михальчук, Н. В. Фоновое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в почвах и растительности юго-запада Беларуси как основа для сравнительных оценок при производстве органической продукции на основе принципов зеленой экономики / Н. В. Михальчук, А. Н. Мялик // *Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике; редкол.: В. С. Хомич (гл. ред.), В. Ф. Логинов, Е. В. Санец. – Минск : СтройМедиаПроект. – 2019. – С. 266–281.*

19. Саєт Ю. Е. [и др.]. Геохимия окружающей среды. – М. : Недра, 1990. – 335 с.

20. Calabrese, E. J., Blain R. B. Hormesis and plant biology / E. J. Calabrese, R. B. Blain // *Environmental Pollution*. – 2009. – Vol. 157. – P. 42–48.

21. Antonkiewicz, J. Effect of soil contamination with heavy metals on element contents in *Silphium perfoliatum* (*Silphium perfoliatum* L.) / J. Antonkiewicz, C. Jasiewicz // *Ecological Chemistry and Engineering*. – 2003. – Vol 10. – P. 205–210.

REFERENCES

1. Alibert, G. Sunflower tissue and cell-cultures and their use in biotechnology / G. Alibert, C. Aslanachanabe, M. Burrus // *Plant Phys. and Bioch.* – 1994. – Vol. 32. – P. 31–44.
2. Skirvin, R. Somaclonal variation: has it proved useful for plant improvement? / R. Skirvin, M. Norton, K. McPheeters // *In Acta Hortic.* – 1993. – Vol. 199. – P. 333–340.
3. Guadagnini, M. In vitro breeding for metal-accumulation in two Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Cultivars / M. Guadagnini // PhD thesis. – University of Freiburg. – 2000. – 97 p.
4. Vangronsveld, J. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field / J. Vangronsveld [et al.] // *Env. Sci. and Poll. Res.* – 2009. – Vol. 16, P. 765–794.
5. Lyubenova, L. Response of antioxidant enzymes in *Nicotiana tabacum* clones during phytoextraction of heavy metals / L. Lyubenova [et al.] // *Env. Sci. and Poll. Res.* – 2009. – Vol. 16, P. 573–581.
6. Kolbas, A. Field evaluation of one Cu-resistant somaclonal variant and two clones of tobacco for copper phytoextraction at a wood preservation site / A. Kolbas [et al.] // *Env. Sci. and Poll. Res.* – 2020. – Vol. 27. – P. 27831–27848.
7. Mikroelementy v okruzhayushchey srede: biogeokhimiya, biotekhnologiya i bioremediatsiya: Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation / Pod red. M. N. V. Prasada, K. S. Sadzhvana, R. Naydu; per. s angl. D. I. Bashmakova i A. S. Lukatkina. – Moskva: Fizmatlit, 2009. – 815 s.
8. Pastukhova, M. A. Ekonomicheskaya effektivnost' sozdaniya sredostabiliziruyushchikh agrofitotsenozov na osnove sil'fii pronzennolistnoy v usloviyakh agroekologicheskikh problemnykh arealov agrolandshaftov / M. A. Pastukhova, B. V. Shelyuto // *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii: nauchno-metodicheskiy zhurnal.* – Gorki, 2021. – № 1. – S. 82–85.
9. Nescu, V. Physiological aspects of absorption, translocation, and accumulation of heavy metals in *Silphium perfoliatum* L. plants grown in a miningcontaminated soil / V. Nescu [et al.] // *Minerals.* – 2022. – Vol. 12, P. 334.
10. Figas, A. Influence of drip irrigation on the height of the biennial cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) from the micropropagation seedlings / A. Figas [et al.] // *Infrastructure and Ecology of Rural Areas.* – 2015. – Vol. 3, P. 779–786.
11. Zhang, X. Potential of four forage grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils / X. Zhang [et al.] // *Bioresour. Technol.* – 2010. – Vol. 101, P. 2063–2066.
12. Sumalan, R. L. The Impact of heavy metal accumulation on some physiological parameters in *Silphium perfoliatum* L. plants grown in hydroponic systems / R. L. Sumalan [et al.] // *Plants.* – 2023. – Vol. 12. – P. 1718.
13. Kolbas, A. P. Otsenka effektivnosti rasteniy-kandidatov dlya bioremediatsii pochvy, zagryaznennykh tyazhelymi metallami / A. P. Kolbas [i dr.] // *Ekologicheskaya kul'tura i okhrana okruzhayushchey sredy: IV Dorofeyevskiye chteniya : sb. materialov mezhd. nauch.-prakt. konf., Vitebsk, 29 noyab. 2024 g. / Viteb. gos. un-t ; redkol.: Ye. YA. Arshanskiy (otv. red.) [i dr.]. – Vitebsk : VGU, 2024. – S. 359–361.*
14. Kachanovich, P. V. Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya svintsa v pochvakh v zone vliyaniya akkumulyatornogo proizvodstva / P. V. Kachanovich // *Molodezh' v nauke – 2021 : tez. Dokl. XX Mezhdunar. nauch. konf. Molodykh uchenykh, Minsk, 20–22 sent. 2023 g. / Nats. Akadem. Nauk Belarusi, Sovet molodykh uchenykh ; redkol : V. G. Gusakov (gl. red.) [i dr.]. – Minsk : Belarusskaya nauka, 2023. – S. 725–727.*

15. Levyy, A. V. Razrabotka tekhnologii mikroklonal'nogo razmnazheniya v usloviyakh in vitro sil'fii pronzennolistnoy (*Silphium perfoliatum* L.) sorta Pervyy beloruskiy kak potentsial'no effektivnoy kul'tury remedianta zagryaznennykh territoriy / A. V. Levyy, M. A. Pastukhova // Pryrodnaye asyaroddze Palessya i navukova-praktychnyya aspekty ratsyyanal'naga resursakarystannya: zb. navuk. prats. KHI Mizhnar. navuk. kanf. «Pryrodnaye asyaroddze Palessya», Brest, 11–13 verasnya 2024 / Paleski agrarna-ekal. inst. NAN Belarusi ; redkal. M. V. Mikhal'chuk (gal. red.) [i insh.] – Brest : Al'ternativa, 2024. – S. 215–218.

16. Postanovleniye Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 25 yanvarya 2021 g. № 37 «Ob utverzhdenii gigiyenicheskikh normativov» [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037>. – Data dostupa: 01.12.2024.

17. EkoNiP 17.03.01-001-2021 «Okhrana okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniye. Zemli (v tom chisle pochvy). Normativy kachestva okruzhayushchey sredy. Differentsirovannyye normativy sodержaniya khimicheskikh veshchestv v pochvakh i trebovaniya k ikh primeneniyu» [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.ecolog.by/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show_file.php?fid=7510. – Data dostupa: 01.03.2025.

17. EkoNiP 17.03.01-001-2021 «Okhrana okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniye. Zemli (v tom chisle pochvy). Normativy kachestva okruzhayushchey sredy. Differentsirovannyye normativy sodержaniya khimicheskikh veshchestv v pochvakh i trebovaniya k ikh primeneniyu» [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.ecolog.by/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show_file.php?fid=7510. – Data dostupa: 01.06.2024.

18. Mikhal'chuk, N. V. Fonovoye sodержaniye tyazhelykh metallov i mikroelementov v pochvakh i rastitel'nosti yugo-zapada Belarusi kak osnova dlya sravnitel'nykh otsenok pri proizvodstve organicheskoy produktsii na osnove printsipov zelenoy ekonomiki / N. V. Mikhal'chuk, A. N. Myalik // Ekologo-geograficheskiye problemy perekhoda k zelenoy ekonomike; redkol. : V. S. Khomich (gl. red.), V. F. Loginov, Ye. V. Sanets. – Minsk : StroyMediaProyekt. – 2019. – S. 266–281.

19. Sayet YU. Ye. [i dr.]. Geokhimiya okruzhayushchey sredy. – M. : Nedra, 1990. – 335 s.

20. Calabrese, E. J., Blain R.B. Hormesis and plant biology / E. J. Calabrese, R. B. Blain // Environmental Pollution. – 2009. – Vol. 157. – P. 42–48.

21. Antonkiewicz, J. Effect of soil contamination with heavy metals on element contents in *Silphium perfoliatum* (*Silphium perfoliatum* L.) / J. Antonkiewicz, C. Jasiewicz // Ecological Chemistry and Engineering. – 2003. – Vol 10. – P. 205–210.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 08.04.2025

УДК 582.284.51:581.43

DOI 10.63874/2218-0311-2025-1-66-76

Павел Юрьевич Колмаков¹, Дмитрий Данилович Жерносеков²¹канд. биол. наук, докторант каф. экологии и методики преподавания биологии
Белорусского государственного университета²доктор биол. наук, профессор каф. фундаментальной и прикладной биологии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова**Pavel Kolmakov¹, Dmitry Zhernossekov²**¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department
of Ecology and Methods of Teaching Biology Belarusian State University²Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Fundamental and Applied Biology
of the Vitebsk State University after P. M. Masherove-mail: pavel_kolmakov@list.ru

РЕГУЛЯЦИЯ ПРОЦЕССОВ СУБЕРИНИЗАЦИИ ТОНКИХ КОРНЕЙ В МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ «*PICEA ABIES* – ЭКТОМИКОРИЗНЫЕ ГРИБЫ»

Консортивные связи в модельной системе «*Picea abies* – эктомикоризные грибы» являются результатом взаимно контролируемого «контактного стресса», который нашел свое отражение в суберинизации тканей микоризного корневого окончания. Перекрестная регуляция активности определенных транспортеров, контролирующих процессы суберинизации барьерных тканей хорошо описана в научной литературе, но обмен суберина в различных условиях все еще остается неизученным. Процессы суберинизации эндодермы и эктодермы микоризного корневого окончания идут независимо друг от друга по различным механизмам, поэтому различаются и функции барьерных тканей. Функциональные мессенджеры – пелотоны – содержатся в мезодерме и эктодерме, но отсутствуют в эндодерме. Образование элементов гимения в мантии грибного компонента при суберинизации эктодермы зависит, вероятно, от изменения транспортных потоков – обмена ионов в функциональных мессенджерах.

Таким образом, процессы суберинизации барьерных тканей и образование пелотонов в эктодерме и мезодерме являются физиологически важными изменениями в корневых окончаниях ели обыкновенной, влияющие на гомеостаз всей модельной системы в целом. Эндодерма регулирует интенсивность транспортных потоков, в то время как мезодерма четко реагирует на изменения условий неорганической среды. Физиологические изменения этих тканей с барьерными функциями можно рассматривать как эндогенные факторы в распространении хозяйственно важной древесной породы на территории Беларуси.

Ключевые слова: *Picea abies*, эктомикоризные грибы, механизмы суберинизации, эндодерма, эктодерма, контактный стресс.

Regulation Processes of Suberization of Fine Roots in the Model System «*Picea abies* – ectomycorrhizal fungi»

Consortium connections in the model system «*Picea abies* – ectomycorrhizal fungi» are the result of mutually controlled «contact stress», which is reflected in the suberization of mycorrhizal root end tissues. The cross-regulation of the activity of certain transporters that control the processes of barrier tissue suberization is well described in the scientific literature, but the suberin exchange under various conditions is still unexplored. The processes of suberization of the endoderm and ectoderm of the mycorrhizal root end proceed independently of each other by various mechanisms, therefore, the functions of the barrier tissues also differ. Functional messengers, pelotons, are contained in the mesoderm and ectoderm, but are absent in the endoderm. The formation of hymenium elements in the mantle of the fungal component during ectoderm suberization probably depends on the changes in ion exchange of transport flows in functional messengers. Thus, the processes of suberization of barrier tissues and the formation of pelotons in the ectoderm and mesoderm are physiologically important changes in the root endings of the spruce, affecting the homeostasis of the entire model system as a whole. The endoderm regulates the intensity of traffic flows, while the mesoderm clearly reacts to changes in the conditions of the inorganic environment. Physiological changes in these tissues with barrier functions can be considered as endogenous factors in the spread of economically important tree species in the territory of Belarus.

Key words: *Picea abies*, ectomycorrhizal fungi, suberization mechanisms, endoderm, exoderm, contact stress.

Введение

В условиях консортивных связей грибной компонент получает от растения углеводы и жирные кислоты, причем жирных кислот – до 70 % от всего объема полученных метаболитов, тогда как фитобионт получает от микобионта фосфор, воду и ряд макро- и микроэлементов [1]. Эффективность симбиоза во многом зависит от интенсивности контролируемых транспортных процессов [2]. Особое значение имеет транспорт метаболитов от растительного компонента к грибному, который сам не способен к автотрофному питанию и лимитирован в синтезе необходимых ему органических веществ.

На своем пути от периферии корня к его центру минеральные питательные вещества могут радиально транспортироваться по трем различным путям: симпластическому, апопластическому и сопряженному трансклеточному пути [3].

Симпластический путь, связанный плазмодесмами с каналами эндоплазматического ретикулума, является главным при транспортировке многих ионов [3]. Посредством плазмодесм косвенно происходит транспорт веществ из кортекса (с периферической зоны) в эндодерму [3; 4].

Метаболическое поступление ионов тяжелых металлов во внутриклеточное пространство первичной коры контролируется экспрессией специфических генов, АТФ-азной активностью, фосфорилированием, накоплением хелатных комплексов в мембранных мессенджерах. В метаболическом транспорте ионов металлов через мембраны в клетках растений принимают участие большое количество специфических белков-переносчиков, относящихся к различным семействам [5].

Апопластический путь включает транспорт сахаров через клеточную стенку, куда глюкоза поступает из цитоплазмы в результате работы транспортеров семейства SWEET (Sugars Will Eventually be Exported Transporters) [6; 7]. Транспортируемые моносахара способны ремоделировать функцию белков, необходимых для дифференциации клеток [8]. В межклеточном (апопластическом) пространстве карбоксильные группы клеточных стенок несут отрицательный заряд. Катионы легко адсорбируются на поверхности с образованием хелатных комплексов и могут далее мигрировать внутрь паренхимы [3].

Взаимосвязь транспортных путей также существует: между апопластом и симпластом происходит обмен ионами в области пор, где вторичные стенки отсутствуют [9]; разгрузка флоэмы в корневые системы осуществляется симпластически, преимущественно с участием апопластической стадии транспорта веществ. Механизмы разгрузки флоэмы изучены фрагментарно и отчасти основаны на косвенных результатах или моделировании [10].

Избирательное поглощение веществ и их транспортировка различными путями в многоклеточных организмах критически требует эпителия с внеклеточными диффузионными барьерами. У растений такой барьер обеспечивается эндодермой и ее поясками Каспари – пропитками клеточной стенки. Эндодерма подвергается вторичной дифференциации, покрываясь гидрофобным суберином, переключаясь с активно поглощающего на защитный эпителий. Суберин откладывается в качестве вторичной клеточной стенки в виде пластинок между плазматической мембраной и первичной клеточной стенкой, в конечном итоге покрывая всю поверхность эндодермы [3]. Растительные клетки, покрытые гидрофобными соединениями, представляют собой защитный барьер для контроля движения материалов через растительные ткани, контролируя апопластический, симпластический и трансклеточный пути. В корневых системах эндодерма формирует два барьера: лигнифицированные пояски Каспари, создающие апопластический барьер и субериновые ламели, препятствующие диффузии через мембрану плазмы [11]. Пищевой статус растения определяется эндодермальным опробкованием посредством дефицита питательных веществ [3].

Суберин откладывается и в экзодерме корней, выполняя барьерную защитную функцию [11]. Классически в гистохимическом и структурном отношении экзодерма тонких корней напоминает эндодерму, и факторы, которые обуславливают развитие этих тканей (причинные факторы), по-видимому, сходны. В клетках экзодермы можно наблюдать пятна Каспари, но протопласт остается живым [12]. Было показано, что в стрессовых условиях при воздействии тяжелых металлов и дефиците влаги развитие суберинных ламелей во время второй стадии экзодермального и эндодермального развития у растительных организмов в эндодерме и экзодерме по всей длине корня началось асимметрично, преимущественно ближе к кончику, со стороны, подверженной воздействию воздуха [13].

В микоризных корневых окончаниях происходят структурные изменения, связанные с передвижением воды и растворенных в ней солей от поглощающих клеток к проводящим тканям [12]. Отсутствие корневых волосков компенсируется поглощающей способностью эпидермальных клеток. Эффективность мицелия как структуры, поглощающей питательные вещества, выяснена еще недостаточно.

При различных видах консортивных взаимоотношений происходит перераспределение поступающих питательных веществ и их потоков в корневых системах, а также формирование новых симбиотических органов и структур, так называемых функциональных мессенджеров. Например, в арбускулярных микоризах формируются арбускулы, в эктомикоризах – пелотоны. В ходе развития симбиоза формируется направленный транспорт питательных веществ от фитобионта к грибному компоненту, в частности органических кислот, липидов и сахаров [4; 14].

В последнее время наблюдается большой интерес к суберину как биополимеру и к процессам его отложения на периферии клеток. Подходы к изучению механизмов суберинизации становятся все более передовыми благодаря успехам генетики, молекулярной и клеточной биологии. Результаты исследований помогли раскрыть сложную регуляцию отложения суберина в ответ на сигналы окружающей среды. Ферментативные процессы биосинтеза суберина хорошо описаны, но регуляция его обмена все еще остается неизученной [11].

Цель исследования: дать характеристику влияния процессов суберинизации первичной коры микоризного корневого окончания *Picea abies* на функционирование микоризного корневого окончания.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- выделить анатомически важные изменения в микоризном корневом окончании, влияющие на гомеостаз корневой системы *Picea abies* в различных экологических условиях;
- описать особенности формирования барьерных тканей микоризных корневых окончаний в модельной системе «*Picea abies* – эктомикоризные грибы».
- объяснить причины образования разнородных ассоциаций.

Материал и методы исследования

Материалом послужили образцы микоризных корневых окончаний *Picea abies* из морфологической группы «Simple». Время отбора проб соответствует марту, когда в напочвенном покрове в еловой ассоциации имелся неполный снежный покров. Пробы в виде почвенных паттернов отбирались стальным цилиндром на глубину примерно 15 см, а затем микоризные корневые окончания разделялись в зависимости от расположения в почвенных горизонтах и морфологических типов. Отбор проб осуществлялся в проекции крон *Picea abies* (рисунок 1).

Исследовательские работы проводились в рамках модельной системы «*Picea abies* – эктомикоризные грибы». Ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) H. Karst.) – хозяй-

ственно важная древесная порода на территории Беларуси с зональными чертами распространения, имеющая как экзогенные, хорошо изученные, так и эндогенные факторы формирования своего ареала. Беларусь как территория исследования расположена в зоне бореальных лесов с преобладанием древостоя из семейства *Pinaceae*, характеризующегося формированием эктомикориз с грибной оболочкой на своих тонких корнях [15].

В работе использовалась методика пробных площадей в еловой растительной ассоциации в естественных своих границах [16]. В расчет принималась индивидуальная консорция [17]. Пробная площадь расположена в фоновой зоне вдаль от автомобильных дорог, крупных населенных пунктов и промышленных предприятий в Витебском лесхозе Осиновского лесничества. Ельник кисличник расположен на площади 0,7 га в квартале 79 (выдел 5). Согласно таксационным материалам на момент сбора материала формула древостоя 6Е2С1Б1Ос (рисунок 2).



Рисунок 1 – Места отбора почвенных проб (паттернов)



Рисунок 2 – Пробная площадка в фоновой зоне

Отобранный на пробной площади материал разбирался и обрабатывался с использованием стационарных и экспериментальных методов анализа [16]. Для разбора по морфологическим типам применялся стереоскопический микроскоп «Альтами ПС» с камерой TourCam U3CMOS08500KPA. Анатомические срезы без окрашивания в различных типах освещения рассматривались с помощью биологического микроскопа модели № 126 «АкваЛабГруп» с камерой HDCE-X5N.

Результаты и их обсуждение

Биосинтез суберина растительным компонентом

Несколько транскрипционных факторов MYB, WRKY и NAC индуцируют экспрессию генов биосинтеза суберина. Биосинтез мономеров суберина достигается за счет ферментативного процесса с вовлечением жирных кислот и фенилпропаноидных путей. Жирные кислоты C16:0, C18:0 и C18:1 синтезируются в пластидах и экспортируются в эндоплазматический ретикулум для последующей элонгации и модификации цепей. Ароматические мономеры, такие как феруловая кислота и кумаровая кислота, синтезируются фенилпропаноидным путем. Считается, что после синтеза мономеры транспортируются в апопластическое пространство через плазматическую мембрану с помощью транспортеров АТФ-связывающих кассет (ABC) и внеклеточных везикулоканальцевых тел (EVB). Затем мономеры полимеризуются с образованием полимерной структуры суберина [11]. Возможный молекулярный механизм представлен на рисунке 3.

Биосинтез суберина грибным компонентом

Хитиназы растительного компонента расщепляют хитин и хитозан грибного компонента до мономеров N-ацетилглюкозамина с последующим присоединением к созревающим белкам эндоплазматического ретикулума в цис-зоне аппарата Гольджи. Небольшие цепи N-ацетилглюкозамина (до восьми звеньев) не воспринимаются растительным компонентом как элиситоры и не вызывают каскада защитных реакций у растительного компонента [18; 19]. Малые цепи соединений белка с N-ацетилглюкозамином транспортируются везикулами в цитоплазматическую мембрану, где в результате экзоцитоза везикулы высвобождают свое содержимое в межклеточное пространство, сливаясь с цитоплазматической мембраной [20]. N-ацетилглюкозамин встраивается между полисахаридами клеточной стенки, тем самым меняя ее архитектуру, стимулируя одновременно образование боковых корней из перицикла [21]. Элиситоры микобионта (N-ацетилглюкозамин) вызывают каскад ионов через плазматическую мембрану, тем самым влияя на процесс суберинизации [22]. Возможный молекулярный механизм представлен на рисунке 4.

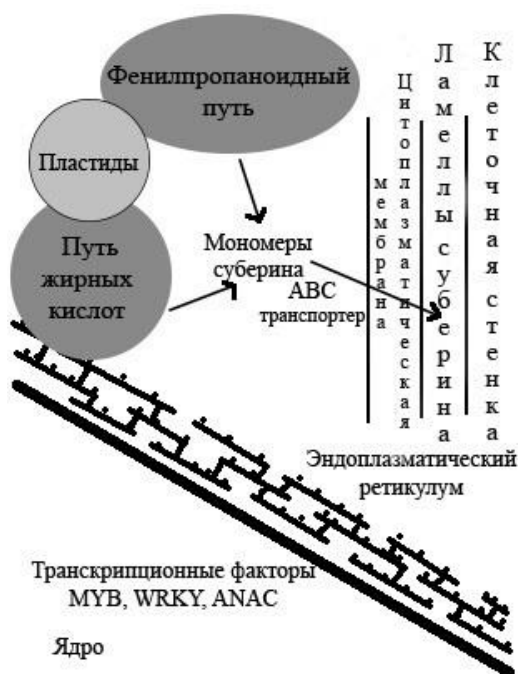


Рисунок 3 – Возможная схема биосинтеза суберина растительным компонентом [11]

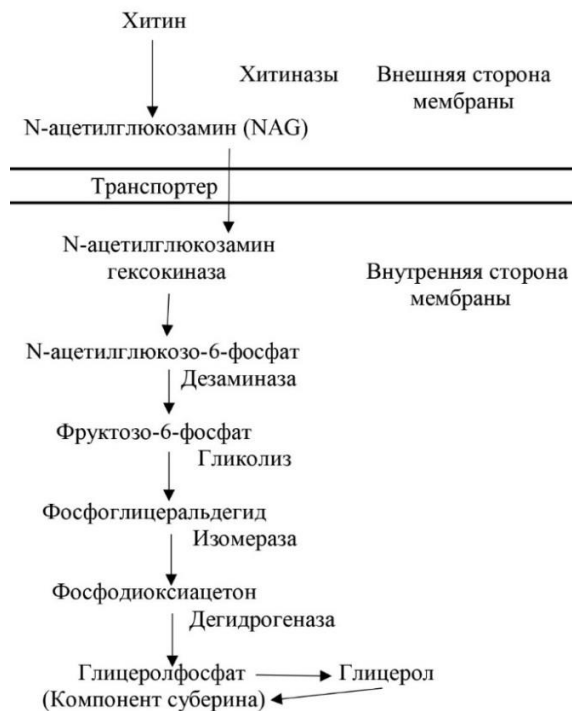


Рисунок 4 – Возможная схема образования компонентов суберина из N-ацетилглюкозамина при участии грибного компонента [22]

Хитиновые элиситоры грибного компонента (N-ацетилглюкозамин (NAG), более восьми звеньев), соединяясь с полисахаридами клеточной стенки растительного компонента индуцируют каскад защитных реакций: вывод и поступление ионов через комплекс мембран. Хитиназы фитобионта постоянно переводят N-ацетилглюкозамин (NAG) в неактивное состояние: в олигомеры до восьми звеньев, которые уже не могут индуцировать каскад обмена ионов через мембрану. Эти два непрерывных процесса находятся в динамическом равновесии и являются причиной взаимоконтролируемого «контактного стресса».



Рисунок 5 – Образец № 140-29-03-2019

Морфологическое строение микоризного корневого окончания *Picea abies* из морфогруппы «Simple».

Примечание: красной стрелкой указано микоризное корневое окончание, использованное для изучения анатомии поперечного среза, изображенного на рисунке 4.

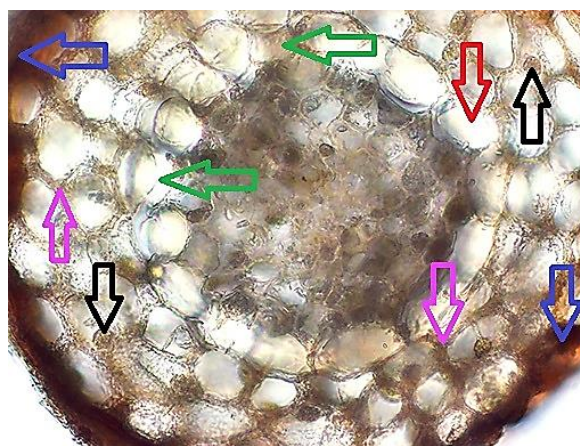


Рисунок 6 – Образец № 140-29-03-2019

Анатомическое строение поперечного среза микоризного корневого окончания *Picea abies* из морфогруппы «Simple» (режим Sharpness).

Примечание: красная стрелка – эндодерма; черная стрелка – функциональная единица «пелотон»; зеленая стрелка – пропускные клетки; лиловая стрелка – апопластное пространство с грибным компонентом; синяя стрелка – экзодерма.

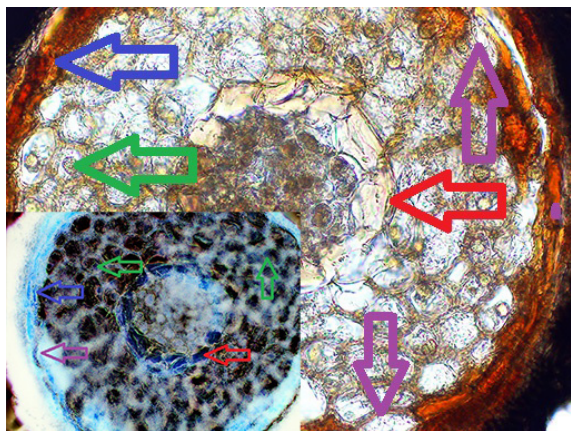


Рисунок 7 – Образец № 140-29-03-2019

Анатомическое строение поперечного среза микоризного корневого окончания *Picea abies* из морфологической группы «Simple» (режимы Sharpness, Negative).

Примечание: красная стрелка – эндодерма; зеленая стрелка – функциональная единица пелотон; синяя стрелка – экзодерма; лиловая стрелка – пропускные клетки.

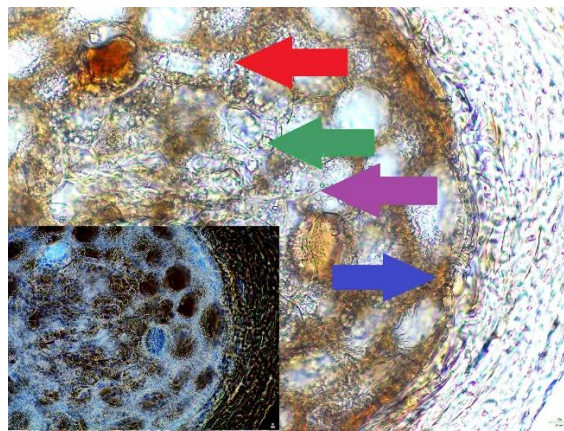


Рисунок 8 – Образец № 140-29-03-2019

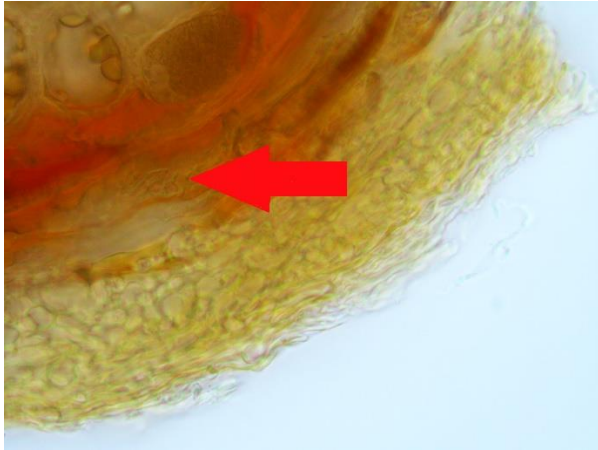


Рисунок 9 – Образец № 20-29-06-2016
Функциональные мессенджеры (пелотоны)
в клетках экзодермы.

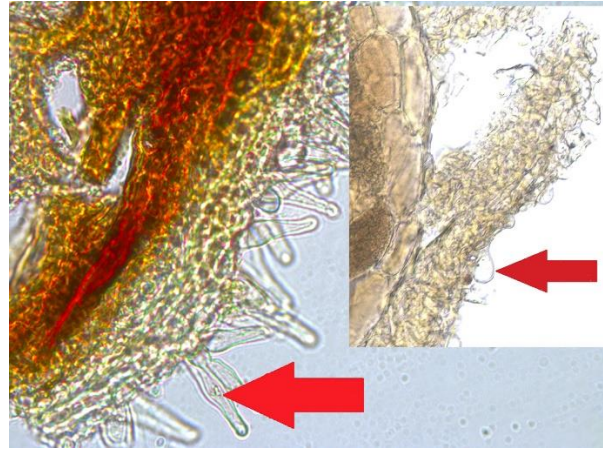


Рисунок 10 – Образцы № 01-05-10-2014
(слева), № 11-07-10-2016 (справа)
Элементы гимениального слоя в мантии
грибного компонента при сильной
суберинизации экзодермы.

При колебаниях температуры происходят изменения в анатомии и морфологии микоризных корневых окончаний в модельной системе «*Picea abies* – эктомикоризные грибы». Трансформируются ткани с барьерными функциями, что меняет потоки радиального транспорта веществ с формированием и деградацией функциональных мессенджеров (пелотонов). Изменяются структура и толщина мантии грибного компонента (рисунки 6–8). Образуются структуры гимениального слоя и мицелиальные тяжи (рисунок 10). В зимний период жизненного цикла *Picea abies* меняются морфологические структуры микоризных корневых окончаний с появлением так называемых «черных микориз» (рисунок 5).

Эндодерма со своими пропускными клетками сначала подвергается в различной степени суберинизации, а затем лигнификации (рисунки 6–8). Это отражается на внешней архитектонике всей корневой системы растительного компонента, она становится анизоморфно-поверхностной после ювенильного периода. В эндодерме нет функциональных мессенджеров пелотонов и грибной компонент проникает сквозь пропускные клетки из апопластного пространства в стелу (рисунки 6–8). Молекулярный механизм регуляции процессов суберинизации и десуберинизации контролируется, скорее всего, растительным компонентом. Эндодермальные клетки не оплетены гифальными структурами (рисунки 6–8).

Экзодерма, выполняющая защитную функцию, оплетена грибным компонентом и содержит функциональные мессенджеры пелотоны (рисунок 9). Через несуберинизированные клетки гифальные структуры образуют мантию различного строения и объемной структуры (рисунки 6–8). При усиленной суберинизации образуются структуры гимениального слоя с мицелиальными тяжами (рисунок 10).

Мезодерма почти всегда высоко функциональна, с большим количеством пелотонов и умеренной суберинизацией независимо от степени опробковения эндодермы и экзодермы (рисунки 6–8).

В неблагоприятный период (в нашем случае – ранняя весна с неполным снежным напочвенным покровом) экзодерма почти всегда высоко суберинизирована, что придает соответствующий оттенок «черным микоризам». При этом лигнификация и затем суберинизация эндодермы происходят независимо от опробковения экзодермы и в основном зависит от пищевого статуса растительного компонента в данный момент времени (рисунки 6–8).

Различные механизмы суберинизации и десуберинизации эндодермы и экзодермы растительного компонента формируют общую структуру контроля всей его функциональной системы при колебаниях температуры.

Физиологическая роль экзодермы как защитного барьера при колебаниях температуры в микоризном корневом окончании многократно возрастает. Если от эндодермы зависят транспортные потоки питательных веществ между стелой и первичной корой, то экзодерма с функциональными мессенджерами грибного компонента (пелотоны, мицелиальные тяжи, гифальные клубки) обеспечивает физиологический контроль взаимосвязи микоризного корневого окончания с почвенной средой с ее быстро меняющимися биотическими и абиотическими свойствами.

Заключение

Анатомически важными изменениями в строении микоризного корневого окончания *Picea abies* являются процессы суберинизации и лигнификации тканей, выполняющих барьерную функцию. Основной пищевой статус растительного компонента контролируют изменения в строении эндодермы. Изменения в экзодерме формируют защитный механизм в ответ на изменения температуры. Функциональные мессенджеры – пелотоны – являются структурами в мезодерме и экзодерме, определяющими основные особенности консортивных связей растительного и грибного компонентов в природе.

Механизмы анатомических изменений тканей с барьерными функциями в микоризном корневом окончании ели обыкновенной, скорее всего, контролируются различными компонентами системы. Процессы лигнификации и затем суберинизации контролируются растительным компонентом, а опробкование экзодермы – грибным компонентом. Это позволяет тонким корням *Picea abies* оставаться функционально активными при наступлении неблагоприятных условий окружающей среды.

Ассоциации разнородных организмов в модельной системе «*Picea abies* – эктомикоризные грибы» являются результатом взаимно контролируемого «контактного стресса», приводящего к возникновению новых функций, расширяющих экологические амплитуды организмов как грибного, так и растительного компонентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Luginbuehl, L. H. Understanding the arbuscule at the heart of endomycorrhizal symbioses in plants / L. H. Luginbuehl, G. E. D Oldroyd // Current Biology. – 2017. – Vol. 27 (17). – P. R952– R963. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.042>.
2. Юрков, А. П. Молекулярно-генетические механизмы транспорта сахаров у растений в отсутствие и при развитии арбускулярной микоризы / А. П. Юрков, А. А. Крюков, А. О. Горбунова, и др. // Экологическая генетика. – 2019. – Т. 17. – № 1. – С. 81–99. <https://doi.org/10.17816/ecogen17181-99>.
3. Barberon, M. Adaptation of root function by nutrient-induced plasticity of endodermal differentiation / M. Barberon, J. E. M. Vermeer, D. De Bellis et al. // Cell. – 2016. – 164. – P. 447–459.
4. Wang, W. Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis / W. Wang, J. Shi, Q. Xie, et al. // Molecular Plant. – 2017. – Vol. 10(9). – P. 1147–1158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.07.012>.
5. Колмаков, П. Ю. Обмен тяжелых металлов в микоризном корневом окончании системы «*Picea abies* – эктомикоризные грибы» / П. Ю. Колмаков, Д. Д. Жерносеков // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – Гомель, 2024. – № 3 (144). – С. 39–45.

6. Ludewig, F. Role of metabolite transporters in source-sink carbon allocation / F. Ludewig, U.I. Flügge // *Front Plant Science*. – 2013. – Vol. 4. – 231 p. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00231>.
7. Chardon, F. Leaf fructose content is controlled by the vacuolar transporter SWEET17 in *Arabidopsis* / F. Chardon, M. Bedu, F. Calenge, et al. // *Current Biology*. – 2013. – Vol. 23(8). – P. 697–702. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.03.021>.
8. Miao, W. Glucose dissociates DDX21 dimers to regulate mRNA splicing and tissue differentiation / W. Miao, D.F. Porter, V. Lopes-Pajares, Z. Siprashvili et al. // *Cell*. – 2023. – Vol. 186. – P. 80–97.
9. Ближний транспорт [Электронный ресурс] / Studme.org. 2024. – Режим доступа: https://studme.org/292625/ekologiya/blizhniy_transport. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
10. Milne, R.J. Mechanisms of phloem unloading: shaped by cellular pathways, their conductances and sink function / R.J. Milne, C.P. Grof, J.W. Patrick // *Current Opinion Plant Biology*. – 2018. – Vol. 43. – P. 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.11.003>.
11. Shukla, V. Building and breaking of a barrier: Suberin plasticity and function in the endodermis / V. Shukla, M. Barberon // *Plant Biology*. – 2021. – Vol. 64:102153. – P. 1–7.
12. Эсау, К. Анатомия растений / К. Эсау. – Москва : Мир, 1969. – 568 с.
13. Líška, D. / Asymmetrical development of root endodermis and exodermis in reaction to abiotic stresses // D. Líška, M. Martinka, J. Kohanová, A. Lux // *Annals of Botany*. – 2016. – Vol. 118. – P. 667–674. DOI: [doi:10.1093/aob/mcw047](https://doi.org/10.1093/aob/mcw047), available online at www.aob.oxfordjournals.org.
14. Hennion, N. Sugars end route to the roots. Transport, metabolism and storage within plant roots and towards microorganisms of the rhizosphere / N. Hennion, M. Durand, C. Vriet, et al. // *Physiology Plant*. – 2019. – Vol. 165(1). – P. 44–57. <https://doi.org/10.1111/ppl.12751>.
15. Read, D. Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes / D. Read, J. Leake, O. Peres-Moreno // *Canadian Journal of Botany*. – 2004. – Vol. 82, № 8. – P. 1243–1263.
16. Бурова, Л. Г. Экология грибов макромицетов / Л. Г. Бурова – Москва : Наука, 1986. – 221 с.
17. Беклемишев, В. Н. О классификации биоценологических (симфизиологических) связей // Бюлльень московского общества испытателей природы, отделение биологии. – 1951. – Т. 56, Вып. 5. – С. 3–30.
18. Martin, F. Developmental cross talking in the ectomycorrhizal symbiosis: signals and communication genes / F. Martin, S. Duplessis, F. Ditengou et al. // *New Phytologist*. – 2001. – Vol. 151. – P. 145–154.
19. Liu, T. Chitin-induced dimerization activates a plant immune receptor / T. Liu, Z. Liu, Ch. Song et al. // *Science*. – 2012. – Vol. 336 (6085). – P. 1160–1164.
20. Устройство и функционирование эндоплазматического ретикулума и Аппарата Гольджи [Электронный ресурс] / Химический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова. 2023. – Режим доступа: <https://www.chem.msu.ru/rus/teaching/kolman/224.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
21. Kumpf, R. P. Floral organ abscission peptide IDA and its HAE/HSL2 receptors control cell separation during lateral root emergence / R. P. Kumpf, S. Chun-Lin, A. Larrieu et al. // *Biological Sciences*. – USA: PNAS, 2013. – Vol. 110 (13). – P. 5235–5240.
22. Колмаков, П. Ю. Процесс суберинизации и обмен N-ацетилглюкозамина в консортивных взаимоотношениях «*Picea abies* – эктомикоризные грибы» / П. Ю. Колмаков, Д. Д. Жерносеков // *Веснік Магілёўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. А. Куляшова. Серыя В. Прыродазнаўчыя навукі: матэматыка, фізіка, біялогія (біялагічныя; фізіка-матэматычныя)*. – 2024. – № 2 (64). – С. 49–56.

REFERENCES

1. Luginbuehl, L. H. Understanding the arbuscule at the heart of endomycorrhizal symbioses in plants / L. H. Luginbuehl, G.E.D Oldroyd // *Current Biology*. – 2017. – Vol. 27 (17). – P. R952–R963. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.042>.
2. Yurkov, A.P. Molekulyarno-geneticheskiye mekhanizmy transporta sakharov u rasteniy v otsutstviye i pri razvitii arbuskulyarnoy mikorizy / A. P. Yurkov, A. A. Kryukov, A. O. Gorbunova, i dr. // *Ekologicheskaya genetika*. – 2019. – T. 17. – № 1. – S. 81–99.
3. Barberon, M. Adaptation of root function by nutrient-induced plasticity of endodermal differentiation / M. Barberon, J. E. M. Vermeer, D. De Bellis et al. // *Cell*. – 2016. – 164. – P. 447–459.
4. Wang, W. Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis / W. Wang, J. Shi, Q. Xie, et al. // *Molecular Plant*. – 2017. – Vol. 10(9). – P. 1147–1158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.07.012>.
5. Kolmakov, P.Yu. Obmen tyazhelykh metallov v mikoriznom kornevom okonchaniі sistemy «*Picea abies* – ektomikoriznyye griby» / P. YU. Kolmakov, D. D. Zhernosekov // *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny*. – Gomel', 2024.
6. Ludewig, F. Role of metabolite transporters in source-sink carbon allocation / F. Ludewig, U.I. Flügge // *Front Plant Science*. – 2013. – Vol. 4. – 231 p. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00231>.
7. Chardon, F. Leaf fructose content is controlled by the vacuolar transporter SWEET17 in *Arabidopsis* / F. Chardon, M. Bedu, F. Calenge, et al. // *Current Biology*. – 2013. – Vol. 23(8). – P. 697–702. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.03.021>.
8. Miao, W. Glucose dissociates DDX21 dimers to regulate mRNK splicing and tissue differentiation / W. Miao, D.F. Porter, V. Lopes-Pajares, Z. Siprashvili et al. // *Cell*. – 2023. – Vol. 186. – P. 80–97.
9. Blizhniy transport [Elektronnyy resurs] / Studme.org. 2024. – Rezhim dostupa: https://studme.org/292625/ekologiya/blizhniy_transport. – Zagl. s ekrana. – Yaz. rus.
10. Milne, R.J. Mechanisms of phloem unloading: shaped by cellular pathways, their conductances and sink function / R.J. Milne, C.P. Grof, J.W. Patrick // *Current Opinion Plant Biology*. – 2018. – Vol. 43. – P. 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.11.003>.
11. Shukla, V. Building and breaking of a barrier: Suberin plasticity and function in the endodermis / V. Shukla, M. Barberon // *Plant Biology*. – 2021. – Vol. 64:102153. – P. 1–7.
12. Esau, K. *Anatomiya rasteniy* / K. Esau. – Moskva : Mir, 1969. – 568 s.
13. Líška, D. / Asymmetrical development of root endodermis and exodermis in reaction to abiotic stresses // D. Líška, M. Martinka, J. Kohanová, A. Lux // *Annals of Botany*. – 2016. – Vol. 118. – P. 667–674. DOI: 10.1093/aob/mcw047, available online at www.aob.oxfordjournals.org.
14. Hennion, N. Sugars end route to the roots. Transport, metabolism and storage within plant roots and towards microorganisms of the rhizosphere / N. Hennion, M. Durand, C. Vriet, et al. // *Physiology Plant*. – 2019. – Vol. 165(1). – P. 44–57. <https://doi.org/10.1111/ppl.12751>.
15. Read, D. Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes / D. Read, J. Leake, O. Peres-Moreno // *Canadian Journal of Botany*. – 2004. – Vol. 82, № 8. – P. 1243–1263.
16. Burova, L. G. *Ekologiya gribov makromicetov* / L. G. Burova. – M. : Nauka, 1986. – 215 s.
17. Beklemishev, V. N. O klassifikatsii biotsenologicheskikh (simfiziologicheskikh) svyazey // *Byullen' moskovskogo obshchestva ispytateley prirody, otdeleniye biologii*. – 1951. – T. 56, Vyp. 5. – S. 3–30.

18. Martin, F. Developmental cross talking in the ectomycorrhizal symbiosis: signals and communication genes / F. Martin, S. Duplessis, F. Ditengou et al. // *New Phytologist*. – 2001. – Vol. 151. – P. 145–154.
19. Liu, T. Chitin-induced dimerization activates a plant immune receptor / T. Liu, Z. Liu, Ch. Song et al. // *Science*. – 2012. – Vol. 336 (6085). – P. 1160–1164.
20. Ustroystvo i funktsionirovaniye endoplazmaticheskogo retikuluma i Apparata Gol'dzhi [Elektronnyy resurs] / Khimicheskiiy fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova. 2023. – Rezhim dostupa: <https://www.chem.msu.ru/rus/teaching/kolman/224.htm>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana. – Yaz. rus.
21. Kumpf, R.P. Floral organ abscission peptide IDA and its HAE/HSL2 receptors control cell separation during lateral root emergence / R. P. Kumpf, S. Chun-Lin, A. Larrieu et al. // *Biological Sciences*. – USA: PNAS, 2013. – Vol. 110 (13). – P. 5235–5240.
22. Kolmakov, P.Yu. Protsess suberinizatsii i obmen N-atsetilglyukozamina v konsortivnykh vzaimootnosheniyakh «Picea abies – ektomikoriznyye griby» / P. Yu. Kolmakov, D. D. Zhernosekov // *Vesnik Magilóyskaga dzyarzhaynaga universiteta imya A.A. Kulyashova. Seryya V. Pryrodaznaŭchyia navuki: matematyka, fizika, biyalogiya (biologicheskiye; fiziko-matematicheskiye)*. – 2024. – № 2 (64). – S. 49–56.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 19.03.2025

УДК 58.085

DOI 10.63874/2218-0311-2025-1-77-86

**Светлана Михайловна Ленивко¹, Оксана Александровна Демидович², Юрий Федорович Рой³,
Ирина Даниловна Лукьянчик⁴, Нонна Степановна Ступень⁵**

^{1,3}канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²магистрант 2-го курса факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

⁴канд. с.-х. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

⁵канд. техн. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Svetlana Lenivko¹, Oksana Demidovich², Yuri Roy³, Irina Lukyanchik⁴, Nonna Stupen⁵

^{1,3}Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department
of Biological and Chemical Technologies of Brest State A. S. Pushkin University

²2-th Year Master's Student of the Faculty of Natural Sciences

of Brest State A. S. Pushkin University

⁴Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department
of Biological and Chemical Technologies of Brest State A. S. Pushkin University

⁵Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department
of Biological and Chemical Technologies of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: lenivko73@mail.ru

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ МИКРОКЛОНОВ АКТИНИДИИ СОРТА ГИБРИДНАЯ КОЛБАСИНОЙ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO* И *EX VITRO*

Проведенная комплексная оценка микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной показала, что в условиях *in vitro* микропобеги необходимой величины быстрее формируются на питательной среде, включающей гормон 6-бензиламинопурина в концентрации 0,5 мг/л и содержащей фруктозу в полном объеме. Листья этих побегов после адаптации к условиям открытого грунта также отличались наибольшим содержанием фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*). Однако микроклоны с безгормональных питательных сред лучше адаптируются к условиям *ex vitro* вследствие более ранней закладки перидермы.

Ключевые слова: актинидия, сорт Гибридная Колбасиной, *Actinidia Lindl.*, микроклон.

Comprehensive Assessment of the Development of Microclones of *Actinidia* of the cultivar «Hybrid Kolbasina» in *vitro* and *ex vitro* Conditions

A comprehensive assessment of actinidia microclones of the Hybrid Kolbasina cultivar showed that, under *in vitro* conditions, microshoots of the required size are formed more quickly on a nutrient medium containing the hormone 6-benzylaminopurine at a concentration of 0,5 mg/l and containing fructose in full. The leaves of these shoots, after adaptation to open ground conditions, also had the highest content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and *b*). However, microclones from hormone-free nutrient media adapt better to *ex vitro* conditions due to earlier formation of the periderm.

Key words: actinidia, cultivar Hybrid Kolbasina, *Actinidia Lindl.*, microclone.

Введение

Представители рода Актинидия (*Actinidia Lindl.*) в настоящее время относятся к малораспространенным ягодным культурам, однако отличаются, с одной стороны, высоким содержанием природных антиоксидантов и биологически активных веществ, с другой – привлекательными декоративными характеристиками, приятными вкусовыми качествами. Несмотря на многолетний опыт выращивания актинидии в южных широтах, остается недостаточно изученным уровень ее адаптивного потенциала при расширении ареала распространения. Формирующиеся агроклиматические условия в юго-западном регионе Белорусского Полесья, характеризующиеся короткой и теплой для

Беларуси зимой, а также самым продолжительным летом [1; 2], позволяют прогнозировать рентабельность выращивания здесь актинидии.

В Республике Беларусь базовая коллекция актинидии находится в отделе ягодных культур РУП «Институт плодоводства» НАНБ и в настоящее время представлена тремя зимостойкими видами (из более 40 видов, произрастающих в мире) (*A. kolomikta*, *A. arguta* и *A. polygama*), а также рядом сортов (Ласунка, Киевская крупноплодная, Превосходная и др.) [3]. Также на базе отдела биотехнологии института плодоводства наряду с традиционными способами размножения начата разработка технологии микрореклонирования актинидии [4]. Опубликованы результаты только по адаптации мужских форм актинидии (*Actinidia* Lindl.) *ex vitro*, оценено влияние их генотипа на морфологические показатели укорененных *in vitro* растений-регенерантов на субстрате торф + агроперлит (3 : 1) [5]. Несомненно, что это указывает на необходимость расширения исследований по разработке и отбору наиболее эффективных и экономически менее затратных подходов как микроразмножения, так и дальнейшей адаптации растений-регенерантов актинидии на нестерильных средах с учетом сортовых особенностей.

В связи с этим нами проведена комплексная оценка развития микроклонов женских растений актинидии сорта Гибридная Колбасиной гибридного происхождения (*A. arguta* × *A. purpurea*), характеризующегося крупными сладкими плодами сливового цвета с ананасным ароматом [6; 7], в условиях *in vitro* и *ex vitro*.

Материалы и методы

На первом этапе исследования оценено развитие микрочеренков на питательных средах (ПС) Мурасиге и Скуга с половинным составом минеральных солей ($\frac{1}{2}$ MS) в различных модификациях: с полным и половинным составом фруктозы в отсутствии или присутствии 6-бензиламинопурина в концентрации 0,5 мг/л (0,5 БАП):

- 1-й тип ПС – $\frac{1}{2}$ MS + 0,5 БАП + $\frac{1}{2}$ фруктоза;
- 2-й тип ПС – $\frac{1}{2}$ MS + 0,5 БАП + фруктоза;
- 3-й тип ПС – $\frac{1}{2}$ MS + $\frac{1}{2}$ фруктоза;
- 4-й тип ПС – $\frac{1}{2}$ MS + фруктоза.

Культивирование микрочеренков осуществляли при температуре 20–22°C при освещении люминисцентными лампами интенсивностью около 3000 люкс, 16-часовом фотопериоде в течение двух месяцев.

На втором этапе исследования оценено анатомическое строение сформированных в условиях *in vitro* корнесобственных растений-регенерантов актинидии сорта Гибридная Колбасиной. Для анатомических исследований в смеси спирта и глицерина были зафиксированы стебли и корни средней части. Из них, по общепринятой в анатомии растений методике (Прозина М. Н., 1960), были сделаны макро- и микросрезы, изготовлены постоянные препараты, на которых и проводились исследования. Для исследования анатомической структуры листа, листового черешка и частично корня срезы делались от руки лезвием безопасной бритвы и фиксировались в глицерине.

На третьем этапе исследования осуществлен перевод сформированных корнесобственных микроклонов в условия *ex vitro* в летне-осенний период 2024 г. в субстрат с оптимальными характеристиками. В качестве субстрата использовали смесь торфа «Двина» с агроперлитом в соотношении 3 : 1. Длительность первого этапа адаптации – 70 дней. Критерии оценки: количество побегов от корня; длина максимально длинного побега; количество узлов на самом длинном побеге; суммарная длина побегов на 1 растении; средняя длина побегов на 1 растении; длина центральной жилки листа и ширина шести верхушечных листьев на 1 растении.

На четвертом этапе исследования осуществлен контроль фотосинтетических пигментов у адаптированных микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной

в условиях открытого грунта. Для определения содержания фотосинтетических пигментов использовали спектрофотометрический метод. Навески свежего растительного материала (30 мг) в трех повторностях помещали в пробирку с 20 мл растворителя (80 % раствор ацетона) и настаивали в холодильнике +4 С в течение 2 суток. Затем вытяжку центрифугировали. Для расчета хлорофилла *a* и хлорофилла *b* определяли оптическую плотность экстракта при трех длинах волн: $\lambda = 663, 646, 470$ нм. Содержание суммы каротиноидов определяют в этой же вытяжке, измеряя величину оптической плотности (D) при длине волны 440,4 нм.

Концентрацию хлорофиллов (*a* и *b*) в пробах вычисляли по следующим формулам (Lichtenthaler, 1987):

$$Ca = 12,21 D_{665} - 2,81 D_{646}$$

$$Cb = 20,13 D_{646} - 3,03 D_{663}$$

Содержание пигментов (мг) на грамм сухой массы листьев рассчитывали по формуле:

$$A = V \cdot C / 1000 \cdot P,$$

где C – концентрация пигмента (мг/л), V – объем вытяжки, P – навеска зеленой массы.

Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми статистическими методами с помощью с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования стояла задача оценить различия по динамике роста верхушечных и срединных микропобегов в зависимости от типа питательной среды и продолжительности культивирования. Полученные данные представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Динамика роста верхушечных микропобегов актинидии сорта Гибридная Колбасиной в условиях *in vitro*

Сутки	Высота, см			
	1-й тип ПС	2-й тип ПС	3-й тип ПС	4-й тип ПС
0-е	1,60 ± 0,38	1,16 ± 0,24	1,40 ± 0,24	1,25 ± 0,23
7-е	1,50 ± 0,37	1,40 ± 0,25	1,48 ± 0,22	1,55 ± 0,12
14-е	1,88 ± 0,22	1,54 ± 0,22	1,70 ± 0,27	1,80 ± 0,20
21-е	1,95 ± 0,21	1,66 ± 0,15	2,38 ± 0,40	2,65 ± 0,28
30-е	2,00 ± 0,17	2,52 ± 0,34	3,23 ± 0,46	3,58 ± 0,36
60-е	5,13 ± 0,53*	5,50 ± 0,4*,3,4	4,30 ± 0,51 ²	4,65 ± 0,19*,2

Примечание – * – достоверно с предыдущими сутками при $P \leq 0,05$;

^{1,2,3,4} – достоверно при попарном сравнении высоты микропобегов на различных типах питательных сред при $P \leq 0,05$.

Таблица 2 – Динамика роста срединных микропобегов актинидии сорта Гибридная Колбасиной в условиях *in vitro*

Сутки	Высота, см			
	1-й тип ПС	2-й тип ПС	3-й тип ПС	4-й тип ПС
0-е	1,58 ± 0,30	1,48 ± 0,18	1,54 ± 0,14 ⁴	1,34 ± 0,19 ³
7-е	1,58 ± 0,30	1,50 ± 0,19	1,54 ± 0,14	1,40 ± 0,17
14-е	1,70 ± 0,27	1,62 ± 0,18	1,82 ± 0,19	1,58 ± 0,25
21-е	2,20 ± 0,40	1,80 ± 0,13	2,54 ± 0,21	2,42 ± 0,25
30-е	3,05 ± 0,61	2,22 ± 0,24	3,46 ± 0,16*	3,26 ± 0,30
60-е	4,83 ± 0,64	5,40 ± 0,47* ³	4,72 ± 0,21* ²	4,62 ± 0,51

Примечание – * – достоверно с предыдущими сутками при $P \leq 0,05$;

^{1,2,3,4} – достоверно при попарном сравнении высоты микропобегов на различных типах питательных сред при $P \leq 0,05$.

Полученные данные показали, что только на 60-е сутки эксперимента микропобеги достигли достаточной длины для адаптации их к условиям *ex vitro*. Наибольший рост верхушечные и срединные микропобеги продемонстрировали на 2-м типе ПС. При этом размеры верхушечных побегов, культивируемых на 2-м типе ПС, достоверно превосходили размеры побегов на 3-м и 4-м типах ПС. Достоверно значимые различия по высоте среди срединных побегов наблюдались только между 2-м и 3-м типами ПС.

Ранжирование роста верхушечных микропобегов позволило составить следующий ряд эффективности питательных сред: 2-й тип ПС > 1-й тип ПС > 4-й тип ПС > 3-й тип ПС. Ряд эффективности питательных сред для культивирования срединных побегов отличался лишь последними вариантами: 2-й тип ПС > 1-й тип ПС > 3-й тип ПС > 4-й тип ПС. По сравнению со 2-м типом ПС высота верхушечных и срединных микропобегов на самом бюджетном 3-м типе ПС была достоверно ниже на 1,2 и 0,68 см соответственно. Проведенный дисперсионный анализ в системе «тип среды – тип микропобега» подтвердил большее влияние на рост микропобегов типа питательной среды, чем типа пассированных микрочеренков.

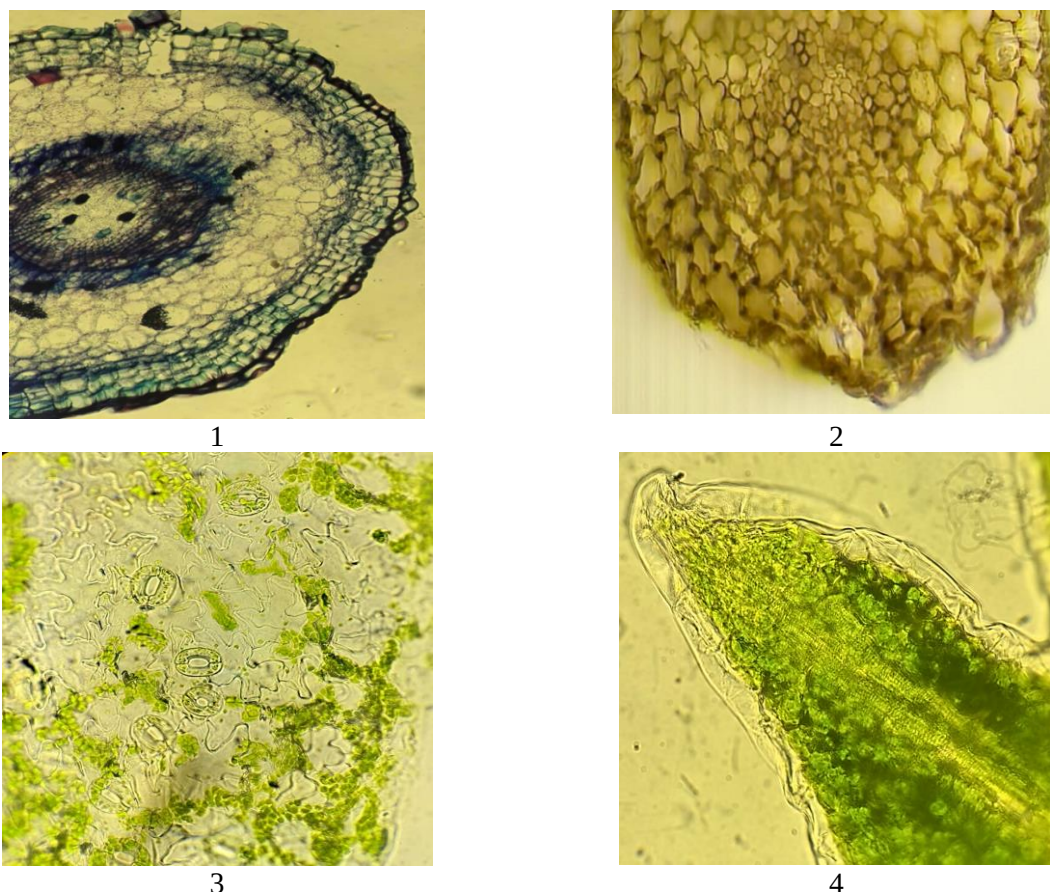
Реализуемая задача второго этапа исследования заключалась в анализе анатомической структуры вегетативных органов микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной сформированных в условиях *in vitro* на 3-м типе ПС.

Анализ препаратов (рисунок 1) показал, что общая топография тканей исследуемого сорта актинидии не отличается от таковой у растений, сформированных в условиях естественной среды.

Кора сформированных стеблей состоит из еще живой эпидермы, формирующейся перидермы, колленхимы, паренхимы первичной коры, периваскулярных волокон, первичной и вторичной флоэмы, камбия, вторичной и первичной ксилемы и сердцевины. Ширина коры достигает 450 мкм.

Эпидерма сложена одним слоем клеток. Оболочка клеток равномерно утолщена. На поперечном сечении клетки квадратной или прямоугольной формы. Кутикула слабо развита. Трихомы и устьица отсутствуют. Клетки, несмотря на небольшой срок функционирования, находятся в стадии отмирания и заменяются перидермой.

Перидерма имеет ширину до 120 мкм, клетки ее еще не деформированы, квадратной и прямоугольной формы. Радиальный размер клеток феллемы достигает 25–30 мкм, осевой размер в 3 раза больше. Феллема гомогенная, только тонкостенная. Феллоген однослойный. Феллодерма 1–2 слойная.



1 – однолетний стебель на поперечном срезе; 2 – поперечный срез корня в зоне проведения;
3 – эпидерма нижней стороны листа; 4 – край листовой пластинки

Рисунок 1 – Анатомическая структура вегетативных органов микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной, сформированных в условиях *in vitro*

Колленхима сложена 1–2 слоями клеток овальной формы на поперечном сечении и прямоугольной на продольном с незначительно утолщенными оболочками. Их радиальные размеры в 2,5–3 раза меньше клеток первичной коры.

Паренхима первичной коры сложена 3–4 слоями клеток овальной и округлой формы. Размеры клеток варьируют от 30 до 50 мкм в диаметре. Клетки плотно сложены, гетерогенные.

Периваскулярные волокна только начинают формироваться, образуя отдельные группы клеток с еще не утолщенными оболочками.

Первичная и вторичная флоэма сильно паренхиматезирована, ее клетки, как и клетки только закладывающейся вторичной флоэмы, не деформированы, овальной формы, с тонкими оболочками.

Лучевая паренхима слабо развита.

Камбий представлен одним слоем тонкостенных клеток расположенных кольцом.

Вторичная ксилема представлена 4–5 слоями трахеид, иногда чередующихся с сосудами. Элементы вторичной ксилемы сложены ровными рядами плотносложенных клеток прямоугольной формы, несколько уплощенных в радиальном направлении. Их диаметр в среднем составляет 20–25 мкм.

Первичная ксилема представлена 3 слоями клеток, диаметр которых уменьшается в сторону сердцевины. Расположение элементов первичной ксилемы по кольцу указывает на то что стебель формировался на основе прокамбиального кольца.

В центре располагается крупноклетная *сердцевина*, клетки которой похожи на клетки первичной коры. Между сердцевинной и первичной ксилемой располагаются 2–3 слоя клеток *перимедуллярной зоны*, клетки которой имеют меньший диаметр и овальную форму по сравнению с клетками сердцевинны.

На поперечном срезе корня топография тканей схожа с таковой у других видов древесных на ранних этапах развития. С периферии корень в зоне проведения покрыт мертвыми клетками ризодермы или эпиблемы. Под которой располагается мощный слой, образованный 5 слоями изодиаметрических клеток первичной коры общей шириной около 300 мкм. Слой клеток эндодермы не имеет явных отличий в размерах клеток. Эти клетки четко различимы по поясам Каспари. Напротив лучей ксилемы можно заметить пропускные клетки эндодермы. Под эндодермой располагается перицикл, образованный уплощенными в радиальном направлении клетками. В центре находится первичная ксилема, расположенная тремя лучами клеток по 3 в ряд, идущими от центра, между лучами ксилемы располагаются пучки первичной флоэмы.

Эпидерма листа образована основными клетками эпидермы и клетками устьичного аппарата. Основные клетки неправильной формы, имеют извилистые очертания. Их диаметр варьирует от 30 до 40 мкм, толщина стенок около 3 мкм, хлоропласты отсутствуют. Устьичный аппарат аномоцитного типа, хорошо видно, что околоустьичные клетки не отличаются от основных клеток эпидермы. Замыкающие клетки устьиц бобовидной формы, содержат хлоропласты, их длина – 60 мкм, а ширина – 20–25 мкм. Толщина наружной стенки замыкающих клеток – 4 мкм, а внутренних – 9 мкм. Количество устьиц в поле зрения при объективе $\times 10$ составляет 75–80 штук. Снаружи эпидерма покрыта кутикулой толщиной около 10 мкм.

Проводящие пучки листа доходят почти до края листовой пластинки. На рисунке 4 хорошо заметны спиральные утолщения трахеальных элементов проводящих пучков жилок. Клетки губчатого мезофилла неправильной формы, рыхло сложены. Клетки столбчатого плотно сомкнуты, расположены одним слоем. Все клетки мезофилла содержат хлоропласты, занимающие почти все их внутреннее пространство. Многие клетки мезофилла содержат кристаллы оксалата кальция игольчатой формы – рафиды.

Черешок листа на поперечном срезе имеет подковообразную форму (рисунок 2). Снаружи покрыт однослойной эпидермой, клетки которой плотно сомкнуты и по внешней стороне образуют городчатой формы край, их диаметр 60–70 мкм. Оболочки клеток незначительно утолщены в периферической части. Толщина стенок 3–4 мкм. Городчатый край плотно сомкнутых клеток, окаймляет кутикула толщиной до 10 мкм, трихом не наблюдается.



Рисунок 2 – Анатомическое строение черешка на поперечном срезе

Под эпидермой на поперечном срезе располагается колленхима, образованная 4–5 слоями клеток с равномерно утолщенными оболочками. Диаметр клеток варьирует

от 50 до 100 мкм, толщина стенок может достигать 3,5–4,5 мкм, клетки овальной и неправильной формы, угловые утолщения начинаются у клеток 3–4 ряда с верхней стороны черешка. Нижняя часть (креновая срона) отличается от верхней (тяговой) наличием угловых утолщений, толщиной колленхимы, ориентацией клеток.

Под слоем колленхимы в центре располагается проводящий пучок дугообразной формы. Верхнюю часть его занимает флоэма, а нижнюю – ксилема. Проводящие элементы в силу слабого развития плохо различимы. Между окончаниями дуг подковы черешка и проводящего пучка располагается крупноклетчатая основная паренхима, сложенная клетками неправильной формы. Во всех клетках колленхимы и паренхимы черешка содержатся хлоропласты, а в некоторых рафиды. Таким образом, отсутствие или слабое развитие ряда тканей объясняется малым сроком жизни растения.

На третьем этапе исследования была проведена сравнительная оценка морфометрических параметров развития корнесобственных микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной в условия *ex vitro* на субстрате «торф + агроперлит» в зависимости от типа питательной среды, на которой они были получены в условиях *in vitro*. Полученные данные представлены в таблице 3.

Анализ данных показал, что микроклоны с питательных сред, содержащих гормон 0,5 БАП (1-й и 2-й типы ПС), формировали большее количество (до 6 шт.) побегов, чем растения с безгормональных сред (3-й и 4-й типы ПС). При этом длина побегов у растений с 1-го типа ПС характеризовалась большим размахом варьирования, в сумме достигала максимума – $54,30 \pm 9,97$ см (минимальная суммарная длина отмечена у растений с 3-го типа ПС – $33,64 \pm 6,23$ см).

Адаптационной особенностью развития молодых побегов является заложение на более ранних этапах развития на месте эпидермы вторичной покровной ткани – перидермы. Этот процесс имел место у микроклонов с безгормональной питательной среды. Так к 70-м суткам роста в условиях *ex vitro* в нижней части (в среднем на высоте 3,5 см) сформировалась перидерма: у 100 % побегов – с 4-го типа ПС и у 80 % – с 3-го типа ПС. У побегов с 1-го и 2-го типов ПС перидерма отсутствовала.

Таблица 3 – Морфометрические параметры развития в условиях *ex vitro* на субстрате «торф + агроперлит» микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной, полученных на разных типах питательных сред

Морфометрические параметры		1-й тип ПС	2-й тип ПС	3-й тип ПС	4-й тип ПС
Количество побегов от корня, шт.		$4,0 \pm 0,87^4$	$6,0^{3,4}$	$2,5 \pm 0,64$	$1,5 \pm 0,28^1$
Длина максимально длинного побега, см		$13,76 \pm 2,97$	10,50	$13,91 \pm 1,42$	$15,02 \pm 1,14^2$
Суммарная длина побегов, см		$54,30 \pm 9,97^3$	42,50	$33,64 \pm 6,23^1$	$38,22 \pm 8,53$
Средняя длина побегов на 1 растении, см		$10,31 \pm 1,15^2$	$6,07 \pm 1,88^{1,3,4}$	$9,45 \pm 1,13^2$	$10,52 \pm 0,93^2$
Количество узлов на самом длинном побеге, шт.		$10,75 \pm 3,22$	10	$15,60 \pm 1,19^{1,2,4}$	$11,80 \pm 0,85$
Верхушечные листья, 6 шт.	длина центральной жилки, см	$4,29 \pm 0,42$	$3,23 \pm 0,08^4$	$4,66 \pm 0,56$	$5,1 \pm 0,71^2$
	максимальная ширина листа, см	$2,28 \pm 0,17$	$1,90 \pm 0,04$	$2,26 \pm 0,18$	$3,18 \pm 0,41$

Примечание – ^{1,2,3,4} – достоверно при попарном сравнении параметров на различных типах питательных сред при $P \leq 0,05$.

Кроме формирования перидермы у максимально длинных побегов растений из 3-го типа ПС было отмечено достоверно большее количество узлов ($15,60 \pm 1,19$), а именно на 30,2 % больше, чем у адаптирующихся растений из остальных типов ПС.

Анализ размеров шести верхушечных, хорошо сформированных листовых пластинок показал, что у растений-регенерантов с безгормональной питательной среды листья визуально были крупнее: например, длина центральных жилок листьев побегов из 4-го типа ПС составляла $5,1 \pm 0,71$ см (при длине листа у растений из 2-го типа ПС – $3,23 \pm 0,08$ см (различия достоверны)). Различия в ширине листа были статистически недостоверны.

Таким образом, проведенная оценка морфометрических параметров на 70-е сутки развития в субстрате «3 части торфа + 1 часть агроперлита» указывает на более выраженную адаптацию к условиям *ex vitro* корнесобственных микроклонов из 3-го и 4-го типов ПС (без гормона).

Комплексная оценка морфометрических параметров растений-регенерантов (с учетом формирования у побегов вторичной покровной ткани) позволила составить следующий ряд эффективности питательных сред: 3-й тип ПС $\approx$ 4-й тип ПС > 1-й тип ПС > 2-й тип ПС.

На четвертом этапе исследования проведен анализ фотосинтетических пигментов у адаптированных микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной в условиях открытого грунта, данные которого представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержания фотосинтетических пигментов в листьях микроклонов актинидии сорта «Гибридная Колбасиной» в условиях *ex vitro*

Тип среды	Хлорофилл <i>a</i> (мг/г)	Хлорофилл <i>b</i> (мг/г)	Хлорофилл (<i>a</i> + <i>b</i>) (мг/г)	Хлорофилл <i>a</i> / Хлорофилл <i>b</i>
1-й тип ПС	$1,26 \pm 0,04$	$0,61 \pm 0,01$	1,87	2,07
2-й тип ПС	$2,17 \pm 0,02$	$0,65 \pm 0,02$	2,82	3,34
3-й тип ПС	$1,54 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,03$	2,11	2,70
4-й тип ПС	$1,71 \pm 0,02$	$0,61 \pm 0,01$	2,32	2,80

Исследование содержания фотосинтетических пигментов показало, что содержание хлорофилла *a* варьировало в диапазоне 1,26–2,17 мг/г, содержание хлорофилла *b* – в диапазоне 0,57–0,67 (при их соотношении 2,07–2,80). Наибольшее содержание хлорофилла *a* и *b* наблюдается в листьях растений, микроклоны которых были сформированы на 2-м типе ПС в условиях *in vitro*.

Заклучение

Установлено, что для формирования в условиях *in vitro* микропобегов актинидии сорта Гибридная Колбасиной определенной величины целесообразным является использовать 2-й тип ПС, включающий гормон 0,5 БАП и содержащий фруктозу в полном объеме. Выявлено, что в листьях растений, адаптированных к условиям открытого грунта, микроклоны которых были сформированы на 2-м типе ПС, содержится наибольшее количество фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*).

Выяснено, что анатомическое строение стебля, корня, листа и черешка микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной, сформированных в условиях *in vitro*, имеет схожую топографию тканей с большинством соответствующих органов древесных растений на ранних этапах формирования. Отличительными особенностями этого сорта гибридного происхождения можно считать тип и характер сложения эпидермальных клеток исследуемых органов, раннее развитие перидермы в стебле, наличие уголковой колленхимы в черешке и корне, отсутствие сформированного периваскулярного кольца в стебле, слабое развитие колленхимы в стебле, кольцевое расположение элементов первичной ксилемы, аномоцитный тип устьичного аппарата в эпидерме листа, наличие

кристаллов игольчатой формы в листе и черешке, подковообразная форма черешка на поперечном срезе.

На 70-е сутки после перевода сформированных корнесобственных микроклонов актинидии сорта Гибридная Колбасиной в условия *ex vitro* на субстрат «торф + агроперлит» (в соотношении 3 : 1) у всех проходящих адаптацию растений отмечены хорошие показатели роста надземной части. При этом обнаружено, что у растений из 3-го и 4-го типов ПС (без гормона) сформировалось большее количество узлов на максимально длинных побегах, образовались более крупные верхушечные листья, поскольку отмечена более ранняя закладка перидермы, что свидетельствует об их лучшей адаптационной способности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мороз, Г. Об учете агроклиматических условий Беларуси и их динамики при оценке сельскохозяйственных земель / Г. Мороз // Земля Беларуси. – 2017. – № 4. – С. 23–27.
2. Изменение климата и водных ресурсов на территории Полесья / В. И. Мелиник // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сентября 2016 г. В 2 т. Т. 1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2016. – С. 399–403.
3. Сорта плодовых, ягодных, орехоплодных культур и винограда, включенные в государственный реестр сортов и находящиеся на испытании в Государственной инспекции по испытанию и охране сортов растений / РУП «Ин-т плодоводства» ; отв. за вып. В. В. Васеха. – Самохваловичи, 2020. – 30 с.
4. Змушко, А. А., Перспектива микроразмножения актинидии. Этап инициации / А. А. Змушко, М. Д. Морозова // Плодоводство. – 2022. – № 34 (1). – С. 220–227.
5. Морозова, М. Д. Ризогенез *in vitro* и адаптация *ex vitro* мужских форм актинидии (*Actinidia* Lindl.) / М. Д. Морозова // Плодоводство, 2023. № 35 (2) – С. 100–105.
6. Коллекция редких ягодных культур, созданная Э. И. Колбасиной в Подмосковье / Greeninfo.ru. – Информационный портал. – Режим доступа: https://www.greeninfo.ru/fruits/actinidia_kolomikta/kollekcija-redkih-jagodnih-kultur-sozdannaja-jei-kolbasinoj-v-podmoskove_art.html
7. Колбасина, Э. И. Культурная флора России: актинидия, лимонник / Э. И. Колбасина. – М. : Россельхозакадемия, 2007. – 327 с.

REFERENCES

1. Moroz, G. Ob uchte agroklimaticheskikh usloviy Belarusi i ikh dinamiki pri otsenke sel'skokhozyaystvennykh zemel' / G. Moroz // Zemlya Belarusi. – 2017. – № 4. – S. 23–27.
2. Izmeneniye klimata i vodnykh resursov na territorii Poles'ya / V. I. Melinik // Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnnykh resursov i ustoychivoye razvitiye Poles'ya : sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf., Minsk, 14–17 sentyabrya 2016 g. V 2 t. T. 1 / Nats. akad. nauk Bela-rusi [i dr.] ; redkol.: V. G. Gusakov (gl. red.) [i dr.]. – Minsk : Belaruskaya navuka, 2016. – S. 399–403.
3. Sorta plodovykh, yagodnykh, orekhoplodnykh kul'tur i vinograda, vklyuchennyye v gosudarstvennyy reyestr sortov i nakhodyashchiyesya na ispytanii v Gosudarstvennoy inspektsii po ispytaniyu i okhrane sortov rasteniy / RUP «In-t plodovodstva» ; otv. za vyp. V. V. Vasekha. – Samokhvalovichy, 2020. – 30 s.

4. Zmushko, A. A., Perspektiva mikrorazmnozheniya aktinidii. Etap initsiatsii / A. A. Zmushko, M. D. Morozova // Plodovodstvo. – 2022. – № 34 (1). – S. 220–227.
5. Morozova, M. D. Rizogenez in vitro i adaptatsiya ex vitro muzhskikh form aktinidii (Actinidia Lindl.) / M. D. Morozova // Plodovodstvo, 2023. № 35 (2) – S. 100–105.
6. Kolleksiya redkikh yagodnykh kul'tur, sozdannaya E. I. Kolbasinoy v Podmoskov'ye / Greeninfo.ru. – Informatsionnyy portal. – Rezhim dostupa: https://www.greeninfo.ru/fruits/actinidia_kolomikta/kollekcija-redkih-jagodnih-kultur-sozdannaja-jei-kolbasinoj-v-podmoskove_art.html
7. Kolbasina, E. I. Kul'turnaya flora Rossii: aktinidiya, limon-nik / E. I. Kolbasina. – M. : Rossel'khozakademiya, 2007. – 327 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 03.04.2025

УДК 556.55:639.3(476.5)

DOI 10.63874/2218-0311-2025-1-87-95

Анатолій Николаевич Лицкевич¹, Ольга Евгеньевна Чезлова²,**Лілія Андреевна Кутаева³, Лариса Ивановна Чирук⁴**¹зав. лабораторией гидроэкологии и экотехнологий Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси²канд. биологических наук, науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси^{3,4}мл. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси**Anatoli Litskevich¹, Olga Chezlova,² Lilia Kutaeva³, Larisa Chiruk⁴**¹Head of the Laboratory of Hydroecology and Ecotechnologies at the Polesie Agrarian-Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus²Candidate of Biological Sciences, researcher at the Polesie Agrarian-Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus^{3,4}Junior Researcher at the Polesie Agrarian-Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belaruse-mail: ¹hydropaei@gmail.com, ²olgachezlova@tut.by,³lilianabieva98@gmail.com, ⁴larisachiruk@mail.ru

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЫБОВОДНЫХ ПРУДОВ ОАО ОРХ «СЕЛЕЦ»

Интенсивное рыбоводство, включающее высокую плотность посадки рыбы и кормление, негативно влияет на гидрохимический режим рыбоводных прудов. Это приводит к увеличению окисляемости, изменению pH, колебаний кислорода, ухудшению физических и химических свойств воды. Для предотвращения негативных последствий необходимо применять методы подготовки воды, обеспечить условия для нормальной жизнедеятельности водных организмов. Качество воды должно соответствовать нормативам для выращивания рыбы и обеспечивать достаточный прирост рыбы.

Hydrochemical Regime of Fish-Breeding Ponds of JSC «Experimental Fish Farm «Selets»

Intensive fish farming, including high density of fish stocking and feeding, has a negative impact on the hydrochemical regime of fish ponds. This leads to increased oxidation, changes in pH, oxygen fluctuations, and deterioration of the physical and chemical properties of water. To prevent negative consequences, it is necessary to use water treatment methods and provide conditions for the normal functioning of aquatic organisms. Water quality must meet standards for fish farming and ensure sufficient fish growth.

Введение

Вода содержит различные растворенные и взвешенные вещества, количество и состав которых определяют большое разнообразие ее химического состава. Он зависит как от физических условий окружающей среды, так и от биологических и микробиологических процессов, протекающих в водоемах. Взаимообусловленное воздействие абиотических и биотических факторов, а также деятельность человека вызывают существенные различия в гидрохимическом режиме водоемов [1].

Большим своеобразием отличается гидрохимический режим рыбоводных прудов и мелких водоемов, периодически осушаемых в различные сезоны года, на качество вод которых сильно влияет качество исходной воды и хозяйственная деятельность человека. При выращивании рыбы протекают естественные процессы накопления продуктов биологического разложения, которые в известных пределах не оказывают негативного влияния на рост и развитие выращиваемых объектов [1].

Посадка в пруды большого количества рыбы на единицу площади, удобрение прудов и кормление рыбы отрицательно влияют на качество воды. В результате поступления в воду легкоразлагающегося органического материала увеличивается окисляемость, повышается водородный показатель воды (pH), отмечается увеличение су-

точных колебаний содержания кислорода, изменяются физические свойства воды, увеличивается ее цветность, снижается прозрачность [2].

Зависимость химического состава от интенсивности биопродуктивных процессов позволяет количественно оценивать величину продуктивности водоемов. Основными показателями при оценке интенсивности биопродуктивных процессов являются абсолютное и относительное содержание кислорода. Исследования содержания кислорода в водоеме используются для расчетов величины первичной продукции и деструкции новообразующегося органического вещества – основного корма для всех гетеротрофных организмов.

Не менее важные сведения можно получить и при анализе изменения рН, содержания свободной углекислоты (диоксида углерода), биогенных элементов, перманганатной и бихроматной окисляемостей (ХПК), биохимического потребления кислорода (БПК). При этом особенно важно знать соотношение между гидрохимическими показателями, например между кислородом и углекислотой, между БПК и ХПК, между величиной суточной деструкции и БПК [2].

Выращивание осетровых рыб в условиях прудового рыбоводства должно сопровождаться контролем качества вод для обеспечения сохранности вида, плодовитости и качества потомства рыбы с учетом ее биологических потребностей. Качество воды, используемой в технологическом процессе, должно обеспечивать оптимальный режим выращивания рыбы, исключая возникновение заморных ситуаций и обеспечивающий прирост рыбы, достаточный для получения стандартной массы [3].

В таблицу 1 сведены критерии оценки качества воды поверхностных водных объектов в т. ч. используемых для разведения рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных, отраженные в ряде нормативно-правовых актов [4; 5], а также рекомендованные М. С. Чебановым в руководстве по искусственному воспроизводству осетровых рыб [6].

Вода, поступающая на рыбоводные производства для выращивания рыб, не должна содержать вредных веществ и примесей в количествах, превышающих установленные показатели, и отвечать требованиям, предъявляемым к физико-химическим характеристикам воды при разведении и выращивании осетровых (таблица 1).

Цель исследований – оценка качества воды в системе рыбоводных прудов при выращивании осетровых рыб.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- определение гидрохимических характеристик поверхностных вод рыбоводных прудов и водоисточника;
- оценка пригодности поверхностных вод при выращивании осетровых рыб в условиях прудового рыбоводства.

Таблица 1 – Критерии оценки качества воды поверхностных водных объектов, в т. ч. используемых для разведения рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных

Наименование испытаний (проверяемый показатель)	Нормы показателя для лососеобразных и осетрообразных [4]	Качество воды прудовых хозяйств [5]	Рекомендованные значения [6]
Температура, не более С (разность Δt , не более °С)		28 (5)	
рН	6,5–8,5	6,5–8,5	7,0–8,0
Взвешенные вещества, мг/дм ³	25	25,0	10
Сухой остаток, мг/дм ³	1000	–	–
Солесодержан., мг/дм ³		–	
Сульфаты, мг/дм ³	100	–	50
Хлориды, мг/дм ³	300	–	30
Ортофосфаты, мгР/дм ³	0,066	0,5	0,098
Аммоний, мгN/дм ³	0,39	1,0	0,39
Нитраты, мгN/дм ³	9,03	2,0	1
Нитриты, мг/дм ³	0,08	0,02	0,1
БПК ₅ , мгО/дм ³	3	3	2
ХПК, мгО/дм ³	25	50	–
Кислород раств., мг/дм ³	6	5	4
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,05	–	–
АПАВ, мг/дм ³	0,1	–	–
Железо, мг/дм ³	0,515	1,8	0,01
Жесткость, °Ж	–	–	6
Магний, мг/дм ³	40	–	40
Кальций, мг/дм ³	180	–	180

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в период 2022–2024 гг. сотрудниками лаборатории Гидроэкологии и экотехнологий Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси (аттестат аккредитации № ВУ/112 1.1832) на базе ОАО ОРХ «Селец».

В ходе работы проведены исследования основных гидрохимических показателей водной среды в источнике водоснабжения и рыбоводных бассейнах. Для оценки вод водных объектов применялись стандартные методы оценки качества поверхностной воды, принятые в Республике Беларусь [7].

Характеристика места отбора проб поверхностных вод представлена на рисунке 1.

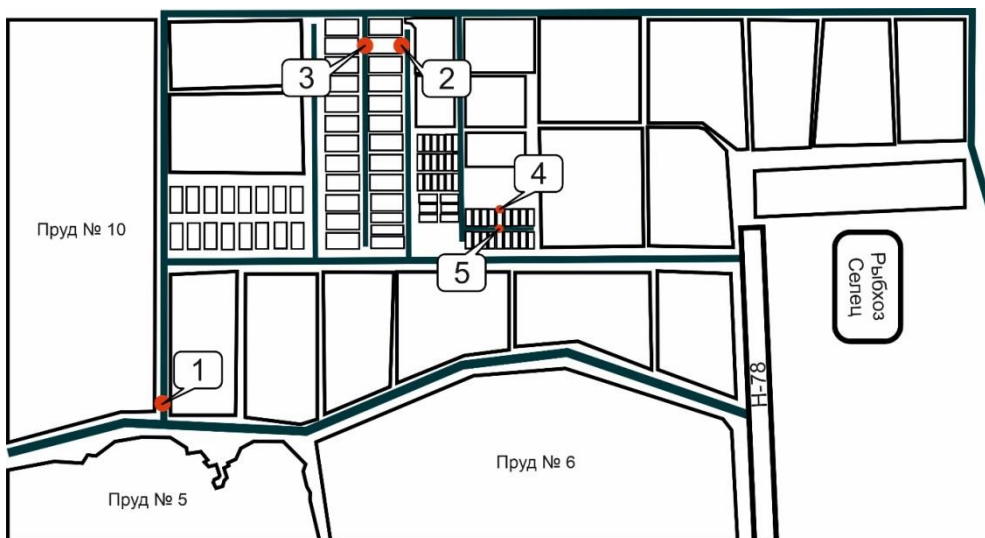


Рисунок 1 – Схема отбора проб поверхностных вод ОАО ОРХ «Селец»

- 1 – центральный водоподводящий канал; 2 – зимовальный пруд № 14 (выход);
3 – зимовальный пруд № 14 (вход); 4 – земляной садок № 14 (выход);
5 – водоподводящий канал (земляной садок № 14)

Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа качества вод рыбоводных прудов ОАО ОРХ «Селец» установлено, что в большинстве образцов поверхностных вод значение определяемых показателей соответствует нормативам водоснабжения рыбоводных предприятий. Однако отклонения от нормы отдельных показателей свидетельствуют о необходимости дополнительной подготовки потребляемых вод при выращивании осетровых рыб на исследуемом объекте (таблица 2).

Температура воды открытых водных объектов колебалась в диапазоне 5,8–6,3 °С (март 2024). Значения показателя рН находились в пределах от 6,4 до 7,6 ед. рН. Нормированный показатель рН для осетровых рыб установлен в пределах 7,8–8,0 ед. рН.

Содержание сульфатов (до 43,78 мг/дм³) и хлоридов (до 16,6 мг/дм³) в поверхностных водах ОАО ОРХ «Селец» не превышает предельно допустимые концентрации данных компонентов в воде при выращивании осетровых (50 и 30 мг/дм³ соответственно). Накопление ортофосфатов в воде – менее 0,25 мг/дм³, что не превышает рекомендуемые уровни содержания данного вещества в рыбоводных прудах.

Показатель жесткости воды отвечает рыбоводным нормативам (3,98–4,22 Ж), так как для использования пригодна вода с жесткостью до 6 Ж (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика качества поверхностных вод ОАО ОРХ «Селец»

Наименование испытаний (проверяемый показатель)	Центральный водоподводящий канал			Зимовальный пруд					
				вход в пруд			выход из пруда		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Температура, °С (разность Δt , °С)			6,1			6,2			5,8
pH	7,6	7,4	7	7,8	8	7,6	7,9	8	7,7
Взвешенные вещества, мг/дм ³	<3	11,2		<3	19,8		10,5	29,2	
Сухой остаток, мг/дм ³	336	270		352,5	273,5		328,5	251,5	
Солесодержание, мг/дм ³			209,2			206,5			206,2
Сульфаты, мг/дм ³	33	31	40,51	32,3	34	43,78	31,6	36	43,63
Хлориды, мг/дм ³	15,9	16,6	14,47	16,2	16,6	14,08	15,9	16,6	14,13
Ортофосфаты, мгР/дм ³	0,029	0,028	<0,08	0,014	0,022	<0,08	0,016	0,022	<0,08
Аммоний, мгN/дм ³	0,46	0,82	<0,39	0,55	0,96	<0,39	0,53	0,97	<0,39
Нитраты, мгN/дм ³	0,35	2,08	2,24	0,35	2,21	2,69	0,34	2,21	2,59
Нитриты, мг/дм ³	0,019	0,12	<0,06	0,018	0,07	<0,06	0,017	0,062	<0,06
БПК ₅ , мгО/дм ³	3,4	3		3,6	5		3,7	4	
ХПК, мгО/дм ³	42,1	57,1	72,1	46,1	65,5	88	48,4	64,5	89
Кислород раств., мг/дм ³	9,8	11,47	6,6	11,4	11,43	8,13	11,2	7,16	8,81
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,036	0,047		<0,005	0,036		0,02	0,035	
АПав, мг/дм ³	<0,025	<0,025		<0,025	<0,025		<0,025	<0,025	
Железо, мг/дм ³	0,601	0,611	0,948	0,62	0,626	0,75	0,573	0,509	0,667
Жесткость, Ж	4,2	4,12	4,22	4,1	3,88	4,04	4,1	3,88	3,98

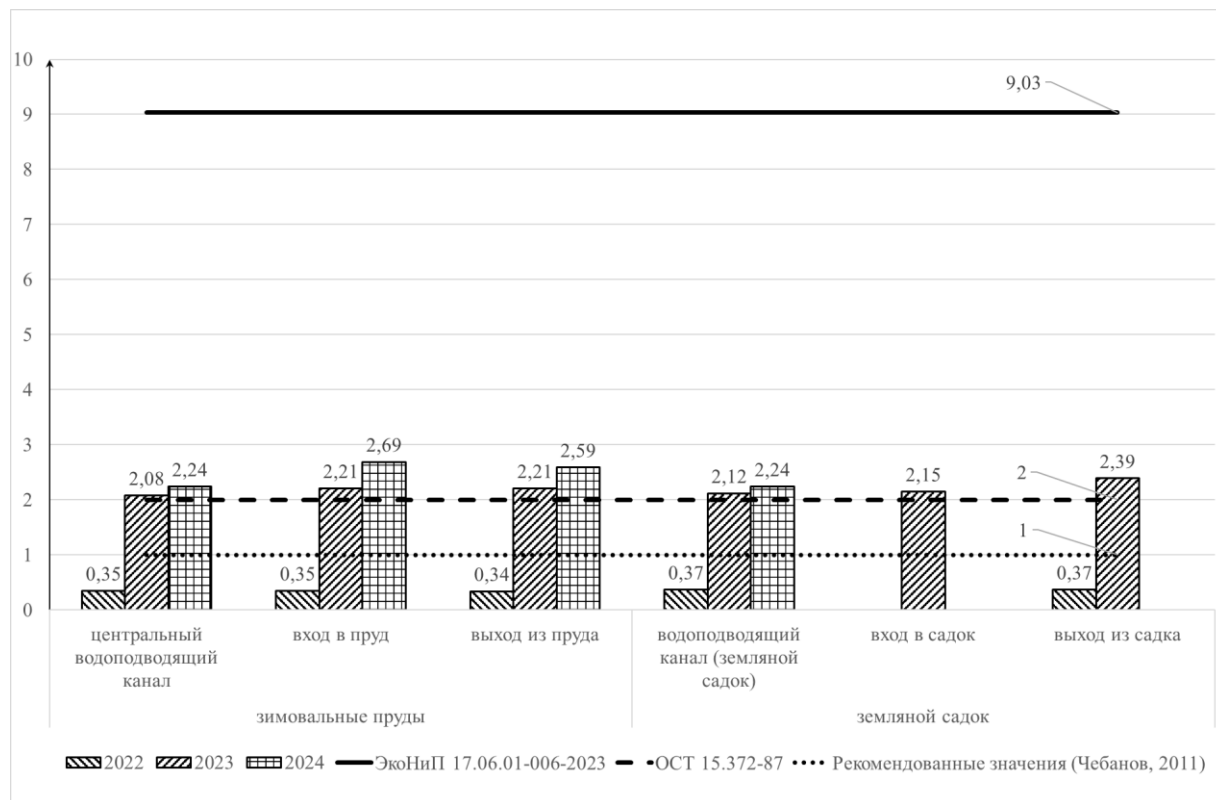
Выявлен ряд загрязняющих веществ в поверхностных водах ОАО ОРХ «Селец», содержание которых превышает уровни как рекомендуемых при выращивании осетровых рыб, так и национальных нормативов качества поверхностных вод иных водных объектов.

Показатель содержания азота нитратов в поверхностных водах (рисунок 2) системы прудов ОАО ОРХ «Селец» превышает рекомендуемый норматив [6], но соответствует нормативу ЭкоНП 17.06.01-006-2023.

Отмечено, что в поверхностных водах центрального подающего канала в 2023 и 2024 гг. уровень содержания нитратов превышает как норматив отраслевого стандарта, так и рекомендуемый норматив качества вод для выращивания осетровых. В литературе отмечается незначительная степень нитрификации поверхностных вод на этапе подачи вод в рыбоводный пруд [8].

Содержание нитратов до поступления в пруд ОАО ОРХ «Селец» увеличивается от уровня 2,24 мгN/дм³ до 2,69 мгN/дм³. Содержание азота нитратов в водоподводящем канале земляного садка вновь снижается до уровня содержания в водах центрального

канала, что указывает на способность поверхностных вод к денитрификации в ламинарных потоках поверхностных вод (рисунок 2).

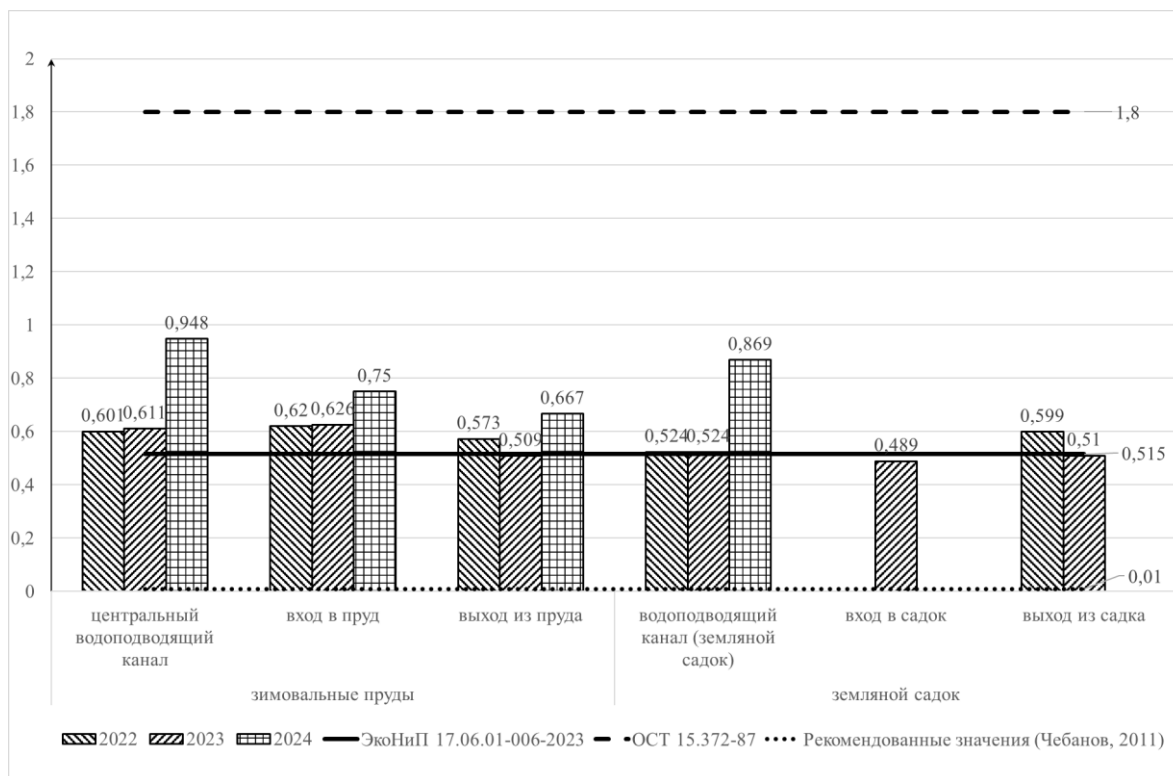


**Рисунок 2 – Содержание азота нитратов в поверхностных водах
ОАО ОРХ «Селец» в 2022–2024 гг., мгN/дм³**

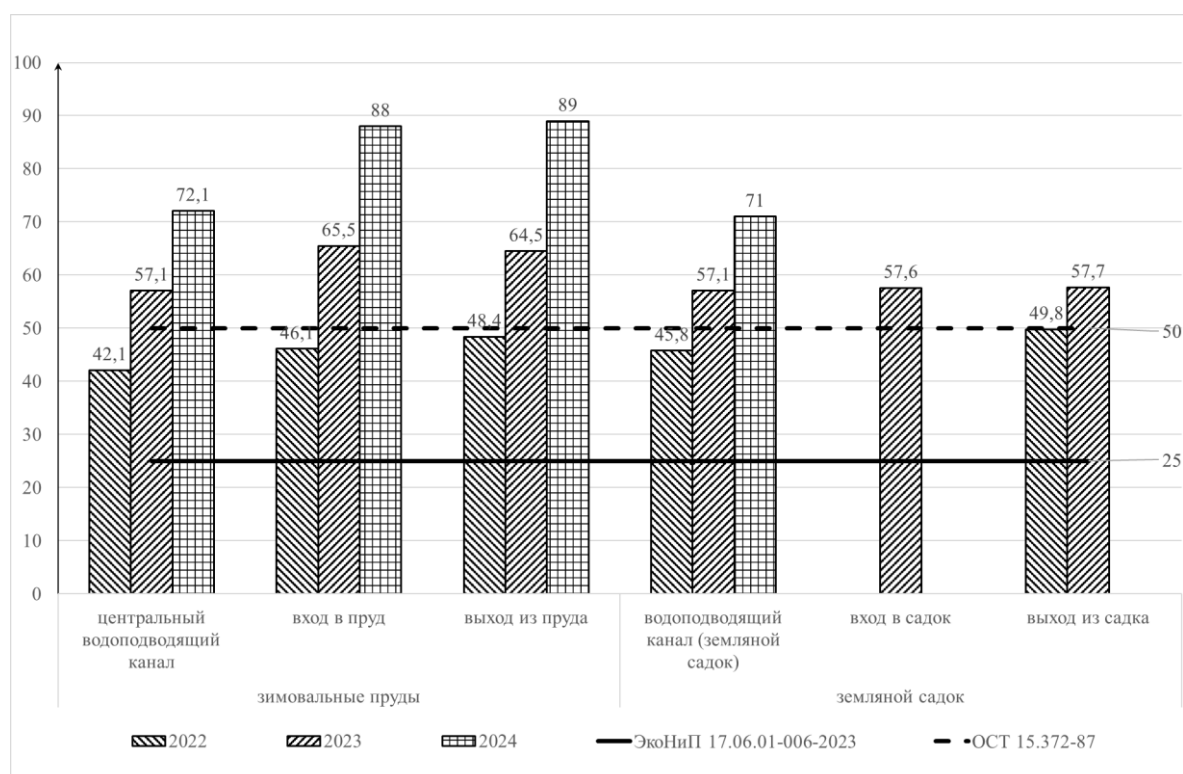
Содержание железа в составе поверхностных вод достигает показателя 0,948 мг/дм³, что значительно выше рекомендуемой нормы при выращивании осетровых (рисунок 3).

На участке от центрального подающего канала до входа в рыбоводный пруд отмечено снижение содержания общего железа, что вызвано осаждением соединений Fe^{+3} в результате окисления растворенным кислородом.

По содержанию ХПК (рисунок 4) поверхностные воды подающих каналов и прудов не соответствуют рекомендуемым нормативам. Показатель ХПК достигает уровня 71–89 мгО/дм³ при рекомендуемом уровне 25 мгО/дм³. В системе «центральный подающий канал → вход в рыбоводный пруд → выход из рыбоводного пруда» отмечен рост показателя ХПК, который характеризует повышение органической составляющей в поверхностных водах вследствие поступления отходов жизнедеятельности осетровых рыб и продуктов разложения кормов и кормовых добавок.



**Рисунок 3 – Содержание железа общего в поверхностных водах
ОАО ОРХ «Селец» в 2022– 2024 гг., мг/дм³**



**Рисунок 4 – Показатель ХПК поверхностных вод ОАО ОРХ «Селец»
в 2022–2024 гг., мгО/дм³**

Несмотря на значительное содержание органических загрязнений (ХПК), содержание растворенного кислорода находится на приемлемом уровне (рисунок 5).

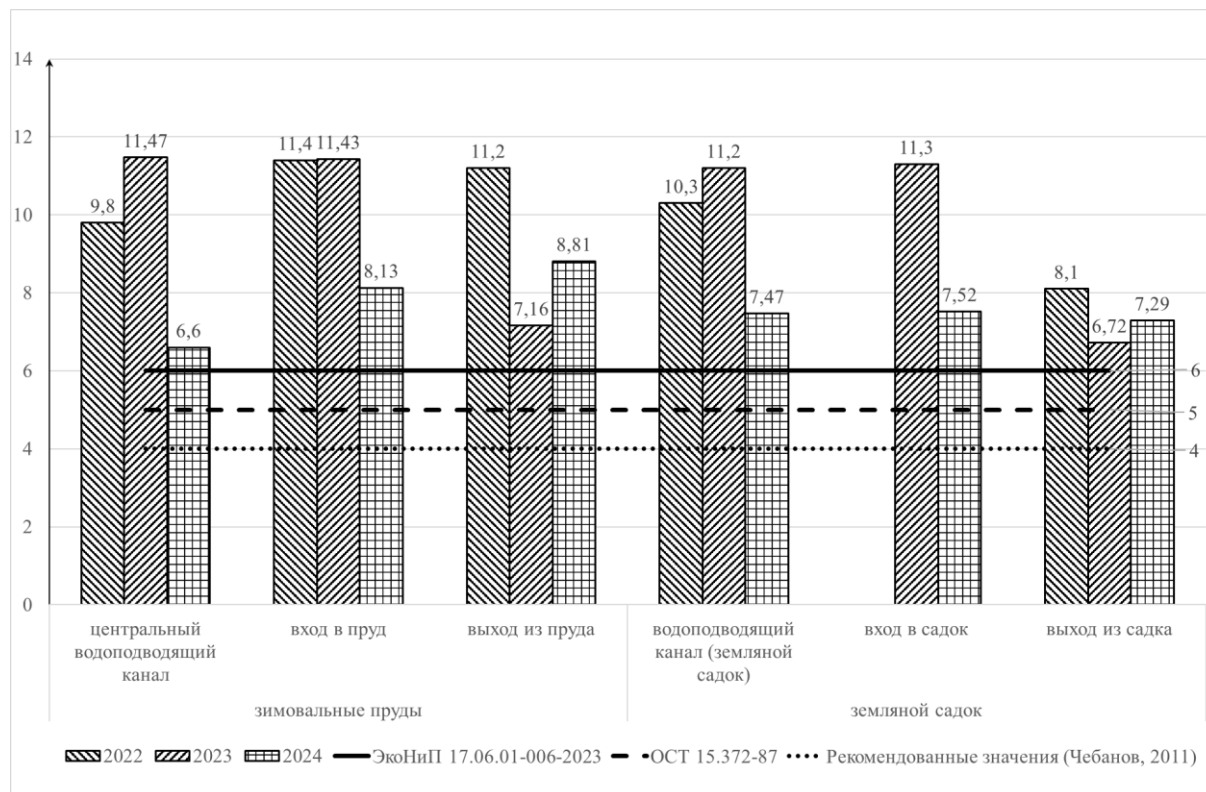


Рисунок 5 – Содержание растворенного кислорода в поверхностных водах ОАО ОРХ «Селец» в 2022–2024 гг., мг/дм³

В условиях интенсивного водообмена рыбоводных прудов отмечено удовлетворительное состояние поголовья осетровых рыб.

Заключение

1. Поступающая вода центрального подающего канала системы прудов ОАО ОРХ «Селец» по большинству показателей соответствует требованиям качества водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных.

2. Требуется дополнительная подготовка поверхностных вод систем водоснабжения рыбоводных прудов ОАО ОРХ «Селец» в связи с эпизодическим повышенным значением азота нитратов, показателя химического потребления кислорода и общего железа.

3. Высокое содержание растворенного кислорода в водах центрального подающего канала способствует окислению соединений железа, легкоокисляемой органики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Багрова, А. М. Технологии прудового рыбоводства / под об. ред. член.-кор. РАСХН А. М. Багрова. – М. : Изд-во ВНИРО, 2014. – 358 с.

2. Основы осетроводства в условиях замкнутого водообеспечения для фермерских хозяйств / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, Е. Н. Пономарева [и др.]. – Ростов н/Д. : Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. – 112 с.

3. Кошелев, Б. В. Экология размножения рыб / Б. В. Кошелев. – М. : Наука, 1984. – 307 с.
4. Экологические нормы и правила. ЭкоНП 17.06.01-006-2023 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Нормативы качества воды поверхностных водных объектов» : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 15 дек. 2023, № 15-Т. – URL: <https://normy.by/tnpa/1/8448.pdf> (дата обращения: 01.02.2025).
5. Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы : ОСТ 15.372-87 : – утв. приказом Минрыбхоза СССР от 10 дек. 1987 г., № 655. – 19 с. – URL: https://standartgost.ru/g/%D0%9E%D0%A1%D0%A2_15.372-87 (дата обращения: 01.02.2025).
6. Чебанов, М. С. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб / М. С. Чебанов, Е. В. Галич. – Анкара, 2013. – 325 с.
7. Belarusian state centre for accreditation. – URL: <https://bsca.by/en/registrytestlab/view?id=6979> (дата обращения: 01.02.2025).
8. Привезенцев, Ю. А. Интенсивное рыбоводство / Ю. А. Привезенцев. – М. : Агропромиздат, 1991. – 368 с.

REFERENCES

1. Bagrova, A. M. Tiekhnologii prudovogo rybovodstva / pod ob. ried. chlien.-kor. RASKhN A. M. Bagrova. – М. : Izd-vo VNIRO, 2014. – 358 s.
2. Osnovy osietrovodstva v uslovijakh zamknutogo vodoobiespiechienia dla fermer-skich khoziajstv / G. G. Matishov, D. G. Matishov, Je. N. Ponomariova [i dr.]. – Rostov n/D. : Izd-vo JuNC RAN, 2008. – 112 s.
3. Kosheliev, B. V. Ekologija razmnzhenija ryb / B. V. Kosheliev. – М. : Nauka, 1984. – 307 s.
4. Ekologicheskiye normy i pravila. EkoNiP 17.06.01-006-2023 «Okhrana okruzhajushchiej sriedy i prirodo-pol'zovanie. Gidrosfiera. Normativy kachiestva vody povierkhnostnykh vodnykh objektov» : postanovlienije M-va prirod. riesursov i okhrany okruzhajushchiej sriedy Riesp. Bielarus' ot 15 diek. 2023, № 15-T. – URL: <https://normy.by/tnpa/1/8448.pdf> (data obrashchienia: 01.02.2025).
5. Voda dlja rybovodnykh khoziajstv. Obshchije triebovanija i normy : OST 15.372-87 : – utv. prikazom Minrybkhoza SSSR ot 10 diek. 1987 g., № 655. – 19 s. – URL: https://standartgost.ru/g/%D0%9E%D0%A1%D0%A2_15.372-87 (data obrashchienia: 01.02.2025).
6. Chiebanov, M. S. Rukovodstvo po iskusstviennomu vosproizvodstvu osietrovnykh ryb / M. S. Chiebanov, Je. V. Galich. – Ankara, 2013. – 325 s.
7. Belarusian state centre for accreditation. – URL: <https://bsca.by/en/registrytestlab/view?id=6979> (data obrashchienia: 01.02.2025).
8. Privieziencev, Ju. A. Intensivnoje rybovodstvo / Ju. A. Privieziencev. – М. : Agropromizdat, 1991. – 368 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.03.2025

УДК 582.29

DOI 10.63874/2218-0311-2025-1-96-108

Кирилл Александрович Размыслович¹, Наталья Валерьевна Шкуратова²¹магістрант факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Kirill Razmyslovich¹, Natalia Shkuratova²¹Master's student of the Faculty of Natural Sciences

of Brest State A. S. Pushkin University

²Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies

of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: schkuratova_n@tut.by

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЛИХЕНОФЛОРЫ ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ООПТ Г. БРЕСТА*

Установлено произрастание 32 видов лишенофлоры, относящихся к 18 родам, 10 семействам и 7 порядкам на ландшафтно-рекреационных территориях и ООПТ г. Бреста. Наиболее многочисленными являются порядок Lecanorales, семейства Cladoniaceae и Parmeliaceae. В пределах города наибольшим видовым разнообразием представлены лишайники с мультирегиональным и мультизональным распространением. Преобладают виды эпифитных лишайников. В биоморфологическом отношении наиболее разнообразна группа узколопастных листоватых лишайников.

Ключевые слова: лишенофлора, таксономия, геоэлемент, биоморфа, встречаемость, субстратная группа.

Results of Analysis of Lichenoflora of Landscape-Recreational Territories and Protected Nature of Brest

32 species of lichenoflora belonging to 18 genera, 10 families and 7 orders have been found to grow in landscape and recreational territories and protected areas of Brest. The most numerous are the order Lecanorales, the families Cladoniaceae and Parmeliaceae. Lichens with multi-regional and multi-zonal distribution are represented by the greatest species diversity within the city. Epiphytic lichen species predominate. From a biomorphological point of view, the group of narrow-lobed leafy lichens is the most diverse.

Key words: lichenoflora, taxonomy, geoelement, biomorph, occurrence, substrate group.

Введение

Актуальность изучения биоразнообразия лишайников на урбанизированных территориях определяется тем, что в городах формируются особые климатические условия, связанные с изменением рельефа, присутствием искусственных потоков тепла, загрязнением воздуха, снижением испарения, что может оказаться важным ограничивающим фактором для их распространения. Однако там же локальные климатические условия могут быть важной движущей силой разнообразия лишайников [1].

В результате расширения границ населенных пунктов в их состав включаются природные сообщества, обладающие значительным биоразнообразием. Так, в г. Бресте наряду с искусственно созданными ландшафтно-рекреационными объектами присутствуют относительно мало трансформированные естественные экосистемы. В частности, на территории города находятся заказники местного значения и памятники природы, в т. ч. республиканского и местного значения. Подобного рода объекты на урбанизированных территориях могут явиться источником биоразнообразия, в т. ч. местом распространения редких и охраняемых видов.

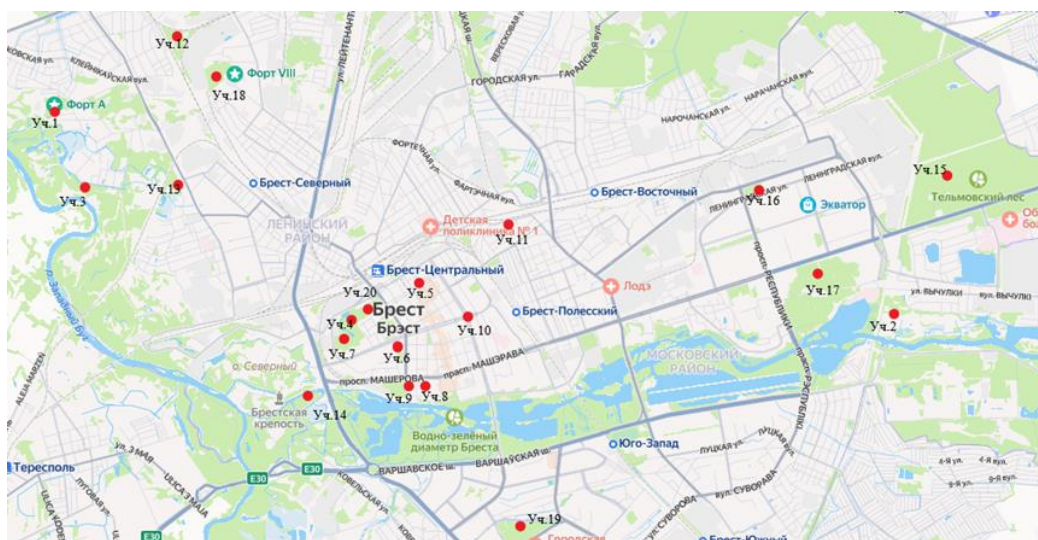
*Результаты получены при финансовой поддержке Министерства образования (в рамках НИР, номер государственной регистрации 20240572).

Урбанизированные территории содержат различные субстраты, где возможно произрастание лишайников. В условиях городов, помимо субстратов, типичных для произрастания лишайников в Беларуси, таких как почва, кора древесных пород и мертвая древесина, широко представлены каменистые субстраты антропогенного происхождения. На субстратах последнего типа могут сформироваться уникальные эпилитные сообщества лишайников.

Лишайники являются неотъемлемой частью биоты Беларуси, однако лишенофлора Беларуси изучена крайне неравномерно. Наибольшее количество лишенологических исследований проводилось на территории Минской возвышенности, Гомельской и Гродненской областей. В административных районах Минской области лишайники изучались на территориях усадебных парков [2]. Работы, посвященные непосредственно изучению лишенофлоры городов Беларуси, проводились в г. Гомеле [3; 4], г. Гродно [5]. На территории Брестской области исследования лишайников охватывали преимущественно территорию Национального Парка «Беловежская пуца», а также отдельные сосновые и еловые сообщества [6; 7].

Материалы и методы исследования

При выборе территорий исследования исходили из перечня парков и ООПТ, зарегистрированных в докладе по стратегической экологической оценке г. Бреста [8]. Обследованы участки городского лесного массива, 7 парков, 3 заказников и 11 памятников природы, находящихся в черте г. Бреста (рисунок 1).



заказники: уч. 1 – «Барбастелла», уч. 2 – «Брестский», уч. 3 – «Бугский»;
 памятники природы: уч. 4 – *Picea abies* (L.) H. Karst. змеевидной формы,
 уч. 5 – *Fagus sylvatica* L., *Cerasus avium* (L.) Moench, уч. 6 – *Quercus robur* L. пирамидальной
 формы, уч. 7 – *Platanus × acerifolia* (Aiton) Willd., уч. 8 – *Gleditsia triacanthos* L.,
 уч. 9 – *Abies alba* Mill., уч. 10 – *Aesculus hippocastanum* L., уч. 11 – *Heder helix* L.,
 уч. 12 – Торфяник Дубровка, уч. 13 – Брестская родниковая струга;
 парковые зоны: уч. 14 – Брестская крепость, уч. 15 – Тельмовский лес, уч. 16 – парк Мира, уч.
 17 – парк Воинов-интернационалистов, уч. 18 – Дубровский лесопарк,
 уч. 19 – парк 1000-летия, уч. 20 – парк имени 1 Мая

Рисунок 1 – Места сбора лишайников на территории г. Бреста

Наиболее крупными озелененными территориями г. Бреста являются лесной массив Тельмовский лес, основу которого составляют сосняки мшистые (*Pinetum pleuroziosum*) лесокультурного происхождения, парк мемориального комплекса «Брестская крепость-герой», парк культуры и отдыха имени 1 Мая.

Учет и сбор лишайников проводился маршрутным методом в 2024 г. Видовая идентификация представителей лишайнофлоры на основании морфо-анатомических признаков и качественных реакций [4; 9–12]. Номенклатура таксонов лишайников приводится в соответствии с изданием «Флора Беларуси. Лишайники» [10].

В работе были использованы традиционные методы таксономического, географического, биоморфологического и экологического анализов.

Результаты исследования и их обсуждение

На исследованных территориях парковых зон и ООПТ г. Бреста обнаружено 32 вида лишайников, относящихся к 18 родам, 10 семействам и 7 порядкам (таблица 1).

Таблица 1 – Общая таксономическая структура лишайнофлоры исследованной территории г. Бреста

Порядок	Число видов в порядке	Семейства	Число родов в семействе	Число видов в семействе
<i>Teloschitales</i> D. Hawksw. et O.E. Erikss.	2	<i>Teloschistaceae</i> Zahlbr.	2	2
<i>Lecanorales</i> Nannf.	19	<i>Parmeliaceae</i> Zenker	5	6
		<i>Cladoniaceae</i> Zenker	1	9
		<i>Lecanoraceae</i> Körb.	3	4
<i>Caliciales</i> Bessey	5	<i>Physciaceae</i> Zahlbr.	1	4
		<i>Buelliaceae</i> Zahlbr.	1	1
<i>Umbilicariales</i> J. C. Wei et Q. M. Zhou	1	<i>Ophioparmaceae</i> R. W. Rogers et Hafellner	1	1
<i>Peltigerales</i> Walt.	1	<i>Peltigeraceae</i> Dumort.	1	1
<i>Ostropales</i> Nannf.	1	<i>Phlyctidaceae</i> Poelt et Vězda ex J. C. David et D. Hawksw.	1	1
<i>Candelariales</i> Miadl., Lutzoni et Lumbsch	3	<i>Candelariaceae</i> Hakul.	2	3

Флористический спектр лишайнофлоры исследованных территорий показывает, что ее основу составляют лишайники порядка *Lecanorales*, представленного 3 семействами (*Parmeliaceae*, *Cladoniaceae*, *Lecanoraceae*), 9 родами (*Evernia* Ach., *Flavoparmelia* Hale, *Hypogymnia* (Nyl.) Nyl., *Melanohalea* O. Blanco et al., *Parmelia* Ach., *Cladonia* P. Browne, *Lecanora* Ach., *Protoparmeliopsis* M. Choisy) и 19 видами (59,4 % от общего числа видов).

Наибольшим по количеству видов являются семейства *Cladoniaceae* (9 видов), *Parmeliaceae* (6 видов). Семейства *Physciaceae*, *Lecanoraceae* насчитывают по 4 вида каждое. Из состава семейства *Candelariaceae* выявлено 3 вида, семейства *Teloschistaceae* Zahlbr. – 2 вида. Семейства *Buelliaceae*, *Ophioparmaceae*, *Peltigeraceae*, *Phlyctidaceae* – моновидовые на исследованной территории.

Географические элементы и ареалогические группы лишайников выделены с учетом характера распространения видов в пределах природных растительно-климатических зон и их современных ареалов (таблица 2). Выявленные на территории исследования виды отнесены к 3 географическим элементам: мультизональный, бореальный, неморальный – и 2 типам ареалов (ареалогическим группам): голарктический, мультирегиональный. Основу лишайнофлоры города составляют виды мультизонального (15 видов; 46,9 % от видового состава лишайнофлоры) элемента. Во всех географических элементах преобладают виды с широким распространением,

обладающие мультирегиональным типом ареала, которые в сумме составляют 28 видов (87,5 % от видового состава лишенофлоры). Около 12,5 % составляют виды с голарктическим типом ареала.

Таблица 2 – Географическая структура лишенобиоты исследованной территории г. Бреста

Тип ареала	Географический элемент			Всего видов	% от общего числа видов
	мульти-зональный	бореальный	неморальный		
Мультирегиональный	14	8	6	28	87,5
Голарктический	1	1	2	4	12,5
Всего видов	15	9	8	32	100
% от общего числа видов	46,9	28,1	25,0	100	

Исходя из встречаемости, наиболее распространенными в пределах г. Бреста являются мультирегиональные виды *Physcia adscendens*, *Xantoria parietina*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata* (рисунки 2, 3). Данные лишайники обнаружены на всех исследованных участках (таблица 3).

Buellia disciformis, *Hypocenomyce scalaris*, *Flavoparmelia caperata* обнаружены только в пределах местных заказников «Брестский» и «Бутский». Также одним из редких видов, встречаемых в г. Бресте, является *Phlyctis argena*, зарегистрированный только в пределах Тельмовского леса и заказника «Барбастелла» (таблица 3). *Buellia disciformis* и *Flavoparmelia caperata* обнаруживаются на коре ветвей и стволов лиственных пород (рисунки 4, 5), *Phlyctis argena* – на коре ветвей и стволов различных пород. Ксероморфный лишайник *Hypocenomyce scalaris* предпочитает кору у основания стволов березы бородавчатой и сосны [9]. Следует отметить, что виды, указанные как встречающиеся редко в пределах Бреста, относятся к тем 25 % лишенофлоры, которые обнаружены во всех 6 областях Беларуси [6]. Исключением является вид *Flavoparmelia caperata*, который более характерен для юга Беларуси [10].

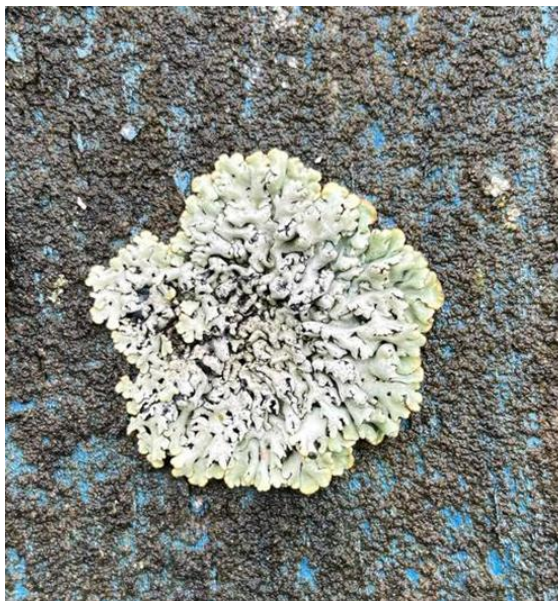
Таблица 3 – Распределение видов лишенофлоры на ландшафтно-рекреационных территориях и ООПТ г. Бреста

№	Вид	Заказник «Барбастелла»	Заказник «Брестский»	Заказник «Бутский»*	«Брестская крепость – герой»	Тельмовский лес	Парк Воинов- интернационалистов	Парк 1 Мая	Парк Мира	Парк 1000-летия	Лесопарк Лубрава	Ботанические памятники природы	Торфяник Лубровка	Родниковая Струя
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	<i>Buellia disciformis</i> (Fr.) Mudd	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	<i>Candelariella aurella</i> (Hoffm.) Zahlbr.	+	–	–	+	–	+	–	+	+	–	–	–	–
3	<i>Candelaria pacifica</i> M. Westb. & Arup.	+	+	+	–	–	+	–	–	–	+	+	–	–
4	<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
5	<i>Cladonia arbuscula</i> (Wallr.) Flot.	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
6	<i>Cladonia cenotea</i> (Ach.) Schaer.	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
7	<i>Cladonia chlorophaea</i> (Flörke ex Sommerf.) Spreng.	–	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
8	<i>Cladonia coniocraea</i> (Flörke) Spreng.	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
9	<i>Cladonia cornuta</i> (L.) Hoffm.	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
10	<i>Cladonia fimbriata</i> (L.) Fr.	–	+	+	+	+	–	+	–	–	+	–	–	–
11	<i>Cladonia phyllophora</i> Hoffm.	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
12	<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Web.	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
13	<i>Cladonia squamosa</i> (Scop.) Hoffm.	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
14	<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	–	+	+	–	+	+	+	+	–	+	–	–	+
15	<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	<i>Hypocynomyce scalaris</i> (Ach. ex Lilj) M. Choisy	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
17	<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
18	<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.) Hav.	–	+	+	–	+	+	+	+	–	–	–	+	–
19	<i>Lecanora chlorotera</i> Nyl.	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–	–	–	–

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20	<i>Lecanora varia</i> (Hoffm.) Ach	–	+	+	–	+	+	+	–	+	–	–	–	+
21	<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	–	+	+
22	<i>Melanohalea exasperatula</i> (Nyl.) O. Blanco et al.	–	+	+	–	–	+	–	–	–	–	–	+	–
23	<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
24	<i>Peltigera canina</i> (L.) Willd	–	–	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
25	<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fűr.	–	–	–	+	–	+	+	–	–	+	+	–	–
26	<i>Physcia adscendens</i> H. Olivier	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
27	<i>Phlyctis argena</i> (Spreng.) Flot	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
28	<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Fűr.	–	+	+	–	–	–	+	+	–	+	+	+	–
29	<i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl.	–	–	–	+	–	–	+	+	+	–	–	–	–
30	<i>Protoparmeliopsis muralis</i> (Schreb.) M. Choisy	–	–	–	+	–	–	–	+	+	–	–	–	–
31	<i>Rusavskia elegans</i> (Link) S. Y. Kondr. et Kärnefelt	–	–	–	+	–	–	+	–	+	+	–	–	–
32	<i>Xantoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Итого	8	16	16	11	21	13	15	12	10	11	7	8	8

*Примечание: заказник «Бутский» – участок в пределах г. Бреста.

Рисунок 2 – *Hypogymnia physodes*Рисунок 3 – *Parmelia sulcata*Рисунок 4 – *Buellia disciformis*Рисунок 5 – *Flavoparmelia caperata*

Наибольшим видовым разнообразием лишенофлоры характеризуются территория Тельмовского леса, где обнаруживается 21 вид лишайников (66 % от общего числа видов). Далее идут заказники «Брестский», «Бугский» – по 16 видов каждый (50 % от обнаруженного числа видов) (таблица 3).

На коре ботанических памятников природы г. Бреста выявлены 7 видов лишайников (22 % от общего числа видов). Наибольшим покрытием лишенобиотой отличается *Fagus sylvatica* L., на коре которого зарегистрированы *Xanthoria parietina*, *Physcia adscendens*, *Hypogymnia physodes*, *Physcia aipolia*, *Parmelia sulcata*, *Candelaria pacifica* (рисунок 6). На ботаническом памятнике природы *Hedera helix* представителей лишенофлоры не обнаружено. Вид *Hypogymnia physodes* произрастает на коре

6 ботанических памятников природы, *Xanthoria parietina* – на 5. Вид *Candelaria pacifica* обнаружен на коре ботанических памятниках природы *Gleditsia triacanthos*. Наибольшее покрытие лишайниками характерно для ботанического памятника природы *Fagus sylvatica*, наименьшее – для *Quercus robur*.

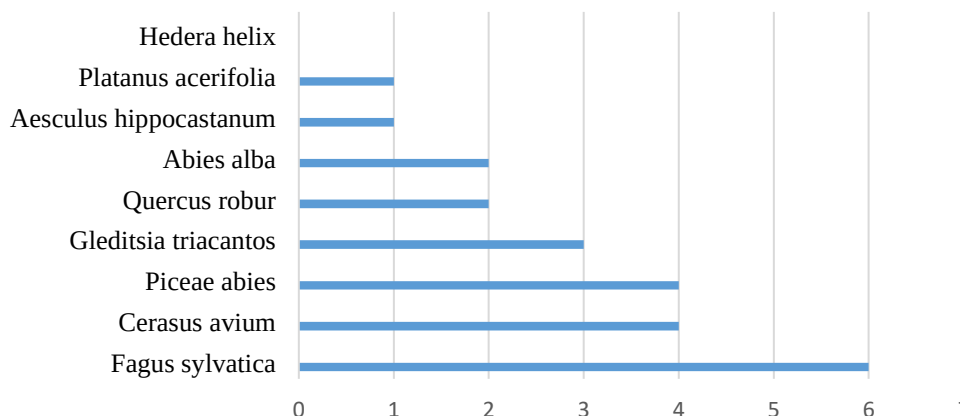


Рисунок 6 – Количественный состав лишайников на ботанических памятниках природы г. Бреста

Анализ таксономического сходства территории г. Бреста и г. Гомеля показал, что на территории г. Бреста обнаружено меньшее количество видов лишайников, из которых 14 видов не указываются для г. Гомеля [3, 4]. Однако большинство этих видов (13) известны по всей территории республики [6], а вид *Candelaria pacifica* отмечается в 5 областях Беларуси (кроме Могилевской области) [10]. В частности, *Candelaria pacifica* в Бресте обнаруживается на территориях заказников «Барбастелла», «Бугский», «Брестский», парке Воинов-интернационалистов и на коре памятника природы *Gleditsia triacanthos*. Это вид, характерный для антропогенных территорий, поселяющийся на коре чаще всего лиственных пород, иногда на древесине старых построек.

На городских территориях состав лишайников определяется прежде всего наличием субстрата произрастания [3]. На территории исследования выявлены виды лишайников, относящиеся к эпифитной, эпигейдной, эпилитной, эпиксильной эколого-субстратным группам.

В Беларуси 68,0 % видового состава лишенобиоты произрастают на коре стволов и ветвей деревьев и кустарников [13]. В городских условиях преобладают эпифитные лишайники: так, в нашем исследовании на коре указанных древесных пород произрастают 20 видов эпифитной лишенофлоры, что составляет 62,5 % от общего числа выявленных видов.

Основными форофитами в условиях г. Бреста являются *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth, *Fraxinus excelsior* L., *Quercus robur* L., *Picea pungens* f. *glauca* (Regel) Beissn, *Pinus sylvestris* L., *Populus* sp., *Robinia pseudoacacia* L., *Tilia cordata* L. По видовому разнообразию лишайников среди форофитов лидирует *Quercus robur*, на стволах которого выявлены *Candelaria pacifica*, *Evernia prunastri*, *Hypogymnia physodes*, *Lecanora chlorotera*, *Lecanora varia*, *Lecidella elaeochroma*, *Parmelia sulcata*, *Physcia aipolia*, *Physcia caesia*, *Physcia adscendens*, *Physcia stellaris*, *Xanthoria parietina*, что соответствует 38 % от общего числа видов, а также 60 % от числа видов, относящихся к эпифитной экологической группе.

В лихенофлоре Беларуси к узкоспециализированным (облигатным) эпифитам относят только 35,7 % видов, поселяющихся на коре деревьев и кустарников [13]. Исходя из конкретных условий, на участках исследования в г. Бресте из 20 видов, произрастающих на коре стволов и ветвей деревьев, к облигатным эпифитам можно отнести 8 видов: *Flavoparmelia caperata*, *Lecanora chlarotera*, *Lecanora varia*, *Lecidella elaeochroma*, *Phlyctis argena*, *Physcia aipolia*, *Physcia caesia*, *Physcia stellaris*. Эпифитные лишайники представлены 8 накипными и 12 листоватыми видами.

К эпилитной группе, заселяющей каменистые субстраты, такие как валуны, цементно-бетонные сооружения, металлические столбы, относятся виды *Protoparmeliopsis muralis*, *Rusavskia elegans* и *Candelariella aurella*. Однако последний вид был отмечен и на других субстратах.

Как указывает А. Г. Цуриков [13], большинство этих представителей являются мультисубстратными лишайниками, часто встречающимися в городской среде, как, например, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Xanthoria parietina*, большинство видов родов *Candelariella* Müll. Arg., *Physcia* (Schreb.) Michx.

В составе напочвенной флоры Беларуси в таксономическом отношении более половины лишайников являются представителями родов *Cladonia* P. Browne. и *Peltigera* Willd. [14]. В условиях Бреста на почве в местах изреженной растительности, где нет затеняющих их травянистых растений, были зарегистрированы 10 видов. В нашем исследовании спектр флоры эпигейных лишайников включает 9 видов рода *Cladonia* (*Cl. arbuscula*, *Cl. cenotea*, *Cl. chlorophaea*, *Cl. coniocraea*, *Cl. cornuta*, *Cl. phyllophora*, *Cl. fimbriata*, *Cl. rangiferina*, *Cl. squamosa*) и 1 вид рода *Peltigera* (*P. canina*).

Кроме вышеперечисленных, в группах эпифитов, эпилитов и эпигеидов соответственно 3 вида (*Buellia disciformis*, *Hypocenomyce scalaris*, *Physcia adscendens*), 1 вид (*Candelariella aurella*) и 2 вида (*Cladonia fimbriata*, *Cl. chlorophaea*) на территории Бреста выступают также в качестве эпиксиллов, поскольку помимо основных субстратов выявлены на поверхности разрушающейся древесины отмерших стволов либо старой обработанной древесины.

Жизненные формы лишайников анализировали, руководствуясь классификацией биоморф, применяемой в современных лихеногических исследованиях [15; 16]. На исследованных участках г. Бреста в видовом отношении наиболее многочисленны лишайники с листоватой биоморфой (44 % от общего числа видов). В равной мере представлены накипные и кустистые лишайники (по 28 % от общего числа видов) (таблица 4).

Классы накипных и листоватых лишайников включают по 5 групп. Среди листоватых лишайников наиболее многочисленны узколопастные лишайники (7 из 17 видов). Большинство представителей этой группы (*Physcia adscendens*, *Physcia stellaris*, *Xanthoria parietina* и др.) являются ксерофитами и приурочены к достаточно засушливым местообитаниям, типичны для городских и урбанизированных промышленных территорий [15].

Накипные морфы представлены 9 видами из групп плотнокорковых (3 вида), зернисто-бородавчатых (3 вида), чешуйчатых, плакодиоидных и трещиноватых лишайников (по 1 виду).

Таблица 4 – Биоморфологическая структура лишенофлоры исследованной территории г. Бреста

Биоморфы		Виды
класс	группа	
накипные	плотнокорковый	<i>Buellia disciformis</i> (Fr.) Mudd <i>Lecanora chlarotera</i> Nyl. <i>Phlyctis argena</i> (Spreng.) Flot
	зернисто-бородавчатый	<i>Candelariella aurella</i> (Hoffm.) Zahlbr. <i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg <i>Lecanora varia</i> (Hoffm.) Ach.
	чешуйчатый	<i>Hypocenomyce scalaris</i> (Ach. ex Lilj) M. Choisy
	плакодиоидный	<i>Protoparmeliopsis muralis</i> (Schreb.) M. Choisy
	трещиноватый	<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy
листоватые	узколопастный	<i>Candelaria pacifica</i> M. Westb. & Arup. <i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fűrnr. <i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Fűrnr. <i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H. Olivier <i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl. <i>Rusavskia elegans</i> (Link) S. Y. Kondr. et Kärnefelt <i>Xantoria parietina</i> (L.) Th. Fr.
	повисающий	<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.
	широколопастный	<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale <i>Peltigera canina</i> (L.) Willd
	вздутолопастный	<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl. <i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.) Hav.
	среднешироколопастный	<i>Melanohalea exasperatula</i> (Nyl.) O. Blanco et al. <i>Parmelia sulcata</i> Taylor
бородавчато-чешуйчато кустистые	шиловидные	<i>Cladonia coniocraea</i> (Flörke). <i>Cladonia cornuta</i> (L.) Hoffm.
	сцифовидные	<i>Cladonia cenotea</i> (Ach.) Schaer <i>Cladonia chlorophaea</i> (Flörke ex Sommerf.) Spreng. <i>Cladonia fimbriata</i> (L.) Fr. <i>Cladonia phyllophora</i> Hoffm. <i>Cladonia squamosa</i> (Scop.) Hoffm.
	кустисто-разветвленные	<i>Cladonia arbuscula</i> (Wallr.) Flot. <i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Web.

Бородавчато-чешуйчато кустистые лишайники представлены 9 видами рода *Cladonia*. По классификации биоморф рассматриваемого рода [9] выявленные виды распределяются по трем группам: виды с кустистыми сильноразветвленными подециями (*Cl. rangiferina*, *Cl. arbuscula*); виды со сцифовидными разветвленными и неразветвленными подециями (наряду со сцифовидными у ряда видов могут присутствовать палочковидные подеции) (*Cl. phyllophora*, *Cl. cenotea*, *Cl. chlorophaea*, *Cl. fimbriata*, *Cl. squamosa*); виды с палочковидными и шиловидными неразветвленными или слабо-разветвленными подециями (*Cl. coniocraea*, *Cl. cornuta*). Виды бородавчато-чешуйчато кустистых лишайников являются мезофитными лесными видами [15] и наиболее разнообразны в напочвенном покрове на территории Тельмовского лесного массива, включенного в административные границы г. Бреста.

Заклучение

На ландшафтно-рекреационных территориях и ООПТ г. Бреста установлено произрастание 32 видов лишенофлоры из 18 родов, 10 семейств и 7 порядков. Наиболее многочисленными являются порядок *Lecanorales* (19 видов), семейства *Cladoniaceae* (9 видов) и *Parmeliaceae* (6 видов). Выявленные виды лишенофлоры относятся к 3 географическим элементам и 2 ареалогическим группам. Наибольшим видовым разнообразием представлены виды мультирегионального мультизонального географического элемента. Выявленные виды лишенофлоры относятся к эпифитным, эпигейным, эпилитным, эпиксильным эколого-субстратным группам. Преобладают эпифитные лишайники – 62,5 % от общего числа видов. Наибольшее количество эпифитных видов лишайников встречаются на коре *Quercus robur*. В биоморфологическом отношении на территории исследования распространены накипные, листоватые и бородавчато-чешуйчато кустистые формы лишайников. Наиболее разнообразна группа узколопастных листоватых (21,9 % от общего числа видов).

Данные о видовом составе лишайников ландшафтно-рекреационных территорий и ООПТ г. Бреста могут найти применение при подборе видов в целях лишеноиндикации окружающей среды в г. Бресте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оценка влияния городской среды на видовое разнообразие и физиолого-биохимические особенности лишайников / А. В. Пунгин [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 3. – С. 72–77.
2. Яцына, А. П. Лишайники усадебных парков центральной части Минской области (Беларусь) / А. П. Яцына // Новости систематики низших растений. – 2013. – Т. 47. – С. 302–309.
3. Цуриков, А. Г. Лишайники Гомеля / А. Г. Цуриков, О. М. Храмченкова // Наука и инновации. – 2011. – № 6(100). – С. 68–71.
4. Цуриков, А. Г. Листоватые и кустистые городские лишайники: атлас–определитель / А. Г. Цуриков, О. М. Храмченкова; М–во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун–т. им. Ф. Скорины – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 123 с.
5. Голубков, В. В. Лишайники древесных насаждений в окрестностях Коложской церкви и Дворца творчества молодежи г. Гродно / В. В. Голубков, А. А. Хартанович // Актуальные проблемы экологии: В 2 ч. Ч. 1 : Материалы I Междунар. науч. конф., 6–8 октября 2004 г., Гродно / Гродненский гос. ун–т им. Я. Купалы ; отв. ред. Н. Канунникова. – Гродно : ГрГУ, 2005. – С. 192–196.
6. Цуриков, А. Г. Региональное распространение лишайников Беларуси / А. Г. Цуриков // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2019. – № 3 (114). – С. 83–91.
7. Белый, П. Н. Видовое разнообразие лишайников островных мест произрастания ели на территории Ивановского района (Брестская область, Беларусь) / П. Н. Белый, М. В. Кудин // Биология, систематика и экология грибов и лишайников в природных экосистемах и агрофитоценозах : матер. II Междунар. науч. конф., 20–23 сент. 2016 г., Минск – Каменюки. – Минск : Колоград, 2016. – С. 26–30.
8. Генеральный план г. Бреста: экологический доклад по стратегической экологической оценке. – Минск : Мин–во архитектуры и строительства Республики Беларусь, Научно–проектное гос. унитарн. предприятие «БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА», 2018. – 81 с.
9. Горбач, Н. В. Лишайники Беларуси. Определитель / Н.В. Горбач. – Минск : Наука и техника, 1973. – 338 с.

10. Флора Беларусі. Лишайнікі. В 4 т. Т. 1 / А.П. Яцына [і др.]; пад общ. ред. В. И. Парфенова. – Мінск : Беларуская навука, 2019. – 341 с.
11. Водорослі, лишайнікі і мохообразныя СССР / Л.В. Гарибова [і др.]; отв. ред. М. В. Горленко. – М.: Мысль, 1978. – 365 с.
12. Атлас-определитель ксилотрофных грибов, кустистых и листоватых лишайников Национального парка «Беловежская пуща» / Т. Г. Шабашова і др. – Брэст: Альтернатива, 2016. – 248 с.
13. Цуриков, А. Г. Эпифитные лишайники Беларуси. II. Облигатные и факультативные эпифиты / А. Г. Цуриков // Известия Иркутского государственного университета Сер. «Биология. Экология». – 2021. – Т. 35. С. 51–60. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.35.51>
14. Цуриков, А. Г. Предварительные сведения о напочвенных лишайниках Беларуси / А. Г. Цуриков // Вестник Оренбургского гос. пед. ун-та. – 2020. – № 4 (36). – С. 221–227. DOI: 10.32516/2303-9922.2020.36.12
15. Цуриков, А. Г. Жизненные формы лишайников Беларуси / А. Г. Цуриков // Ботанический журнал. – 2020. – Т. 105, № 6. – С. 523–541.
16. Цуриков, А. Г. Лишайники Беларуси / А. Г. Цуриков ; Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. – 379 с.

REFERENCES

1. Ocienka vlijanija horodskoj sriedy na vidovaje raznoobrazije i fiziolocho-biochimičieskije osobienności lisajnikov / A. V. Punhin [i dr.] // Tieoretičieskaja i prikladnaja ekolohija. – 2020. – № 3. – S. 72–77.
2. Jacyna, A. P. Lisajniki usadiebnych parkov cietralnoj casti Minskoj oblasti (Bielarus) / A. P. Jacyna // Novosti sistiematiki nizsich rastienij. – 2013. – Т. 47. – S. 302–309.
3. Curikov, A. H. Lisajniki Homielia / A. H. Curikov, O. M. Chramcienkova // Nauka i innovacii. – 2011. – № 6(100). – S. 68–71.
4. Curikov, A. H. Listovatyje i kustistyje horodskije lisajniki: atlas-opriedielitel / A. H. Curikov, O. M. Chramcienkova; M-vo obrazovanija Riespubliki. Bielarus, Homielskij hos. un-t. im. F. Skorini – Homiel : HHU im. F. Skorini, 2009. – 123 s.
5. Holubkov, V. V. Lisajniki dreviesnych nasazdienij v okriestnostiach Kolozskoj cietkvi i Dvorca tvorčiestva molodiezi h. Hrodno / V. V. Holubkov, A. A. Chartanovic // Aktualnyje problemy ekolohii: V 2 c. C. 1 : Matierialy I Miezdunar. nauc. konf., 6–8 oktiabria 2004 h., Hrodno / Hrodnieskij hos. un-t im. Ja. Kupaly; отв. ried. N. Kanunnikova. – Hrodno : HrHU, 2005. – S. 192–196.
6. Curikov, A. H. Riehionalnoje rasprostranienije lisajnikov Belarusi / A. H. Curikov // Izviestija Homielskoho hosudarstviennoho univiersitietia imieni F. Skorini. – 2019. – № 3 (114). – S. 83–91.
7. Bielyj, P. N. Vidovaje raznoobrazije lisajnikov ostrovnych miest proizrastanija jeli na tierritorii Ivanovskoho rajona (Briestskaja oblast, Bielarus) / P. N. Bielyj, M. V. Kudin // Biolohija, sistiematika i ekolohija hribov i lisajnikov v prirodnych ekosistiemach i ahrofitocienozach : matier. II Miezdunar. nauc. konf., 20–23 sient. 2016 h., Minsk – Kamieniuki. – Minsk : Kolohrad, 2016. – S. 26–30.
8. Hienieralnyj plan h. Briesta: ekolohičieskij doklad po stratiehičieskoj ekolohi-cieskoj ocienkie. – Minsk : Min-vo architiekтуры i stroitielstva Riespubliki Bielarus, Naucno-projektnoje hos. unitarn. priedprijatije «BIELNIIPHRADOSTROITIELSTVA», 2018. – 81 s.
9. Horbac, N. V. Lisajniki Bielarusi. Opriedielitel / N.V. Horbac. – Minsk : Nauka i tiechnika, 1973. – 338 s.

10. Flora Bielarusi. Lisajniki. V 4 t. T. 1 / A.P. Jacyna [i dr.]; pod obsch. ried. V. I. Parfienova. – Minsk : Bielaruskaja navuka, 2019. – 341 s.
11. Vodorosli, lisajniki i mochoobraznyje SSSR / L.V. Haribova [i dr.]; otv. red. M. V. Horlienکو. – M.: Mysl, 1978. – 365 s.
12. Atlas-opriedielitel ksilotrofnych hribov, kustistych i listovatych lisajnikov Nacionalnoho parka «Bieloviezskaja poscha» / T. N. Sabasova i dr. – Brest: Altiernativa, 2016. – 248 s.
13. Curikov, A. H. Epifitnyje lisajniki Bielarusi. II. Oblihatnyje i fakultativnyje epifity / A. H. Curikov // Izvestija Irkutskoho hosudarstviennoho univiersiteta Sier. «Biologhija. Ekologhija». – 2021. – T. 35. S. 51–60. <https://doi.org/10.26516/2073–3372.2021.35.51>
14. Curikov, A. H. Priedvaritielnyje sviedienija o napocviennych lisajnikach Bielarusi / A. H. Curikov // Viestnik Orienburhskoho hos. pied. un-ta. – 2020. – № 4 (36). – S. 221–227. DOI: 10.32516/2303–9922.2020.36.12
15. Curikov, A. H. Zizniennyje formy lisajnikov Bielarusi / A. N. Curikov // Botanicieskij zurnal. – 2020. – T. 105, № 6. – S. 523–541.
16. Curikov, A. H. Lisajniki Bielarusi / A. H. Curikov ; Homielskij hos. un-t im. F. Skoriny. – Homiel: HHU im. F. Skorini, 2023. – 379 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 17.03.2025

Александр Николаевич Тарасюк¹, Виктор Викторович Савчук²

¹канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²магистрант 2-го года обучения факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Alexander Tarasiuk¹, Viktor Savchuk²

¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies

of Brest State A. S. Pushkin University

²2-th Year Master's Student of the Faculty of Natural Sciences of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: ¹tarasiuk01@yandex.ru; ²svendeta3000@gmail.com

ВЛИЯНИЕ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА МИТОТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КЛЕТОК КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ ЯЧМЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО (*HORDEUM VULGARE* L.)*

Исследовано влияние brassinosterоида 24-эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с органическими кислотами 2-моносалицилата 24-эпикастастерона (S23) и тетраиндолилacetата 24-эпикастастерона (S31) в диапазоне концентраций 10^{-11} – 10^{-6} М на митотическую активность клеток корневой меристемы проростков ячменя обыкновенного. Показано, что обработка семян растворами ЭК и S23 в концентрации 10^{-11} М не оказывает существенного влияния на митотический индекс. ЭК в концентрациях 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М повышает исследуемый показатель, а в концентрациях 10^{-7} и 10^{-6} М снижает его. Увеличение митотической активности при действии S23 наблюдается только при концентрациях 10^{-10} и 10^{-9} М, тогда как при более высоких концентрациях (10^{-8} , 10^{-7} и 10^{-6} М) такая активность уменьшается. Наиболее выраженным действием, стимулирующим клеточные деления, обладает S31. Данное соединение во всех исследуемых концентрациях, за исключением 10^{-6} М, приводит к увеличению митотической активности. Наибольшим стимулирующим клеточные деления действием все исследуемые соединения обладают в концентрации 10^{-9} М.

Ключевые слова: brassinosterоиды, 24-эпикастастерон, конъюгаты 24-эпикастастерона с кислотами, митотическая активность, ячмень обыкновенный.

Effect of 24-epicastasterone and its Conjugates with Acids on Mitotic Activity of Root Meristem Cells of Common Barley (*Hordeum vulgare* L.)

The effect of brassinosteroid 24-epicastasterone (EC) and its conjugates with organic acids 2-monosalicylate 24-epicastasterone (S23) and tetraindolylacetate 24-epicastasterone (S31) in the concentration range of 10^{-11} – 10^{-6} M on the mitotic activity of root meristem cells of common barley seedlings was studied. It was shown that seed treatment with EC and S23 solutions at a concentration of 10^{-11} M did not significantly affect the mitotic index. EC at concentrations of 10^{-10} , 10^{-9} and 10^{-8} M increased the studied index, while at concentrations of 10^{-7} and 10^{-6} M it decreased it. An increase in mitotic activity under the action of S23 was observed only at concentrations of 10^{-10} and 10^{-9} M, whereas at higher concentrations (10^{-8} , 10^{-7} and 10^{-6} M) such activity decreased. S31 has the most pronounced effect stimulating cell division. This compound in all studied concentrations, with the exception of 10^{-6} M, leads to an increase in mitotic activity. All studied compounds have the greatest effect stimulating cell division at a concentration of 10^{-9} M.

Key words: brassinosteroids, 24-epicastasterone, conjugates of 24-epicastasterone with acids, mitotic activity, common barley.

Введение

Современное растениеводство остро нуждается в новых подходах к увеличению урожайности сельскохозяйственных культур и повышению их устойчивости к дей-

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных brassinosterоидов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» подпрограммы «Химические основы процессов жизнедеятельности» (Биоорганическая химия) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганическая химия» на 2021–2025 гг. (номер государственной регистрации 20211450 от 20.05.2021).

ствию неблагоприятных факторов среды. Одним из перспективных направлений решения этого вопроса является использование природных и синтетических регуляторов роста и развития растений, к числу которых относятся brassinosterоиды – растительные стероидные гормоны, играющие ключевую роль в регуляции роста, развития и стрессоустойчивости растений [1]. Положительное влияние этих соединений на рост и развитие растений, а также на устойчивость к действию неблагоприятных факторов среды и болезням установлено для ряда сельскохозяйственных культур, однако число веществ этого класса, обладающих значительной ростстимулирующей активностью, весьма ограничено [2; 3]. В связи с этим важной задачей является поиск новых веществ из класса brassinosterоидов, способных оказывать положительное влияние на различные физиолого-биохимические показатели сельскохозяйственных растений. К числу таких веществ относятся конъюгаты brassinosterоидов с кислотами, действие которых на растительные организмы остается малоизученным.

Важнейшим показателем, характеризующим влияние биологически активных соединений на ростовые процессы, является митотическая активность меристематических тканей, которые являются наиболее чувствительными и активно реагирующими на внешние воздействия [4]. Это связано с тем, что рост растений тесно коррелирует с процессами деления клеток, поэтому влияние регуляторов роста растений на митотическую активность клеток меристемы отражает их действие на ростовые процессы в целом. В исследованиях на горохе, рапсе, кукурузе и других сельскохозяйственных культурах установлено, что различные химические вещества и физические факторы оказывают существенное влияние на величину митотического индекса как показателя митотической активности [4–6]. Отмечено снижение значений митотического индекса при действии электромагнитного излучения, высокой температуры и увеличение данного показателя при действии лазерного излучения и малых доз радиации. Показаны различия в эффектах разных фитогормонов: индолилуксусная кислота и brassinolid увеличивали митотическую активность клеток корневой меристемы, тогда как цитокинин и гибберелловая кислота снижали.

Данные о влиянии brassinosterоидов на ростовые процессы на клеточном уровне немногочисленны. Установлено, что они способны активизировать процессы клеточных делений и усиливать растяжение клеток, что приводит к удлинению и утолщению междоузлий растений. Получены доказательства прямого влияния brassinosterоидов на клеточные деления. Так, в суспензионных культурах клеток БС-дефицитных мутантов *Arabidopsis thaliana* добавление brassinosterоидов в питательную среду активизировало клеточные деления, что позволяло даже заменить цитокинин в процессе культивирования [7].

Так как рост растений тесно коррелирует с процессами деления клеток, то максимальное увеличение митотической активности наблюдается в период наибольшей стимуляции роста. Поэтому изучение влияния новых соединений из класса brassinosterоидов – их конъюгатов с органическими кислотами – на митотическую активность клеток меристематических тканей открывает широкие возможности регулирования процессов роста и органогенеза растений в целом и в итоге – их продуктивности [6].

Целью данного исследования является оценка влияния brassinosterоида 24-эпикастастерона и его конъюгатов с салициловой и индолилуксусной кислотами на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного и выявление оптимальных концентраций данных соединений для использования в качестве регуляторов роста.

Материал и методы

Для проведения исследований использовали семена ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта Щедрый. Экспериментальные воздействия осуществляли путем замачивания семян в течение 5 ч в растворах 24-эпикастерона (ЭК), 2-моносалицилата 24-эпикастерона (S23) и тетраиндолилацетата 24-эпикастерона (S31) в концентрациях 10^{-11} , 10^{-10} , 10^{-9} , 10^{-8} , 10^{-7} и 10^{-6} М. Исследуемые соединения были предоставлены лабораторией химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси.

Проращивание семян ячменя проводили согласно ГОСТ 12038-84 [8]. По достижении корешками длины 1,5–2 см, примерно через 2–3 суток после начала проращивания, их фиксировали в свежеприготовленном спиртукусном (3 : 1) фиксаторе. Цитологические препараты корневой меристемы готовили общепринятым ацето-орсеиновым методом [9].

Анализ препаратов с целью определения митотической активности осуществляли на микроскопе МИКМЕД-5 при увеличении 15 х 40. В каждом варианте опыта анализировали не менее 2000 клеток с препаратов корешков 5–6 проростков. Для каждого корешка в трех полях зрения проводили подсчет числа клеток, находящихся на стадиях интерфазы (И), профазы (П), метафазы (М), анафазы (А) и телофазы (Т) соответственно. В качестве показателя митотической активности клеток использовали митотический индекс (МИ), измеряемый в промилле (‰), который рассчитывали по следующей формуле (1) [9]:

$$\text{МИ} = \frac{\text{П} + \text{М} + \text{А} + \text{Т}}{\text{П} + \text{М} + \text{А} + \text{Т} + \text{И}} \cdot 1000. \quad (1)$$

Статистическую обработку проводили с использованием программы Microsoft Excel. Определяли средние значения митотического индекса и стандартные ошибки средних. Для оценки достоверности различий использовали t-критерий Стьюдента [10].

Результаты и их обсуждение

Данные о влиянии 24-эпикастерона (ЭК) на величину митотического индекса (МИ) клеток корневой меристемы ячменя приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Как видно из приведенных данных, МИ в контроле составляет 86,36 ‰. ЭК в концентрации 10^{-11} М практически не оказывает влияния на данный показатель: наблюдаемое снижение МИ на 0,42 % по сравнению с контролем не является существенным. При действии ЭК в концентрациях 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М наблюдается увеличение МИ до значений 100,43; 133,01 и 103,79 ‰ соответственно, отличия от контроля составляют 16,19; 54,01 и 20,18 %. Для концентраций ЭК 10^{-9} и 10^{-8} М такое увеличение является достоверным (при $P < 0,05$ и $0,001$). Более высокие концентрации ЭК, напротив, вызывают снижение митотического индекса с 86,36 ‰ в контроле до 76,79 ‰ при концентрации 10^{-7} М и 62,61 ‰ при концентрации 10^{-6} М (отличия от контроля достоверны при $P < 0,05$ и $0,001$ соответственно). При этих концентрациях МИ снижается на 11,09 и 27,51 % по отношению к контролю.

Таблица 1 – Влияние 24-эпикастерона (ЭК) на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.)

Вариант опыта	Митотический индекс (МИ)	
	‰	% к контролю
Контроль	86,36 ± 2,73	100,0
ЭК, 10^{-11} М	86,0 ± 5,58	99,58

Окончание таблицы 1

ЭК, 10^{-10} М	$100,43 \pm 6,75$	116,29
ЭК, 10^{-9} М	$133,01 \pm 7,15^{***}$	154,01
ЭК, 10^{-8} М	$103,79 \pm 6,97^*$	120,18
ЭК, 10^{-7} М	$76,79 \pm 3,74^*$	88,91
ЭК, 10^{-6} М	$62,61 \pm 4,45^{***}$	72,49

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; *** – при $P \leq 0,001$.



1, 2, 3, 4, 5, 6 – ЭК в концентрациях 10^{-11} , 10^{-10} , 10^{-9} , 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} М.

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастерона (ЭК) на митотический индекс клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного (отличия от контроля, %)

Таким образом, ЭК в минимальной концентрации 10^{-11} М не оказывает влияния на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя, в концентрациях 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М повышает ее, а в концентрациях 10^{-7} и 10^{-6} М приводит к снижению исследуемого показателя. Наибольшее увеличение митотической активности наблюдается при действии ЭК в концентрации 10^{-9} М.

Данные о влиянии 2-моносалицилата 24-эпикастерона (S23) на величину митотического индекса (МИ) клеток корневой меристемы ячменя приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

Из приведенных данных следует, что, как и в случае с ЭК, S23 в концентрации 10^{-11} М не оказывает существенного влияния на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя. Митотический индекс при данной концентрации снижается с 86,36 % в контроле до 84,28 % в опытном варианте, что меньше контрольного значения всего на 2,41 %. При действии S23 в концентрациях 10^{-10} и 10^{-9} М наблюдается увеличение МИ с 86,36 % в контроле до 107,59 и 112,13 % в опытных вариантах, что превышает контрольное значение на 24,58 и 29,84 % соответственно. При этом эффект влияния S23 на митотическую активность является достоверным (при $P < 0,01$ и $0,05$ для концентраций 10^{-10} и 10^{-9} М). S23 в более низких концентрациях (10^{-8} , 10^{-7} и 10^{-6} М) вызывает снижение митотического индекса до значений 76,71, 63,83 и 58,77 % (в контроле 86,36 %). По отношению к контролю МИ при этих концентрациях снижается на 11,8; 26,09 и 31,95 %. Для концентраций S23 10^{-7} и 10^{-6} М такое снижение является высокодостоверным ($P < 0,001$).

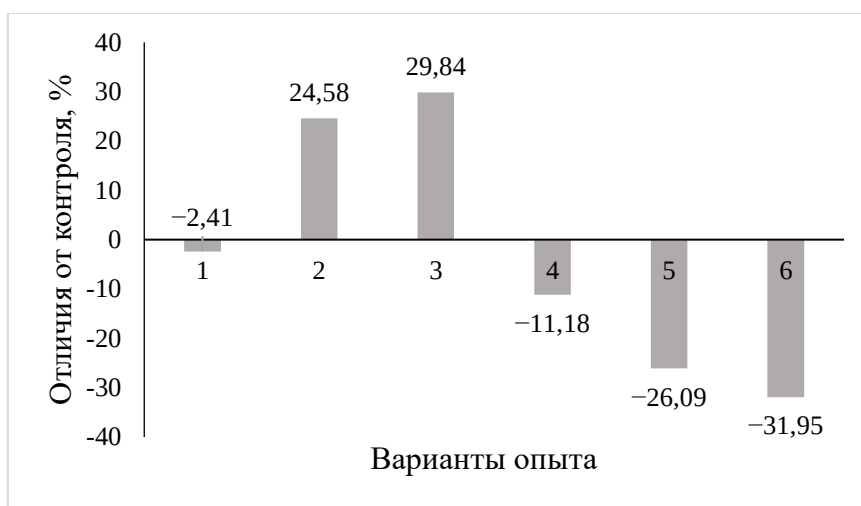
Таким образом, S23 в минимальной концентрации 10^{-11} М не оказывает существенного влияния на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя, в концентрациях 10^{-10} , 10^{-9} М повышает ее, а в концентрациях 10^{-8} , 10^{-7} и 10^{-6} М приводит к сни-

жению исследуемого показателя. С увеличением концентрации S23 от 10^{-8} до 10^{-6} М ингибирующий эффект его действия усиливается. Наибольшее увеличение митотической активности наблюдается при действии S23 в концентрации 10^{-9} М.

Таблица 2 – Влияние 2-моносалицилата 24-эпикастастерона (S23) на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.)

Вариант опыта	Митотический индекс (МИ)	
	‰	% к контролю
Контроль	$86,36 \pm 2,73$	100,0
S23, 10^{-11} М	$84,28 \pm 3,91$	97,59
S23, 10^{-10} М	$107,59 \pm 5,1^*$	124,58
S23, 10^{-9} М	$112,13 \pm 9,38^*$	129,84
S23, 10^{-8} М	$76,71 \pm 5,9$	88,82
S23, 10^{-7} М	$63,83 \pm 3,35^{***}$	73,91
S23, 10^{-6} М	$58,77 \pm 5,35^{***}$	68,05

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; *** – при $P \leq 0,001$.



1, 2, 3, 4, 5, 6 – S23 в концентрациях 10^{-11} , 10^{-10} , 10^{-9} , 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} М.

Рисунок 2 – Влияние 2-моносалицилата 24-эпикастастерона (S23) на митотический индекс клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного (отличия от контроля, %)

Данные о влиянии тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона (S31) на величину митотического индекса (МИ) клеток корневой меристемы ячменя приведены в таблице 3 и на рисунке 3.

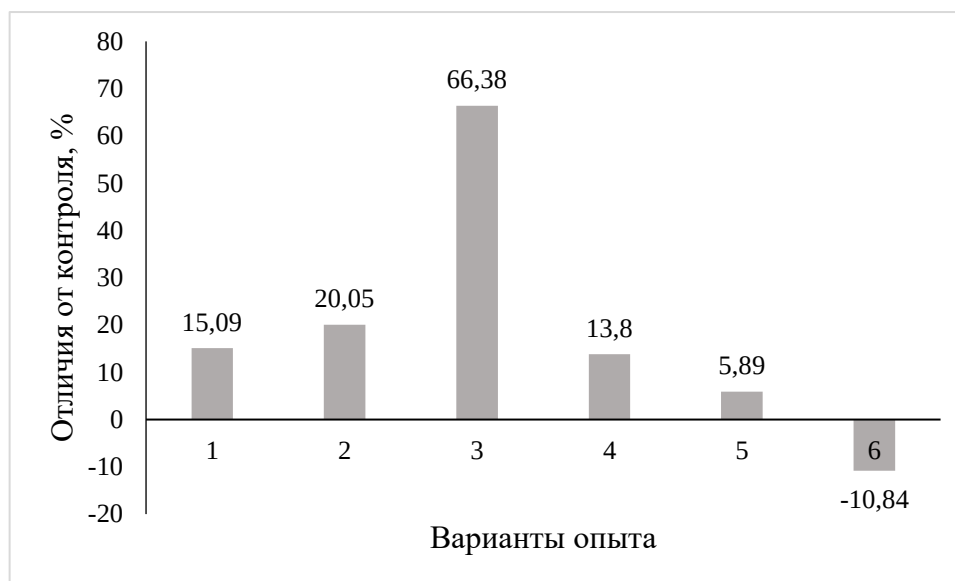
Из приведенных данных следует, что обработка семян растворами S31 во всех исследуемых концентрациях, за исключением самой высокой (10^{-6} М), приводит к увеличению значений МИ с $86,36 \%$ в контроле до $99,4$; $103,68$; $143,69$; $98,28$ и $91,45 \%$ при концентрациях 10^{-11} , 10^{-10} , 10^{-9} , 10^{-8} и 10^{-7} М соответственно. Такое увеличение является достоверным для концентраций S31 в диапазоне 10^{-11} – 10^{-8} М.

Наибольший эффект увеличения митотической активности наблюдается при действии S31 в концентрации 10^{-9} М: значение МИ при этой концентрации превышает контрольное значение на $66,38 \%$. Снижение МИ при действии S31 в концентрации 10^{-6} М не является достоверным, отличия от контроля составляют $10,84 \%$.

Таблица 3 – Влияние тетраиндолилацетата 24-эпикастерона (S31) на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.)

Вариант опыта	Митотический индекс (МИ)	
	%	% к контролю
Контроль	86,36 ± 2,73	100,0
S31, 10 ⁻¹¹ М	99,40 ± 4,69*	115,09
S31, 10 ⁻¹⁰ М	103,68 ± 4,14**	120,05
S31, 10 ⁻⁹ М	143,69 ± 4,99***	166,38
S31, 10 ⁻⁸ М	98,28 ± 4,89*	113,8
S31, 10 ⁻⁷ М	91,45 ± 6,27	105,89
S31, 10 ⁻⁶ М	77,0 ± 5,62	89,16

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.



1, 2, 3, 4, 5, 6 – S31 в концентрациях 10⁻¹¹, 10⁻¹⁰, 10⁻⁹, 10⁻⁸, 10⁻⁷, 10⁻⁶ М.

Рисунок 3 – Влияние тетраиндолилацетата 24-эпикастерона (S31) на митотический индекс клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного (отличия от контроля, %)

Таким образом, в отличие от ЭК и S23, S31 уже в самой минимальной концентрации (10⁻¹¹ М) приводит к достоверному увеличению МИ. В целом к увеличению митотической активности клеток корневой меристемы ячменя приводит действие всех исследуемых концентраций S31, за исключением самой высокой (10⁻⁶ М). Максимальный эффект повышения митотической активности наблюдается при действии S31 в концентрации 10⁻⁹ М.

Заключение

Проведено исследование влияния 24-эпикастерона (ЭК) и его конъюгатов с биологически значимыми органическими кислотами (салициловой и индолилуксусной) – 2-моносалицилата 24-эпикастерона (S23) и тетраиндолилацетата 24-эпикастерона (S31) – на митотическую активность клеток корневой меристемы ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.). Установлено, что обработка семян растворами ЭК и S23 в концентрации 10⁻¹¹ М не оказывает существенного влияния на исследуемый показатель. При действии данных соединений в концентрациях 10⁻¹⁰ и 10⁻⁹ М наблюдается увеличение митотической активности, для

ЭК такое увеличение происходит и при концентрации 10^{-8} М. ЭК и S23 в более высоких концентрациях, напротив, приводят к снижению митотической активности клеток корневой меристемы: такое снижение наблюдается при действии ЭК в концентрациях 10^{-7} и 10^{-6} М, а S23 – в концентрациях 10^{-8} , 10^{-7} и 10^{-6} М. S31, в отличие от ЭК и S23, обладает более выраженным стимулирующим клеточные деления действием. Во всех исследуемых концентрациях, за исключением самой высокой (10^{-6} М), S31 вызывает увеличение митотической активности клеток корневой меристемы. Наибольший стимулирующий эффект для всех исследуемых соединений наблюдается при концентрации 10^{-9} М. Эта концентрация может быть рекомендована для практического использования, как обладающая наиболее выраженным ростстимулирующим действием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Князева, Т. В. Регуляторы роста в Краснодарском крае / Т. В. Князева. – Краснодар: ЭДВИ, 2013. – 128 с.
2. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Наука и техника, 1993. – 287 с.
3. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.]; под общ. ред. С. Э. Карозы; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2019. – 261 с.
4. Дмитриева, С. А. Митотический индекс меристематических клеток и рост корней гороха *Pisum sativum* при действии модуляторов инозитольного цикла / С. А. Дмитриева, Ф. В. Минибаева, Л. Х. Гордон / Цитология. – 2006. – Т. 48. – № 6. – С. 475–479.
5. Каташов, Д. А. Влияние фитогормонов и селената натрия на митотическую активность апикальных меристем корней проростков рапса (*Brassica napus*) / Д. А. Каташов, В. Н. Хрянин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2(2). – С. 49–54.
6. Изучение суточной периодичности митозов в клетках меристем проростков лукавицы лука *Allium cepa* L. / С. А. Беждугова [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 3. – С. 96–99.
7. Носов, А. В. Клеточный цикл растений: молекулярные события, регуляция внешними факторами и фитогормонами / А. В. Носов, А. А. Фоменков // Физиология растений. – 2023. – Т. 70. – № 4. – С. 433–448.
8. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Межгосударственный стандарт: ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартиформ, 2011. – 29 с.
9. Паушева, З. П. Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М. : Агропромиздат, 1988. – 271 с.
10. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Высшая школа, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Knjazeva, T. V. Regulatory rosta v Krasnodarskom krae / T. V. Knjazeva. – Krasnodar: EDVI, 2013. – 128 s.
2. Hripach, V. A. Brassinosteroidy / V. A. Hripach, F. A. Lahvich, V. N. Zhabinskij. – Minsk : Nauka i tehnika, 1993. – 287 s.

3. Biologicheskaja aktivnost' brassinosteroidov i steroidnyh glikozidov / S. Je. Karoza [i dr.]; pod obshh. red. S. Je. Karozy; Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina. – Brest : BrGU, 2019. – 261 s.
4. Dmitrieva, S. A. Mitoticheskij indeks meristematičeskikh kletok i rost kornej goroha *Pisum sativum* pri dejstvii moduljatorov inozitol'nogo cikla / S. A. Dmitrieva, F. V. Minibaeva, L. H. Gordon / Citologija. – 2006. – T. 48. – № 6. – S. 475–479.
5. Katashov, D. A. Vlijanie fitogormonov i selenata natrija na mitoticheskiju aktivnost' apikal'nyh meristem kornej prorostkov rapsa (*Brassica napus*) / D. A. Katashov, V. N. Hrjanin // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Estestvennye nauki. – 2013. – № 2(2). – S. 49–54.
6. Izučenie sutočnoj periodičnosti mitozov v kletkah meristem prorostkov lukovicy luka *Allium cepa* L. / S.A. Bezhdugova [i dr.] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2018. – № 3. – S. 96–99.
7. Nosov, A. V. Kletochnyj cikl rastenij: molekuljarnye sobytija, reguljacija vneshnimi faktorami i fitogormonami / A. V. Nosov, A. A. Fomenkov // Fiziologija rastenij. – 2023. – T. 70. – № 4. – S. 433–448.
8. Semena sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Metody opredelenija vshozhesti. – Mezghosudarstvennyj standart: GOST 12038–84. – Vved. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.
9. Pausheva, Z. P. Praktikum po citologii rastenij / Z. P. Pausheva. – M. : Agropromizdat, 1988. – 271 s.
10. Rokickij, P. F. Biologicheskaja statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Vyshejšhaja shkola, 1973. – 320 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 17.03.2025

УДК 612.176

DOI 10.63874/2218-0311-2025-1-117-130

Галина Евгеньевна Хомич¹, Елена Николаевна Саваневская²¹канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина²канд. биол. наук, доц. каф. физиологии человека и животных
Белорусского государственного университета**Halina Khomich¹, Alena Savaneuskaya²**¹Candidate of Biological Sciences, Docent of Department
of Anatomy, Physiology and Human Safety
of Brest State A. S. Pushkin University²Candidate of Biological Sciences, Docent of Department
of Human and Animal Physiology of Belarusian State University
e-mail: medicine@brsu.brest.by

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ТУРКМЕНСКИХ И БЕЛОРУССКИХ СТУДЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕСТА ЛЮШЕРА

Часто используемым методом исследования высшей нервной деятельности и психического состояния личности является цветовой тест М. Люшера. Данный тест демонстрирует многомерный феномен сопряженного воздействия цвета на физиологическое и психологическое состояние человека. С его помощью можно установить зависимость между текущим психофизиологическим состоянием человека и определенной цветовой гаммой. Данную методику можно применять для самодиагностики и коррекции своего психологического состояния; анализа конфликтов в семье, а также причин, влияющих на личностные качества.

Ключевые слова: высшая нервная деятельность, психофизиологическое состояние, многомерный феномен, личностные качества.

Characteristics of the Features of Higher Nervous Activity for Turkmen and Belarusian Students Using the Lusher Test

A frequently used method for studying higher nervous activity and the mental state of a person is the M. Lusher color test. This test demonstrates the multidimensional phenomenon of the conjugate effect of color on the physiological and psychological state of a person. With its help, it is possible to establish a relationship between the current psychophysiological state of a person and a certain color scale. This technique can be used for self-diagnosis and correction of one's psychological state; analysis of conflicts in the family as well as the causes affecting personal qualities.

Key words: higher nervous activity, psychophysiological state, multidimensional phenomenon, personal qualities.

Введение

Одним из способов исследования высшей нервной деятельности и психического состояния личности выступает цветовой тест Макса Люшера. Данный тест базируется на экспериментально установленной зависимости между выбором человеком определенных цветов (оттенков) и его актуальным психофизиологическим состоянием. Тестовые цвета были подобраны Люшером в ходе экспериментов из 4500 цветовых тонов.

Существует «полная» версия теста Люшера (клиническая) и «упрощенная» (восьмицветная).

Клинический тест Люшера включает в себя информацию, раскрывающую как осознаваемые, так и скрытые психические структуры личности. С его помощью можно проанализировать различные аспекты психического состояния, эмоционального баланса, продуктивности, предрасположенности к неврозам, а также характер и степень нарушений. Помимо этого, клинический тест Люшера предоставляет важные физиоло-

гические данные и конкретные терапевтические указания, что крайне ценно для врачей, психологов и психотерапевтов.

Упрощенная версия клинического теста – восьмицветный тест – включает восемь цветов: четыре основных (синий, желтый, красный, зеленый) и четыре дополнительных (фиолетовый или бордовый, коричневый, нейтральный серый, черный). Он отражает ключевые стороны индивидуальности человека и выделяет зоны психологического и физического напряжения.

Выбор одного цвета и отказ от другого имеют особый смысл: такой выбор четко отражает направленность испытуемого на определенную деятельность, его настроение и эмоциональный фон. Многочисленные эксперименты с цветовым тестом Люшера, проведенные среди людей разных культур по всему миру, доказали, что влияние цвета является универсальным [1].

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на 25 белорусских и 25 туркменских студентах Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина в межсессионный период в перерывах между учебными занятиями. Испытуемым студентам предлагался для выполнения «упрощенный» тест Люшера, состоящий из восьми цветов, – четырех основных (синий, желтый, красный, зеленый) и четырех дополнительных (фиолетовый или бордовый, коричневый, нейтральный серый, черный).

Общие значения цветов:

Темно-синий: согласие, умиротворение, единение, слияние, начало координат, любовь (матери и ребенка). Это небо и изначальный океан, где зародилась жизнь. Состояние счастья еще не родившегося малыша.

Темно-зеленый: символ – росток, пробивающийся сквозь асфальт. Настойчивость, решимость, жизнерадостность, упорство, целеустремленность, амбициозность, своеволие.

Оранжево-красный: символ – пламя, кровь, взрыв. Расширение, рост Я, подчинение окружения, мощь, энергия, активность во всех сферах.

Лимонно-желтый: символ – расходящийся луч солнца. Перемены, новые перспективы, творчество, пластичность, растворение, отклик на внешние раздражители, всепроникновение, радость.

Бордовый: соединение красного и синего. Творчество, загадочность, неординарность, гармония духовного, возрождение, появление нового, удвоение сути, хрупкое динамическое равновесие.

Светло-коричневый (сочетание красного и черного, желтого и черного): волнение, тревога, недуг, неприкаянность, неуверенность, ощущение дискомфорта, физический и душевный дискомфорт, значимость телесных ощущений.

Черный: символ – крах, пустота, тьма, гибель, уничтожение. Является усилителем соседнего цвета – экстравагантность.

Каждый цвет также олицетворяет определенный этап жизни человека: 1 – период до рождения; 2 – рождение; 3 – активное развитие и познание мира; 4 – социализация, вхождение в общество; 5 – период вынашивания и воспитания потомства; 6 – старость, болезни, заботы; 7 – смерть; 0 – небытие, скрытое существование.

Выявляемый тестом «цветовой тип поведения», несущий сигнальное или защитное значение, зависит от множества внешних и внутренних причин. Вместе с тем желание иметь или избежать чего-то, вызывая внутреннее напряжение, ощущение внутреннего беспокойства и тревоги, определяет ведущую потребность, направленность мотивов, индивидуальный стиль высшей нервной деятельности, включая и поведение человека.

Перед студентом в любом порядке раскладывали карточки Люшера с различными цветами таким образом, чтобы они находились рядом и не закрывали друг друга. Испытуемый должен был назвать цвет карточки, который в данный момент времени ему нравится больше всего (наиболее приятный). В таблице этот цвет отмечали цифрой 1. Карточку Люшера с этим цветом закрывали.

Из оставшихся карточек опрашиваемый студент опять выбирал цвет, который ему больше всего понравился. В таблице его отмечали цифрой 2. Карточку с этим цветом закрывали. Из оставшихся карточек опрашиваемый студент опять выбирал цвет, который ему больше всего нравился. В таблице его отмечали цифрой 3. И так продолжали, пока карточки Люшера не заканчивались.

Учитывая мнение некоторых физиологов (Hering), обнаруживших, что зрительный пурпур в глазу изменяется под влиянием цветов: светлых – в направлении успокоения, темных – в направлении возбуждения, у испытуемых регистрировался цвет их радужной оболочки глаз.

Согласно М. Люшеру, положение каждого цвета в начале или в конце ряда указывает на желание иметь или избежать чего-то, вызывая внутреннее напряжение, ощущение внутреннего беспокойства и тревоги, определяет ведущую потребность, направленность мотивов, индивидуальный стиль высшей нервной деятельности, включая и поведение человека.

(Синий) в начале ряда олицетворяет необходимость в сильной привязанности, стремление к внешней опоре, душевному уюту и умиротворению. Синий цвет – это сосредоточенность, то есть «интимность» переживаний.

Синий в конце ряда отражает неудовлетворенность в нежности, любви, согласии и спокойствии. Тот, кто отвергает синий, испытывает одиночество и разочарование в эмоциональных связях. Существующие отношения не приносят удовлетворения, но отказаться от них невозможно, т. к. шансы найти что-то лучше крайне малы.

(Зеленый) в начале ряда характеризует личность, которая настойчива, умеет планировать свои шаги, упорна, а порой даже своевольна (особенно если зеленый находится на 3–4 позиции).

Зеленый в конце ряда – у человека все «идет наперекосяк», самооценка снижена, и попытки сохранить статус кажутся бессмысленными. Ощущение принужденности, загнанности в тупик, давления извне, переживание собственной слабости, отсутствия воли и низкой самооценки.

(Красный) в начале ряда – предпочтение красного говорит о желании все испытать лично, пропустить через себя множество впечатлений. Это потребность в активных переживаниях, которые создают ощущение полноты жизни. Широта взглядов, отклик на внешние события, интерес ко всему происходящему, энергичность, сексуальность и стремление контролировать ситуацию.

Красный в конце ряда указывает на невозможность реализовать вышеупомянутые стремления, включая желание достичь значимого положения, важного для чувства собственной значимости. Человек чувствует себя «бабочкой, бьющейся о стекло». Силы истощены в борьбе с внешними препятствиями. Возможны вспыльчивость и проблемы с сосудами.

(Желтый) в начале ряда символизирует тягу к новизне, созиданию, кокетству, легкомыслию, изменчивости и порывистости. Это отклик на новые впечатления, жажда изменений, эмоциональность и «детская» непосредственность восприятия мира. Желтый, в отличие от красного, скорее означает слияние с окружающей действительностью.

Желтый в конце ряда говорит о невротическом гиперконтроле, поведении, обусловленном множеством трудностей и обязанностей. Подавление творческого потенци-

ала, ощущение предопределенности судьбы, отсутствие пространства для спонтанности и гибкости. Человек чувствует нехватку времени и невозможность управлять своей жизнью.

(Бордовый или фиолетовый) в начале ряда отражает потребность во внешнем равновесии, часто из-за отсутствия внутреннего. Ориентация на внешний или общепринятый контроль, дипломатичность, неприятие резкости, тяга к искусству, философии и нестандартным хобби. Все необычное вызывает живой интерес. Некоторые источники связывают выбор бордового цвета с детьми, беременными женщинами и гомосексуалистами, однако интерпретация должна учитывать и другие аспекты, такие как эмоциональность и гормональные сдвиги.

Бордовый (фиолетовый) в конце ряда – человек настроен скептически. Неудовлетворенность утонченными, духовными связями переносится на предметы и идеи. Разочарование в практичности и приземленности людей может приводить к цинизму, где идея ставится выше личности.

(Коричневый) в начале ряда указывает на переживание волнения, тревоги, физического и душевного дискомфорта. Человек стремится к удобству, избавлению от трудностей и не хочет привлекать к себе внимание. Точное значение зависит от соседних цветов и их расположения.

Коричневый в конце ряда символизирует потребность в самореализации. Человек хочет, чтобы его уважали без условий. Он готов бороться за право быть собой, даже ценой лишений. Это одиночество среди людей с высокими требованиями к себе и окружающим.

(Черный) в начале ряда усиливает значение соседнего цвета. Символизирует экстравагантность, избыточность, крайности и нарушение адаптации.

Черный в конце ряда отражает желание прожить жизнь полноценно и стремление к свободе в самоопределении. Человек отрицает смерть и подавляет страх перед ней.

Для каждого студента определялся цвет, который он ставил в начале и в конце цветового ряда теста Люшера. Находимся средние значения для групп испытуемых студентов.

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных выполняли с помощью пакета стандартных программ на персональном компьютере. Для оценки достоверности различий результатов использовали t-критерий Стьюдента. Различия между выборками считали достоверным, если значение t-критерия Стьюдента превышало 5 %-й уровень значимости.

Л. Н. Собчик, применяя тест Люшера, определила перечень потребностей, которые связаны с основными цветами.

Основные потребности и склонности, выявляемые цветами методики по Л. Н. Собчик:

синий цвет – необходимость глубокой привязанности, стремление к внешней опоре, душевному уюту и умиротворению;

зеленый цвет – потребность в защите собственной позиции, оборонительность, агрессивность, носящая защитный характер;

красный цвет – стремление к достижениям, обладанию, власти, склонность к наступательной агрессии «завоевателя», целеустремленность, высокая поисковая активность;

желтый цвет – потребность в социальной активности, движении, эмоциональной вовлеченности; переживания и общение становятся необходимым процессом;

серый цвет – необходимость в успокоении, отдыхе, склонность к пассивности;

черный цвет – потребность в независимости через протест, негативное отношение к любым авторитетам и внешнему давлению;

коричневый цвет – стремление к снижению тревоги, желание психологического и физического комфорта;

бордовый (фиолетовый) цвет – потребность в уходе от реальности, склонность к иррациональным притязаниям, нереалистичные требования к жизни, субъективизм, индивидуалистичность, эмоциональная незрелость.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные, полученные при тестировании по тесту Люшера туркменских студентов, приведены в таблице 1, а белорусских студентов – в таблице 2. Конкретные фамилии и имена студентов заменены порядковыми номерами. Из 25 туркменских студентов выбрали первый, наиболее понравившийся цвет: синий – 5 человек; зеленый – 3 человека; красный – 2 человека; желтый – 4 человека; бордо – 5 человек; коричневый – 3 человека; черный – 1 человек; серый – 2 человека. Сравнительное распределение количества студентов, выбравших определенный цвет первым, представлено на рисунке 1.

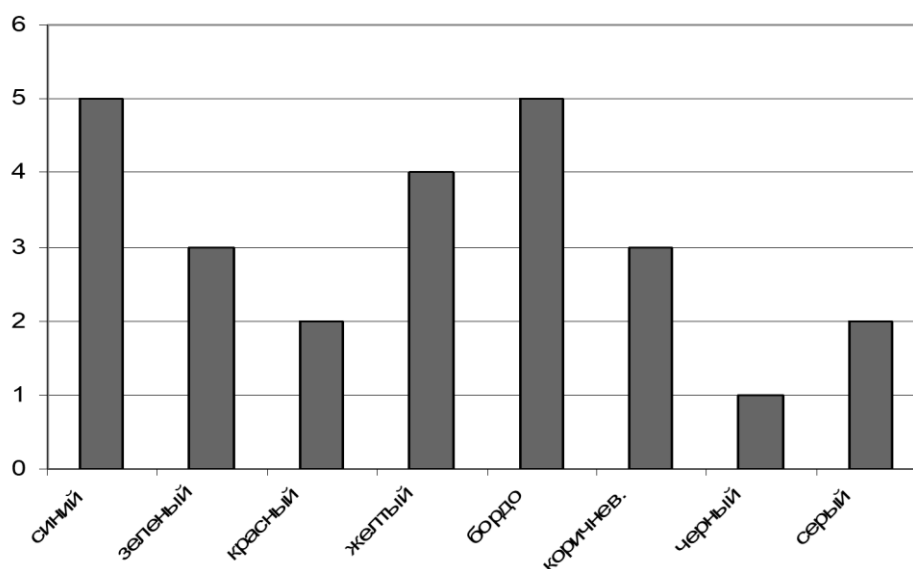


Рисунок 1 – Количество туркменских студентов, выбравших цвет первым

Таблица 1 – Результаты тестирования по тесту Люшера туркменских студентов

Номер испытуемого	Цвет глаз	Цвета карточек Люшера									
		синий	зеленый	красный	желтый	бордо	коричневый	черный	серый		
1	коричневый	2	1	3	4	5	8	6	7		
2	коричневый	1	2	5	4	7	8	6	3		
3	карий	6	5	3	4	1	2	7	8		
4	черный	2	1	7	4	3	8	5	6		
5	черный	3	7	1	2	8	5	4	6		
6	коричневый	5	3	2	8	7	1	6	4		
7	зеленый	4	3	1	7	5	6	2	8		
8	зеленый	4	2	3	6	8	7	1	5		
9	черный	6	4	5	7	2	3	8	1		
10	коричневый	3	5	4	2	1	7	8	6		
11	коричневый	7	6	5	2	8	1	4	3		
12	зеленый	4	3	6	5	1	8	2	7		
13	коричневый	6	2	7	1	3	5	4	8		
14	черный	6	1	5	4	8	2	7	3		
15	коричневый	5	8	4	1	3	7	2	6		
16	коричневый	1	7	3	6	2	5	8	4		
17	черный	8	3	7	2	5	4	6	1		
18	карий	3	4	2	5	1	6	7	8		
19	зеленый	1	3	7	2	6	5	8	4		
20	зеленый	7	6	2	5	1	4	3	8		
21	черный	1	8	3	2	7	6	5	4		
22	коричневый	8	7	6	1	5	4	3	2		
23	черный	8	7	6	5	2	1	4	3		
24	коричневый	5	4	7	1	8	2	3	6		
25	карий	1	3	4	2	5	6	7	8		

Как видно из рисунка 1, 20 % туркменских студентов выбрали первым синий цвет, что в соответствии с тестом Люшера и согласно интерпретации Л. Н. Собчик свидетельствует о необходимости глубокой привязанности, стремлении к внешней опоре, душевному уюту и умиротворению.

Еще 20 % студентов выбрали первым бордовый цвет, что по тесту Люшера символизирует потребность во внешней гармонии и контроля, о неприятии грубого обращения, тяге к искусству и необычным увлечениям. 16 % туркменских студентов больше всего понравился желтый цвет, что свидетельствует о тяге к новизне, жажде перемен, эмоциональности и непоседливости. Только небольшой процент студентов выбрали первым черный цвет (4 %, 1 человек) красный и серый цвета (по 8 %, по 2 человека), что свидетельствует о нарушении адаптации, эксцентричности, потребности во власти и в агрессивности защитного характера.

Выбрали последним цвет: синий – 3 человека; зеленый – 2 человека; красный – 0 человек; желтый – 1 человек; бордовый – 5 человек; коричневый – 4 человека; черный – 4 человека; серый – 6 человек (рисунок 2).

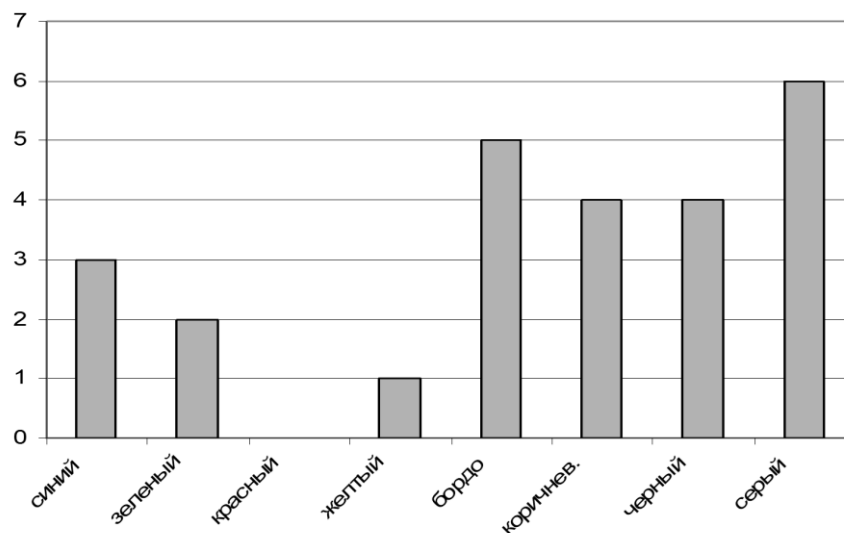


Рисунок 2 – Количество туркменских студентов, выбравших цвет последним

Как следует из рисунка 2, серый, бордовый, коричневый и черный цвета в конце цветового ряда поставили 19 туркменских студента из 25, или 76 %, что согласно критериям теста Люшера указывает на высокие требования к себе и окружающим, потребность в самоутверждении и уважении окружающих, на желание ощущать полноту жизни, жажду свободы в самоопределении. Эти студенты испытывают неудовлетворенную потребность в духовных отношениях.

Обращает на себя внимание полное отсутствие красного цвета в конце цветового ряда, что свидетельствует о том, что все протестированные туркменские студенты имеют в себе достаточно сил для борьбы с внешними обстоятельствами, для того чтобы добиться своей состоятельности и достойного положения в обществе.

Таблица 2 – Результаты тестирования по тесту Люшера белорусских студентов

Номер испытываемого	Цвет глаз	Цвета карточек Люшера									
		синий	зеленый	красный	желтый	бордо	коричневый	черный	серый		
1	зеленый	1	2	3	5	4	7	8	6		
2	зеленый	3	8	4	1	2	6	7	1		
3	зеленый	3	1	6	8	4	7	5	2		
4	зеленый	1	2	3	4	6	7	8	6		
5	черный	3	6	7	5	2	4	8	1		
6	зеленый	2	1	4	7	8	5	6	3		
7	зеленый	6	1	5	4	7	8	5	2		
8	зеленый	1	7	4	2	6	5	8	3		
9	черный	5	3	4	1	6	2	8	7		
10	зеленый	3	8	7	2	6	4	1	5		
11	зеленый	2	7	8	1	3	5	4	6		
12	черный	6	5	1	2	3	4	5	8		
13	черный	5	1	4	7	3	8	2	6		
14	зеленый	7	4	8	5	6	1	3	2		
15	черный	8	3	2	6	5	1	7	4		
16	черный	4	8	1	3	5	7	2	6		
17	черный	4	2	5	8	1	7	6	3		
18	синий	1	2	6	8	7	3	4	5		
19	черный	3	1	5	4	8	6	7	2		
20	зеленый	8	7	3	5	6	1	4	2		
21	зеленый	7	6	2	4	5	1	8	3		
22	черный	3	8	7	5	2	1	6	4		
23	черный	3	4	6	8	7	1	2	5		
24	синий	2	8	7	5	1	4	6	3		
25	зеленый	1	6	3	4	8	2	7	5		

Какой-то взаимосвязи между цветом радужной оболочки глаз тестируемых туркменских студентов и выбором цвета не выявлено.

Из 25 белорусских студентов выбрали первый, наиболее понравившийся цвет: синий – 5 человек; зеленый – 5 человек; красный – 2 человека; желтый – 3 человека; бордовый – 2 человека; коричневый – 5 человек; черный – 1 человек; серый – 2 человека.

Сравнительное распределение студентов, выбравших определенный цвет первым, представлено на рисунке 3.

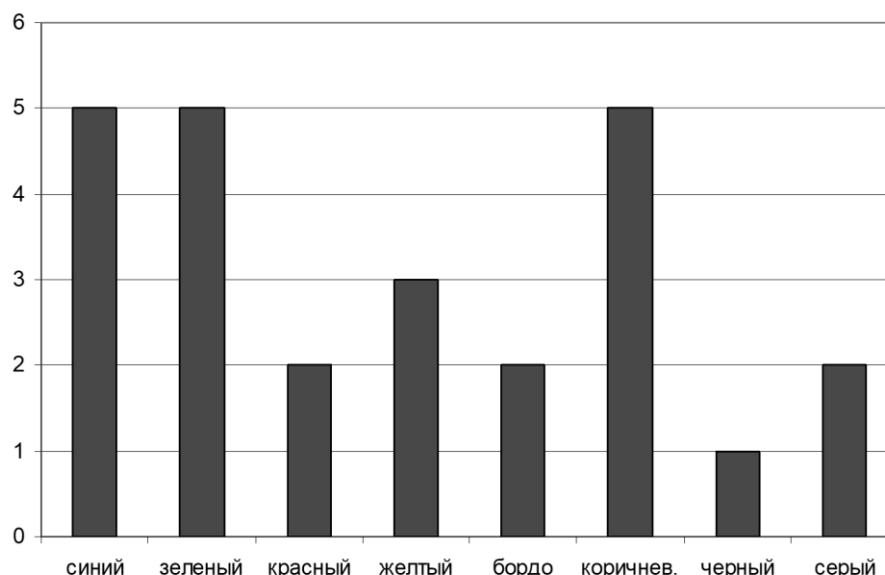


Рисунок 3 – Количество белорусских студентов, выбравших цвет первым

Как видно из рисунка 3, 20 % белорусских студентов выбрали первым синий цвет, что в соответствии с тестом Люшера и согласно интерпретации Л. Н. Собчик свидетельствует о необходимости глубокой привязанности, стремлении к внешней опоре, душевному уюту и умиротворению.

Еще 20 % выбрали первым зеленый цвет, что согласно тесту Люшера символизирует целеустремленную, упорную, планирующую свои действия личность. Также 20 % (5 человек) первой отложили карточку с коричневым цветом, что указывает на наличие на момент тестирования некоторого беспокойства, физического и психического дискомфорта, возможно, болезненного состояния. Эти студенты хотят комфорта и освобождения от проблем.

Трем белорусским студентам (12 %) из 25 больше всего понравился желтый цвет. В соответствии с тестом Люшера таким студентам присуща тяга к новизне, жажде перемен, эмоциональность и непоседливость.

По два студента (8 %) из 25 первыми выбрали красный, бордовый и серый цвета. Это свидетельствует о широте интересов, заинтересованности, потребности во внешней гармонии, склонности к дипломатическому стилю общения, а также о неприятии резкого обращения, интересе к творчеству, философским идеям и нестандартным хобби.

Меньше всего студентов (1 человек, 4 %) выбрали первым черный цвет, что указывает на эксцентричность, чрезмерность, нарушение адаптации.

Выбрали последним цвет: синий – 2 человека; зеленый – 5 человек; красный – 2 человека; желтый – 4 человека; бордовый – 3 человека; коричневый – 2 человека; черный – 5 человек; серый – 2 человека.

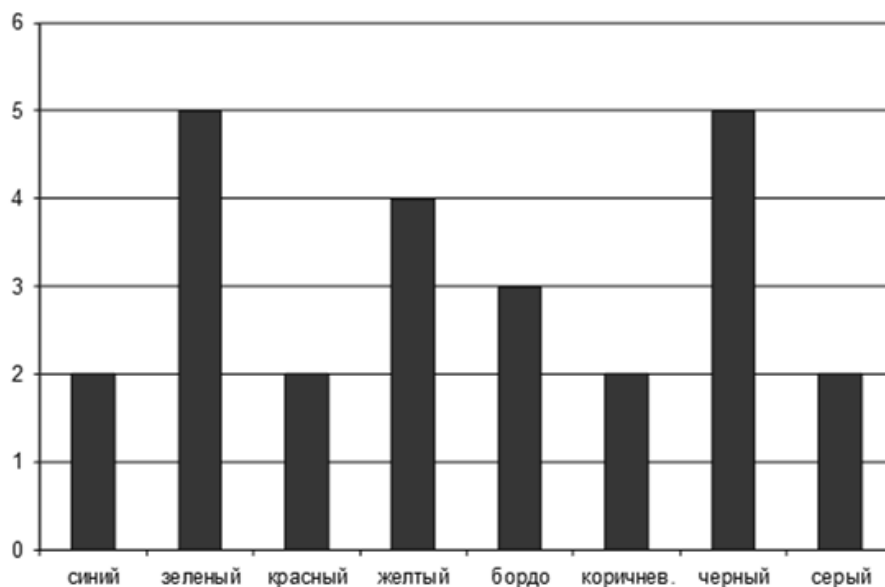


Рисунок 4 – Количество белорусских студентов, выбравших цвет последним

Как показано на рисунке 4, в конце цветового ряда зеленый, черный, желтый и бордовый цвета поставили 17 (68 %) белорусских студентов из 25. Это свидетельствует о заниженной самооценке, скептическом настроении, поведении, отягощенном проблемами и заботами, о жажде свободы в своем самоопределении.

Какой-то взаимосвязи между цветом радужной оболочки глаз тестируемых белорусских студентов и выбором цвета не выявлено.

Было проведено сравнение результатов, полученных с использованием теста Люшера, у туркменских и белорусских студентов. Результаты выбора первого цвета представлены на рисунке 5.

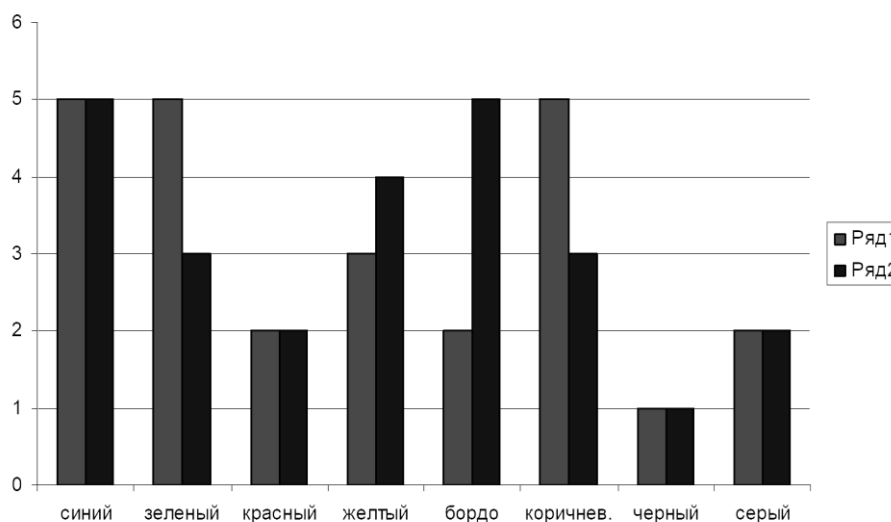


Рисунок 5 – Количество студентов, выбравших цвет первым (ряд 1 – белорусские студенты; ряд 2 – туркменские студенты)

Как видно на рисунке 5, зеленый цвет первым выбрало на 8 % меньше туркменских студентов, чем белорусских. Согласно интерпретации Л. Н. Собчик, большее число туркменских студентов по сравнению с белорусскими имеют потребность в отстаивании собственной позиции, оборонительного поведения защитного характера. Также на 8 % меньше туркменских студентов по сравнению с белорусскими выбрало первым коричневый цвет, что показывает наличие потребности в снижении тревоги, стремлении к психологическому и физическому комфорту. Такие особенности высшей нервной деятельности можно объяснить тем, что туркменские студенты обучаются далеко от дома, в другой стране, во многом в непривычной для себя обстановке, климатических и многих других условиях.

Сравнение результатов тестирования белорусских и туркменских студентов по выбору цвета последнего в ряду теста Люшера иллюстрировано рисунком 6.

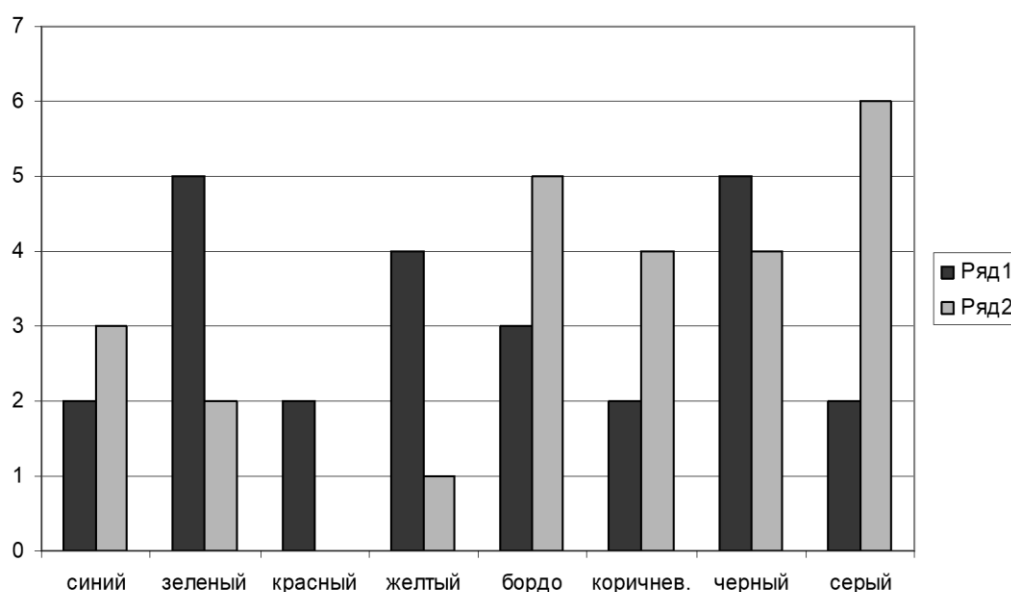


Рисунок 6 – Количество студентов, выбравших цвет последним (ряд 1 – белорусские студенты; ряд 2 – туркменские студенты)

Как видно на рисунке 6, больше белорусских студентов (по сравнению с туркменскими) выбрали в конце ряда зеленый (пять человек) и желтый (четыре человека) цвета, что свидетельствует о заниженной самооценке, поведении, опосредованном множеством проблем и забот.

Среди туркменских студентов больше по сравнению с белорусскими выбрали последним цвета бордовый, коричневый и серый, что свидетельствует о неудовлетворенных потребностях в самоутверждении, духовных отношениях, о высоких требованиях к себе и окружающим.

Общие результаты для всех студентов, участвовавших в тестировании и выбравших определенный цвет первым, представлены на рисунке 7.

Из 50 протестированных белорусских и туркменских студентов больше всего (10 человек, или 20 %) поставили первым в начале цветового ряда Люшера синий цвет. Согласно интерпретации Л. Н. Собчик, этот цвет коррелирует с необходимостью глубокой привязанности, стремлением к внешней опоре, душевному уюту и умиротворению.

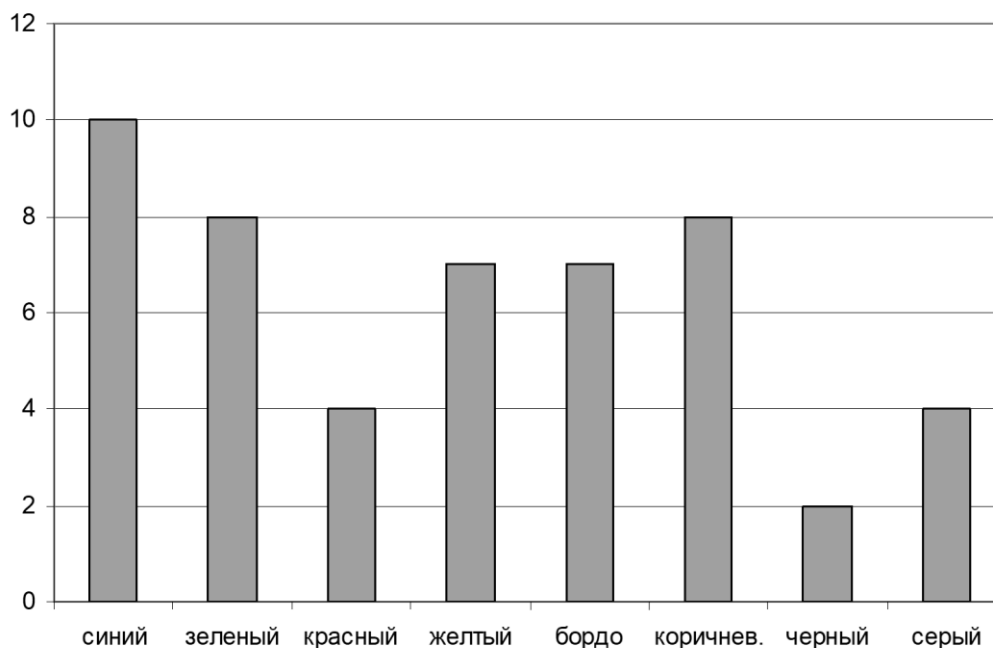


Рисунок 7 – Общее количество белорусских и туркменских студентов, выбравших цвет первым

Восемь студентов (16 %) поставили зеленый цвет на первое место, что свидетельствует о стремлении отстаивать свою позицию, оборонительной настроенности и защитной агрессивности.

Также восемь студентов (16 %) поставили коричневый цвет на первое место в цветовом ряду, что указывает на их потребность в снижении тревожности и стремление к психологическому и физическому комфорту.

Семь студентов (14 %) из 50 опрошенных выбрали желтый цвет первым, что говорит об их потребности в социальной активности, движении и эмоциональной вовлеченности. Для них переживания и общение являются важным процессом.

Еще семь студентов (14 %) из общего числа белорусских и туркменских участников поставили бордовый цвет на первое место. Как отмечает Л. Н. Собчик, это отражает их стремление уйти от реальности, склонность к иррациональным притязаниям, нереалистичным требованиям к жизни, субъективизму и эмоциональной незрелости.

Красный цвет выбрали первым четыре студента (8 %) из 50, что указывает на их потребность в достижении успеха, обладании властью, склонности к наступательной агрессии «завоевателя», целеустремленности и высокой поисковой активности.

Также четыре студента (8 %) поставили серый цвет на первое место, что свидетельствует об их потребности в успокоении, отдыхе и склонности к пассивности.

Наименьшее количество студентов (два человека или 4 %) из 50 опрошенных белорусов и туркмен выбрали черный цвет первым (по одному представителю каждой национальности). Согласно интерпретации Л. Н. Собчик, это говорит об их стремлении к независимости через протест, негативном отношении к любым авторитетам и внешнему давлению.

Из общего количества белорусских и туркменских студентов поставили последним в конце цветового ряда черный цвет больше всего человек – 10, или 20 %. Это согласно тесту Люшера указывает на то, что эти студенты хотят ощущать жизнь сполна, жаждут свободы в своем самоопределении. Бордовый и серый цвета последними в ряду

поставили по восемь человек (по 16 %), что свидетельствует о неудовлетворенных потребностях в изысканных, духовных отношениях.

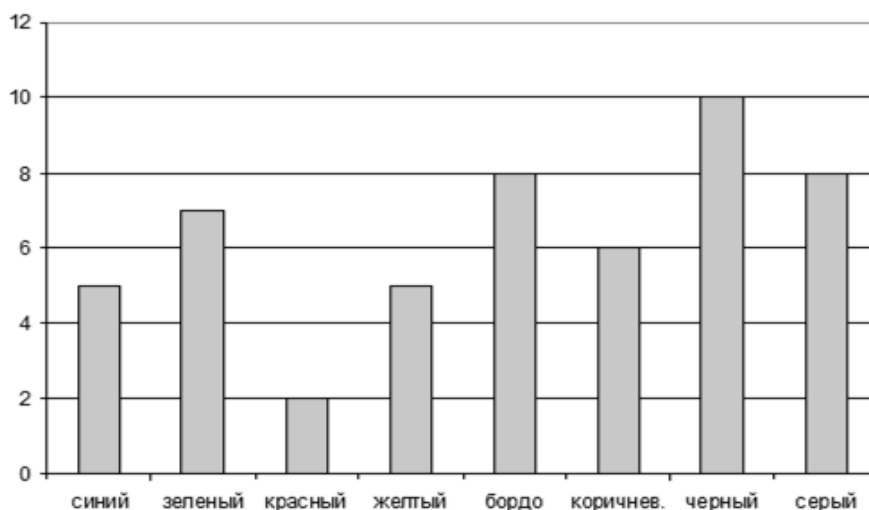


Рисунок 8 – Общее количество белорусских и туркменских студентов, выбравших цвет последним

Меньше всего студентов (два человека, 4 %) поставили последним в цветовом ряду красный цвет, что согласно тесту Люшера указывает на то, что данные студенты не уверены в своих способностях реализовать свои потребности.

Заключение

На основании полученных результатов тестирования с использованием теста Люшера можно сделать следующие выводы.

1. Одинаково (как для белорусских, так и для туркменских студентов) у большинства (у 20 % протестированных) выявлена необходимость глубокой привязанности, стремление к внешней опоре, душевному уюту и умиротворению.

2. Меньше всего студентов (4 %) – по одному белорусскому и одному туркменскому студенту – выбрали первым черный цвет. Это свидетельствует о том, что для наших студентов не характерны негативизм по отношению к авторитетам, протестное настроение без всякого повода.

3. На вторых позициях, но тоже с высоким процентом (28 %) у обеих групп студентов оказался желтый цвет. Это показывает, что для студентов 3-го курса характерны такие качества высшей нервной деятельности, как стремление к новому, к созиданию, отклик на любые свежие впечатления. У них постоянно появляются новые идеи, для них характерна жажда изменений, чувствительность, тяга к творчеству.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шалимова, Л. А. Культура восприятия семантики цвета в тесте Макса Люшера / Л. А. Шалимова // Мир науки, культуры, образования. – 2014. – Т. 44, № 1. – С. 251–255.
2. Мельников, В. И. Применение модифицированного теста Люшера для диагностики психических состояний личности / В. И. Мельников, В. Г. Леонтьев // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2021. – Т. 2, № 16. – С. 112–114.
3. Пельменёв, В. К. Исследование психоэмоционального состояния студенток различных групп здоровья с помощью цветового теста Люшера / В. К. Пельменёв,

А. А. Горелов, О. Г. Румба // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Филология, педагогика, психология. – 2019. – Вып. 11. – С. 80–87.

4. Чернецкая, Н. И. Особенности цветовых выборов по тесту Люшера у лиц с разным уровнем самооценки / Н. И. Чернецкая // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Психология. – 2015. – Т. 14. – С. 51–57.

5. Сугоняев, К. В. Можно ли оценить личностные характеристики с помощью теста Люшера? / К. В. Сугоняев // Психология. Психофизиология. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 41–59.

6. Базыма, Б. А. К вопросу об эмоциональных основных индивидуальных цветовых предпочтений в норме и при патологии / Б. А. Базыма // Вестник ХГУ. – 2019. – № 337. – С. 15–18.

7. Люшер, М. Цветовой тест Люшера / М. Люшер. – М. : Изд-во «Эксмо», 2005. – 192 с.

8. Тимофеев, В. И. Психодиагностика цветопредпочтением : Краткое руководство практическому психологу по использованию цветового теста М. Люшера / В. И. Тимофеев, Ю. И. Филимонов. – Л. : Искра, 1990. – 42 с.

9. Собчик, Л. Н. МЦВ – модифицированный восьмицветовой тест Люшера. Модифицированный восьмицветовой тест Люшера / Л. Н. Собчик. – СПб. : Изд-во «Речь», 2001. – 112 с.

REFERENCES

1. Shalimova, L. A. Kultura vospriyatiya semantiki cveta v teste Maksa Lyushera / L. A. Shalimova // Mir nauki, kultury, obrazovaniya. – 2014. – Т. 44, № 1. – С. 251–255.

2. Melnikov, V. I. Primenenie modifitsirovannogo testa Lyushera dlya diagnostiki psicheskikh sostoyaniy lichnosti / V. I. Melnikov, V. G. Leontev // Psihopedagogika v pravoohranitelnykh organakh. – 2021. – Т. 2, № 16. – С. 112–114.

3. Pelmenyov, V. K. Issledovanie psihoemocionalnogo sostoyaniya studentok razlichnykh grupp zdorovya s pomoshchyu cvetovogo testa Lyushera / V. K. Pelmenyov, A. A. Gorelov, O. G. Rumba // Vestnik Baltijskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Filologiya, pedagogika, psihologiya. – 2019. – Vyp. 11. – С. 80–87.

4. Cherneckaya, N. I. Osobennosti cvetovykh vyborov po testu Lyushera u lic s raznym urovnem samoocenki / N. I. Cherneckaya // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Psihologiya. – 2015. – Т. 14. – С. 51–57.

5. Sugonyaev, K. V. Mozhno li ocenit lichnostnye harakteristiki s pomoshchyu testa Lyushera? / K. V. Sugonyaev // Psihologiya. Psihofiziologiya. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 41–59.

6. Bazyma, B. A. K voprosu ob emocionalnykh osnovnykh individualnykh cvetovykh predpochteniy v norme i pri patologii / B. A. Bazyma // Vestnik HGU. – 2019. – № 337. – С. 15–18.

7. Lyusher, M. Cvetovoj test Lyushera / M. Lyusher. – М. : Izd-vo «Eksmo», 2005. – 192 с.

8. Timofeev, V. I. Psihodiagnostika cvetopredpochteniem : Kratkoe rukovodstvo prakticheskomu psihologu po ispolzovaniyu cvetovogo testa M. Lyushera / V. I. Timofeev, Y. I. Filimonenko. – L. : Iskra, 1990. – 42 с.

9. Sobchik, L. N. MCV – modifitsirovannyj vosmicvetovoj test Lyushera. Modifitsirovannyj vosmicvetovoj test Lyushera / L. N. Sobchik. – SPb. : Izd-vo «Rech», 2001. – 112 с.

Рукапіс надруковано у редакцію 14.03.2025

Максим Альбертович Богдасаров¹, Юлия Викторовна Богдасарова^{2*}

Сергей Александрович Заруцкий³, Петр Егорович Резкин⁴

¹д-р геол.-минерал. наук, проф., член-корр. Национальной академии наук Беларуси,
проф. каф. городского и регионального развития

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²магистр геогр. наук, аспирант 3-го года обучения каф. городского и регионального развития

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³канд. геогр. наук, доц., доц. каф. городского и регионального развития

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

⁴канд. экон. наук, доц., доц. каф. городского и регионального развития

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Maksim Bahdasarau¹, Yuliya Bahdasarava², Sergey Zarutskiy³, Petr Rezkin⁴

¹Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus,
Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University

²Master of Geographical Sciences,
3-d Year Postgraduate Student of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University

³Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University

⁴Candidate of Economical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: ¹bogdasarov73@mail.ru; ²bogdasarova81@icloud.com;

³zarutski82@gmail.com; ⁴p.rezkin@yandex.by

ПОТЕНЦИАЛ, КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

(Часть 1. Брестская область, ее место в структуре экономики Беларуси)

В первой части статьи рассматривается развитие хозяйства Брестской области в разрезе основных видов экономической деятельности (промышленности, сельского хозяйства, строительства, транспорта и др.). Показано, что Брестская область обладает значительным собственным внутренним потенциалом для своего устойчивого развития.

Ключевые слова: Брестская область, экономика, виды экономической деятельности, промышленность, сельское хозяйство, транспорт.

Potential, Competitive Advantages and Problems of Socio-Economic Development of Brest Region (Part 1. Brest Region, its Place in the Structure of the Belarusian Economy)

The first part of the article considers the development of the economy of Brest region in the context of the main types of economic activity (industry, agriculture, construction, transportation, etc.). It is shown that Brest region has a significant own internal potential for its sustainable development.

Key words: Brest region, economy, types of economic activity, industry, agriculture, transport.

*Научный руководитель – Александр Александрович Волчек, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры природообустройства Брестского государственного технического университета

Введение

Брестская область расположена на юго-западе Республики Беларусь. Ее площадь составляет 32,8 тыс. км² (15,8 % территории Беларуси), население – 1315,4 тыс. человек (14,3 % населения Беларуси). На севере и востоке область граничит с Гродненской, Минской и Гомельской областями (протяженность границ – 691 км), на западе – с Люблинским и Подляским воеводствами Республики Польша (224 км), на юге – с Волынской и Ровенской областями Украины (367 км). Протяженность территории области с запада на восток составляет 297 км, с севера на юг – 162 км, что свидетельствует о незначительной компактности и малой «глубине» территории из-за большой вытянутости с запада на восток. В приграничной полосе (50–60 км от границы) находятся 10 из 16 административных районов, на долю которых приходится более 60 % территории и более 65 % населения области; а также 18 из 29 городских поселений, в которых проживает 65 % городского населения региона.

Методика исследования

Устойчивое развитие регионов на современном этапе является важнейшим элементом государственной политики Республики Беларусь в рамках долгосрочного стратегического планирования. Новый цикл планирования на национальном уровне, включающий подготовку проекта НСУР-2040 [1], создает благоприятные условия для сопряжения стратегических документов развития национального и регионального уровней. В условиях Республики Беларусь наиболее результативным является сочетание методов экспертной поддержки и инклюзивного участия заинтересованных сторон с национальной координацией процессов разработки региональных стратегических документов.

В 2024–2025 гг. в связи с разработкой проекта региональной стратегии устойчивого развития Брестской области на период до 2040 г. – главного документа долгосрочного планирования процессов стратегического развития региона в контексте современных глобальных, региональных и местных вызовов с целью повышения качества жизни населения на основе развития многоукладной экономики, сочетающей модернизацию традиционных отраслей специализации с формированием отдельных сегментов постиндустриальной экономики и активным трансграничным сотрудничеством, была проведена большая работа по актуализации особенностей социально-экономического развития, ресурсного потенциала, конкурентных преимуществ Брестской области.

Процесс исследования включал определение с представителями регионального сообщества подходов к стратегическому планированию, ориентированных на достижение благополучия будущих поколений, учитывающих духовные ценности и уникальные географические, природные и культурные особенности региона, способствующие устойчивому развитию районов и населенных пунктов всех уровней, а также направленных на развитие Брестской области как неотъемлемого и уникального субъекта Республики Беларусь. В основу первой части настоящей работы были положены материалы отдельных разделов монографии [2], дополненные актуальной информацией, представленной соответствующими профильными комитетами Брестского областного исполнительного комитета, Главным статистическим управлением Брестской области, а также содержащимися в ежегодных сборниках Национального статистического комитета Республики Беларусь [3; 4].

Результаты и их обсуждение

Брестская область была создана 4 декабря 1939 г., в современных границах существует с февраля 1954 г. Сегодня Брестская область – это 16 административно-территориальных районов, 21 город (включая три города областного подчинения – Брест, Барановичи и Пинск), восемь поселков городского типа, 2152 сельских населенных пункта. Типология административно-территориальных единиц области представлена на рисунке.

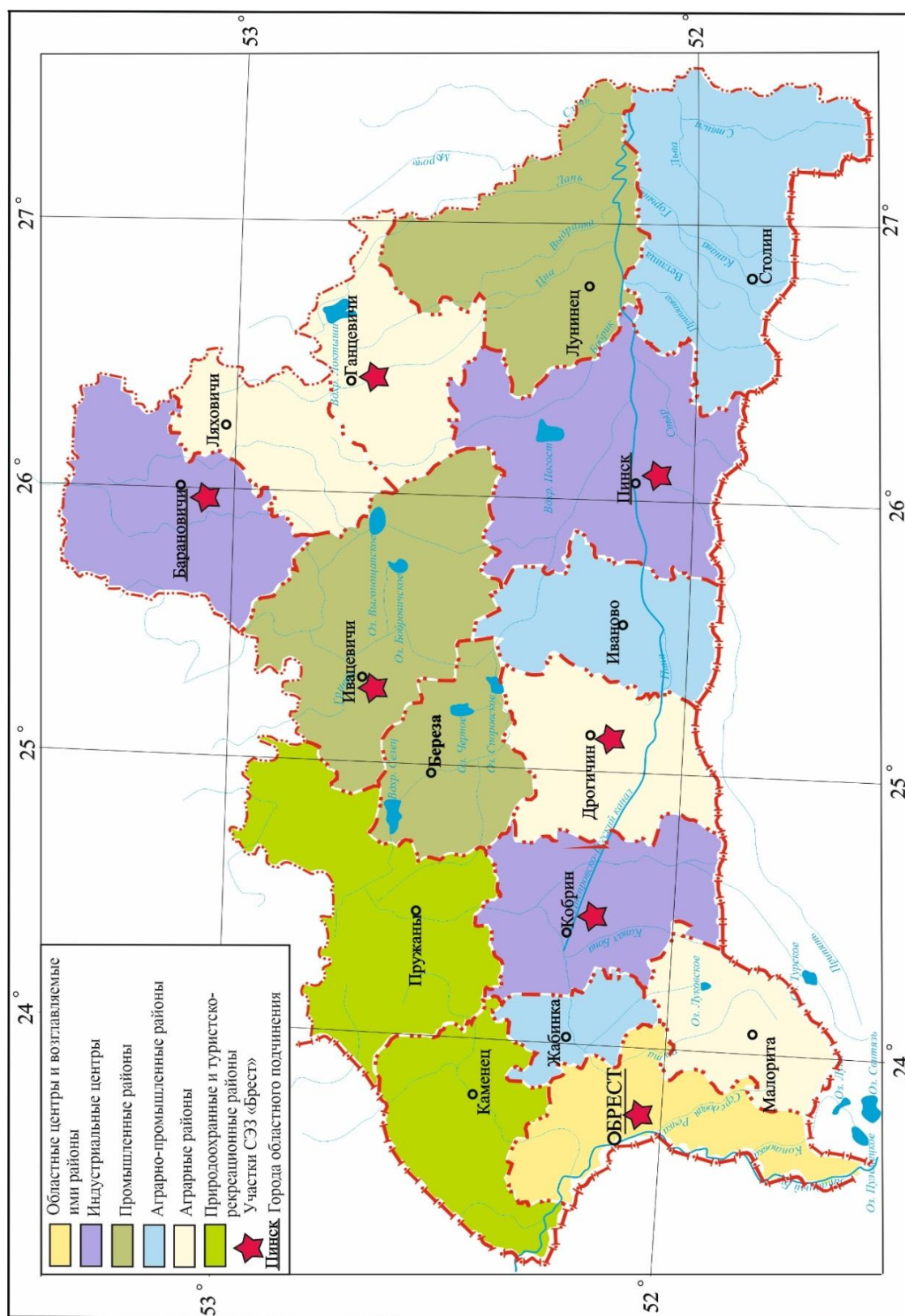


Рисунок – Типы административно-территориальных единиц Брестской области

Брестская область обладает благоприятными природными условиями для жизнедеятельности населения и развития сельского хозяйства. Рельеф равнинный (140–200 м над уровнем моря). Климат переходный от морского к континентальному с непродолжительной мягкой зимой и относительно теплым летом. Годовое количество осадков составляет 580–630 мм, около 69 % осадков приходится на теплый период года. Регион имеет самый продолжительный вегетационный период (208–221 день) в Беларуси, сельскохозяйственные работы начинаются на 15–25 дней раньше, чем на севере страны.

Брестская область хорошо обеспечена водными ресурсами. На ее территории расположено 565 водоемов площадью 36,3 тыс. га, протекает более 100 больших, малых рек и мелиоративных каналов протяженностью 16,4 тыс. км, значительны запасы подземных вод. Около 53 % территории региона дренируется реками бассейна Балтийского моря (бассейны р. Западный Буг и р. Щары), 47 % – реками бассейна Черного моря (бассейн р. Припяти). Бассейны Западного Буга и Припяти соединены Днепровско-Бугским каналом (93 км), бассейны Припяти и Щары – Огинским каналом (54 км), которые имеют важное транспортное и водохозяйственное значение.

В структуре земельного фонда региона преобладают земли, занятые сельскохозяйственными угодьями. Их площадь в 2022 г. составляла 1355,4 тыс. га, или 41,4 % территории региона. В структуре сельскохозяйственных земель преобладают пахотные земли, высока доля пастбищных и сенокосных земель. Почвы сельскохозяйственных угодий отличаются высоким уровнем переувлажненности и заболоченности, преобладают дерновые и дерново-подзолистые заболачиваемые (около 70 %), торфяные (9 %) почвы. Регион характеризуется самым высоким среди всех областей удельным весом осушенных земель в сельхозугодьях (более 50 %). Естественное плодородие земель одно из самых низких в стране.

По показателю лесистости Брестская область занимает одно из последних мест в республике при среднем показателе по стране в 40,1 %. Лесной фонд области, по данным лесного кадастра на 2023 г., составляет 1431,4 тыс. га, в т. ч. лесопокрытая площадь – 1190,2 тыс. га, или 36,3 % территории региона. Общие запасы древесины оцениваются в 179 млн м³ (17 % республиканских запасов), эксплуатационные запасы – 134 млн м³ (хвойные породы – 65 %, лиственные породы – 25 %).

Из минерально-сырьевых ресурсов Брестской области общереспубликанское значение имеют запасы торфа, строительного камня, сапропелей. Важное хозяйственное значение имеют также запасы тугоплавких и огнеупорных глин, мела, формовочных и стекольных песков, песчано-гравийного материала.

По числу жителей Брестская область занимает в стране третье место после Минской и Гомельской. Брестская область вместе с Гродненской являются самыми густонаселенными регионами страны. Средняя плотность населения в них составляет 42 человека на 1 км². Система расселения в регионе характеризуется довольно значительной густотой (на один городской населенный пункт приходится 1130 км² территории области). Среднее расстояние между городскими поселениями составляет 34 км.

В настоящее время удельный вес Брестской области в общереспубликанском объеме промышленного производства невелик. В экономическом отношении область является индустриально-аграрным регионом Беларуси.

В 2023 г. удельный вес валового регионального продукта (далее – ВРП) Брестской области в формировании валового внутреннего продукта (далее – ВВП) страны составил 11,3 % (4-е место в республике после Минска, Минской, Гомельской областей). Удельный вес Брестской области в общереспубликанских социально-экономических показателях представлен в таблице 1.

Однако Брестская область отличается устойчивыми темпами роста ВРП. По темпам роста ВРП Брестская область занимает третье место после Минской и Гродненской обла-

стей. В структуре ВРП Брестской области в 2023 г. на первичный сектор (сельское, лесное и рыбное хозяйство) приходится 14,6 %, индустриальный сектор и строительство составляет 30,3 %, сфера услуг (виды непродуцированной экономической деятельности) – 55,1 % (приложение 3). За период с 2015 по 2023 г. продолжается тенденция трансформации экономики Брестской области в сторону развития сферы услуг. Так, за отмеченный период произошло увеличение доли сферы услуг в формировании ВРП региона на 3 % за счет сокращения строительства и транспортных перевозок. Структура ВРП Брестской области по видам экономической деятельности представлена в таблице 2.

Таблица 1 – Удельный вес Брестской области в общереспубликанских социально-экономических показателях, %

Социально-экономические показатели	Год			
	2015	2021	2022	2023
Численность населения на конец года	14,4	14,3	14,3	14,3
Валовой региональный продукт	9,3	10,7	11,8	11,2
Продукция промышленности	10,5	10,9	11,7	11,4
Продукция сельского хозяйства	18,5	21,1	21,9	22,8
Ввод в эксплуатацию общей площади жилых домов	18,3	14,3	15,5	15,9
Розничный товарооборот	12,3	12,2	12,4	12,3
Инвестиции в основной капитал	9,9	12,4	13,6	15,1

Таблица 2 – Структура ВРП Брестской области по видам экономической деятельности, %

Вид экономической деятельности	Год			
	2015	2021	2022	2023
Сельское, лесное и рыбное хозяйство	12,4	12,9	15,4	14,6
Горнодобывающая промышленность	1,1	0,8	0,9	0,9
Обрабатывающая промышленность	22,5	22,8	24,0	21,1
Снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом	3,2	2,7	2,8	2,6
Водоснабжение; обор, обработка и удаление отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	1,0	0,7	0,6	0,7
Строительство	8,8	4,2	4,1	5,0
Оптовая и розничная торговля; ремонт автомобилей и мотоциклов	11,2	7,6	7,7	7,0
Транспортная деятельность, складирование, почтовая и курьерская деятельность	7,5	7,1	6,3	6,9
Информация и связь	2,8	3,0	2,6	2,3
Прочие виды деятельности	27,7	27,8	25,9	28,1
Чистые налоги на продукты	1,8	10,4	9,7	10,8

Ведущей отраслью экономики области является промышленность, представленная, по данным на 2023 г., 1844 промышленными предприятиями, на которых занято 138 тыс. человек, или 23,8 % от численности занятых в экономике региона (13,6 % промышленно-производственного персонала Беларуси). Предприятия области производят 11,4 % республиканского объема промышленной продукции (предпоследнее место среди регионов Беларуси). Брестская область наряду с Минской областью является ведущим производителем продовольственных товаров.

После перехода статистического учета на виды экономической деятельности ведущей отраслью промышленного производства в Брестской области является обрабатывающая промышленность, снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой,

водоснабжение; сбор, обработка и удаление отходов (с относительно высокой инновационностью областных производств в этой сфере по сравнению с другими регионами), горнодобывающая промышленность.

Электроэнергетика на территории области представлена 4 ТЭС, в т. ч. второй по мощности в стране Березовской ГРЭС, которые производят около 10 % республиканских объемов электроэнергии.

Машиностроение является ведущей отраслью промышленности области по численности производственного персонала, основным производственным фондам и доле в прибыли; преобладают трудоемкие, средней металлоемкости производства. Регион является основным производителем в стране осветительных электроламп, бытовых электрических и газовых плит, компрессоров для холодильного оборудования (99 % республиканского объема производства; Брест, Барановичи), металлорежущего инструмента (Кобрин, Барановичи), кузнечно-прессовых машин и экскаваторов (более 50 % республиканского производства; Пинск). Выпускается также разнообразная продукция производственно-технического назначения: техническое оборудование для текстильной и мясо-молочной промышленности, сельского хозяйства, общественного питания и торговли, узлы и агрегаты к автомобилям, дорожно-строительная техника.

Лесная и деревообрабатывающая промышленность в Брестской области базируются на собственных лесных ресурсах и представлена лесозаготовительной, деревообрабатывающей и мебельной отраслями. В области заготавливается 15 % республиканских объемов деловой древесины (в основном в восточных районах региона), производится 16 % пиломатериалов, 55 % древесностружечных плит и 39 % клееной фанеры (Пинск, Ивацевичи), 30 % мебели (Пинск, Брест, Барановичи, Ружаны).

Промышленность строительных материалов в регионе работает на местном сырье и производит 98 % строительного камня (Микашевичи), 19 % железобетонных изделий (Брест, Барановичи, Микашевичи), 8,5 % стеновых материалов (Береза, Брест, Речица) в Беларуси.

Легкая промышленность в Брестской области специализируется на производстве хлопчатобумажных тканей (55 % республиканских объемов; Барановичи), чулочно-носочных изделий (20 % всей продукции в Беларуси; Брест), получили развитие также швейная и кожевенно-обувная промышленность.

Пищевая промышленность является динамично развивающейся отраслью промышленности Брестской области. Ведущей ее отраслью является мясомолочная. Регион занимает первое место в республике по производству сыров, цельномолочной продукции, колбасных изделий, переработке рыбы и морепродуктов, второе место после Минской области по промышленной переработке мяса, производству сахара, минеральных вод, ликеро-водочных изделий.

В территориальном разрезе в 2023 г. 70,5 % объемов промышленного производства дают пять крупнейших городов Брестской области: Брест (38,1 %, в т. ч. 21 % СЭЗ «Брест»), Барановичи (13,2 %), Пинск (9,8 %), Береза (8,6 %), Кобрин (5,8 %).

Сельское хозяйство – одна из ведущих отраслей хозяйства Брестской области, в которой в 2023 г. было занято более 47 тыс. человек, или около 14 % от численности занятых в экономике области (20 % сельскохозяйственного персонала Беларуси). В регионе функционируют 288 сельскохозяйственных организаций (19,4 % от общей численности в стране) и 757 фермерских хозяйства (22,5 % от общей численности в стране). Брестская область в 2023 г. производила 22,8 % республиканских объемов сельскохозяйственной продукции (второе место после Минской области). Преобладает крупнотоварное производство (78,7 % сельскохозяйственной продукции производят сельскохозяйственные организации, 5,3 % – фермерские хозяйства, 16 % – личные хозяйства населения). Основной специализацией являются молочно-мясное скотоводство,

свиноводство, выращивание картофеля, зерновых культур, сахарной свеклы, рапса. На животноводство приходится 55 % объема производства сельскохозяйственной продукции области.

Регион производит 22,8 % республиканских объемов сельскохозяйственной продукции: 20,8 % зерновых культур, 19,2 % картофеля, 24,6 % овощей, 26,4 % молока, 18,1 % яиц (второе место после Минской области), 21,1 % сахарной свеклы, 19,2 % мяса (третье место после Минской и Гродненской областей). В структуре посевных площадей области под зерновыми занято 41,4 % всех площадей, под кормовыми культурами – 42,7 %, картофелем – 3,3 %, сахарной свеклой – 2,3 %, овощами – 2,1 %.

Среди административных районов Брестской области высокий уровень земельно-ресурсного потенциала (естественное плодородие земель) и эффективности производства сельскохозяйственной продукции имеют Брестский, Каменецкий, Жабинковский, Березовский, Кобринский, Пружанский, Барановичский и Ляховичский районы, основные площади сельскохозяйственных земель которых расположены на предполесских равнинах. Они отличаются высокой сельскохозяйственной освоенностью (более 80 %) и распаханностью территории (более 80 %), площадью земель, занятых под многолетними насаждениями (более 1 %) в регионе. Данные районы по отношению к полесским районам области имеют более высокие объемы валового сбора и урожайность зерновых культур, картофеля, сахарной свеклы, также отличаются высокотоварным свиноводством, молочным и молочно-мясным скотоводством интенсивного типа.

Полесские районы (Пинский, Ганцевичский, Лунинецкий и Столинский), основные площади сельскохозяйственных земель которых расположены в пределах Полесской низменности, имеют средний уровень земельно-ресурсного потенциала. Балл плодородия сельскохозяйственных угодий составляет 30 и ниже. По гранулометрическому составу преобладают песчаные и торфяно-болотные почвы, требующие особого подхода к их обработке и подбору выращиваемых культур. Распаханность земель данных регионов достаточно низкая и не превышает 75 %. Высокая доля луговых земель позволяет обеспечивать кормовую базу для общественного поголовья.

В Полесских районах сосредоточено основное в области производство овощных культур (84 %), картофеля (54 %). Удельный вес валового сбора зерна – 18 %, маслосемян рапса – 18 %. На долю садов и ягодников приходится более 20 %.

На долю малого и среднего предпринимательства Брестской области приходится 25 % объема валовой добавленной стоимости и более 30 % занятых в экономике. В этой сфере в регионе в настоящее время функционируют более 10 тыс. организаций, из них предприятия оптовой и розничной торговли занимают 28 %, промышленности – 16 %, транспортной деятельности – 13,5 %, сельского хозяйства – 10,1 %, строительства – 7,5 %. В области сформирована система поддержки развития малого и среднего предпринимательства, действуют 10 центров поддержки и 2 инкубатора малого бизнеса.

Брестская область занимает важное геополитическое положение на юго-западе Беларуси и граничит с Украиной и Польшей. По ее территории проходят ключевые транспортные коридоры, по которым перемещаются грузовые и пассажирские потоки с севера на юг (из стран Балтии в Украину), с запада на восток (из ЕС в Россию и далее в Юго-Восточную и Центральную Азию). В Брестском районе расположен международный аэропорт первого класса.

Транспорт является одной из стратегически важных отраслей экономики Брестской области. В этой отрасли на 2023 г. было занято 15,6 тыс. человек, или 3 % от численности занятых в экономике области (15 % занятых в транспортной сфере Беларуси). Основным видом транспорта по перевозке грузов и пассажиров является железнодорожный (83 % общего грузооборота и 74 % пассажирооборота области). Протяженность железнодорожных путей составляет 1062 км (второе место после Витебской об-

ласти), из них 23 % электрифицированы; плотность – 3,3 км/100 км² (первое место в Беларуси). Второе место занимает автомобильный транспорт (16 % общего грузооборота и 23 % пассажирооборота области). Протяженность автомобильных дорог составляет 13,8 тыс. км (последнее место среди регионов Беларуси), 94,6 % имеют твердое покрытие; густота – 32,5 км/100 км², что значительно ниже среднего показателя по стране в 39,7 км/100 км². Наличие крупных судоходных рек, Днепровско-Бугского и Огинского каналов, соединяющих водные системы Припяти, Немана и Буга, предопределило развитие в регионе речного транспорта. Однако он в настоящее время не выдерживает конкуренции с остальными видами транспорта. Важное значение имеет трубопроводный транспорт (по территории региона проходит нефтепровод «Дружба», газопроводы Торжок – Минск – Ивацевичи (с ответвлением на Кобрин – Брест – Варшаву и Вильнюс – Ригу – Долину) и Дашава – Минск; общая протяженность трубопроводных линий – более 800 км).

Регион обладает значительным научно-техническим потенциалом, здесь расположены 4 университета, в т. ч. старейший в области Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, технопарки, профессионально-технические и средние специальные учреждения образования. В области хорошо развита социальная инфраструктура: система образования, здравоохранения, социальной защиты населения.

Брестская область – край уникальных природных комплексов, среди которых выделяются Национальный парк «Беловежская пуща», заказники «Споровский», «Средняя Припять», «Ольманские болота», «Званец», «Выгонощанское». Регион лидирует в стране по площади особо охраняемых природных территорий и объектов (15,1 % от общей площади области).

С каждым годом регион становится все более привлекательным для гостей и туристов. Визитной карточкой области является мемориальный комплекс «Брестская крепость-герой». Среди других значимых историко-культурных и туристических объектов области: Каменецкая вежа, Дворцовый комплекс Сапег в Ружанах, Францисканский монастырь в Пинске, дворец Пусловских в Коссово, музей-усадьба Тадеуша Костюшко, мемориальный комплекс партизанской славы «Хованщина» в Ивацевичском районе, памятник жертвам геноцида белорусского народа «Стасино» в Столинском районе, ряд пунктов Дуги Струве и др.

Заключение

Таким образом, устойчивое развитие Брестской области должно быть основано на использовании собственного внутреннего потенциала исходя из наличия ресурсов, потребностей местного населения и бизнеса. Однако серьезными вызовами для развития области являются происходящие в мире глобальные процессы, поэтому их необходимо учитывать в долгосрочной перспективе, равно как и местные вызовы для устойчивости развития региона. Одновременно Брестская область обладает рядом конкурентных преимуществ, а ее экономика – целым рядом резервов роста и дальнейшего развития. Все эти вопросы будут рассмотрены во второй части данной работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проект Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года. – URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/proekt-Natsionalnoj-strategii-ustojchivogo-razvitija-na-period-do-2040-goda.pdf> (дата обращения: 24.09.2024).

2. Брестская область: природа, население, хозяйство / М. А. Богдасаров [и др.] ; под общ. ред. И. В. Абрамовой. – Брест : Брест. тип., 2023. – 296 с.

3. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели. 2024 : стат. сб. – Т. 1. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/bbb/n8x0ogexl0yf511-cgmew6om3bv0wgr6g.pdf> (дата обращения: 30.09.2024).

4. Регионы Республики Беларусь. Основные социально-экономические показатели областей, городов и районов. 2024 : стат. сб. – Т. 2. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/86e/bsktolub61c061y9l5usbwbamd3dmc0o.pdf> (дата обращения: 30.09.2024).

REFERENCES

1. Projekt Nacional'noj strategii ustojchivogo razvitija Riespubliki Bielarus' na pieriod do 2040 goda. – URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/proekt-Natsionalnoj-strategii-ustojchivogo-razvitija-na-period-do-2040-goda.pdf> (data obrashchienia: 24.09.2024).

2. Briestskaja oblast': priroda, nasielienije, khoziajstvo / M. A. Bogdasarov [i dr.] ; pod obshch. ried. I. V. Abramovoj. – Brest : Brest. tip., 2023. – 296 s.

3. Rieiony Riespubliki Bielarus'. Social'no-ekonomichieskije pokazatieli. 2024 : stat. sb. – Т. 1. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/bbb/n8x0ogexl0yf511cgmew-6om3bv0wgr6g.pdf> (data obrashchienia: 30.09.2024).

4. Rieiony Riespubliki Bielarus'. Osnovnyje social'no-ekonomichieskije pokazatieli oblastiej, gorodov i rajonov. 2024 : stat. sb. – Т. 2. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/86e/bsktolub61c061y9l5usbwbamd3dmc0o.pdf> (data obrashchienia: 30.09.2024).

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 06.05.2025

Ирина Васильевна Абрамова

канд. биол. наук, доц., доц. каф. городского и регионального развития
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Iryna Abramava

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: abramova@brsu.by

ДИНАМИКА НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ В ХОДЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ ШИРОКОЛИСТВЕННО-СОСНОВЫХ ЛЕСОВ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ БЕЛАРУСИ

Прослежена межгодовая динамика обилия видов птиц и дана оценка изменчивости обилия отдельных видов в ходе вторичной сукцессии на месте вырубки широколиственно-сосновых лесов в юго-западной Беларуси. Сбор материалов проводился в 2000–2019 гг. Применялись общепринятые методы учета птиц и статистической обработки материала. Установлено увеличение видового разнообразия птиц с 8 до 54 видов, суммарной численности от 69,8 до 906,6 особей/км² в течение сукцессии (6 стадий, возраст от 1 года до 150 лет). Установлены численность видов (особей/км²) и ее изменчивость в течение 10 сезонов. Средняя численность видов отличается значительно, например, на стадии 120–150 лет среди воробьинообразных – от 2,2 (обыкновенная лазоревка) до 170,0 особей/км² (зяблик). Наиболее стабильно население видов с высоким обилием, например у зяблика, на последних двух стадиях сукцессии CV равняется 8,95 и 9,88 %. У видов со средним обилием изменчивость характеризуется как низкая или средняя (варьирует от 14,80 до 30,50 %), у видов с низким обилием CV варьирует от 30,60 до 93,00 %.

Ключевые слова: биоразнообразие, сукцессия, орнитокомплекс, численность, изменчивость численности, широколиственно-сосновый лес.

Dynamics of the Abundance of Bird Species During Succession of Broad-Leaved-Pine Forests in Southwestern Belarus

The interannual dynamics of bird species abundance were traced, and an assessment of the variability of abundance of individual species was given during secondary succession on the site of a clear-cut of broad-leaved-pine forests in southwestern Belarus. Materials were collected in 2000–2019. Generally accepted methods of bird counting and statistical processing of material were used. An increase in bird species diversity from 8 to 54 species and a total abundance from 69,8 to 906,6 individuals/km² during succession (6 stages, age from 1 year to 150 years) was established. The abundance of species (individuals/km²) and its variability during 10 seasons were established. The average abundance of species differs significantly, for example, at the stage of 120–150 years among passerines – from 2,2 (Eurasian blue tit) to 170,0 individuals/km² (Chaffinch). The population of species with high abundance is the most stable, for example, in the Chaffinch at the last two stages of succession, the CV is 8,95 and 9,88 %. In species with medium abundance, variability is characterized as low or medium (varies from 14,80 to 30,50 %), in species with low abundance, CV varies from 30,60 to 93,00 %.

Key words: biodiversity, succession, bird community, abundance, variability of abundance, broad-leaved-pine forests.

Введение

Смена орнитокомплексов в лесах обусловлена последовательной сукцессией растительных сообществ, главными причинами которой в настоящее время являются лесохозяйственная деятельность человека и мелиорация прилегающих к лесам сельхозугодий. Изменения населения птиц в процессе восстановительной сукцессии лесных экосистем умеренного пояса Северного полушария обсуждаются рядом авторов [1–13]. Как правило, наблюдается увеличение разнообразия и плотности населения птиц от ранних стадий сукцессии к более поздним. При зарастании вырубок и гарей в ряде случаев минимальные значения суммарного обилия регистрируются на стадии молодых культур, а к припевающим и спелым лесам вновь увеличиваются

[1; 7; 11; 12 и др.]. Некоторые авторы выявили случаи снижения плотности населения птиц на стадии климакса по сравнению с предыдущими [12].

Анализ данных, полученных в ходе изучения орнитокомплексов, которые формируются на разных стадиях сукцессии лесных экосистем, позволяет прогнозировать и контролировать сообщества птиц в разных типах местообитаний.

Цель работы – установить основные характеристики орнитокомплексов и изменчивость популяций отдельных видов птиц на разных стадиях демулационной сукцессии широколиственно-сосновых лесов Брестской области.

Материал и методы

Сбор материалов проводился в 2000–2019 гг. на территории Брестской области в Брестском (Томашовское, Меднянское и Домачевское лесничества), Малоритском (Пожежинское и Малоритское лесничества) и Ивацевичском (Ивацевичское и Бронногорское лесничества) лесхозах. Широколиственно-сосновые орляково-зеленомошно-кисличные леса региона относятся к полесскому типу лесов. В формировании фитоценоза принимает преимущественное участие дуб черешчатый.

В ряду демулационной сукцессии широколиственно-сосновых лесов нами выделено шесть стадий развития растительности после сплошной рубки: 1–3 года – травянистая растительность лугового типа (свежая лесосека); 4–9 лет – поросль кустарников, саженцы березы и осины, молодые культуры сосны; 10–20 лет – сплошные заросли кустарников, поросли и подрост; 30–50 лет – молодой лес, верхний ярус составляет сосна обыкновенная; 80–100 лет – средневозрастной широколиственно-сосновый лес; 120–150 лет – высокоствольный спелый лес из сосны и дуба с примесью березы, граба и других пород.

Для сбора материала применяли общепринятые методы [14; 15]. При изучении серии орнитокомплексов закладывали учетные маршруты (ширина полосы 200 м, длина от 1,5 до 5,5 км) в экосистемах, находящихся на разных стадиях сукцессии. Первые три стадии (до 20 лет) прослежены на одних и тех же участках, более поздние – на площадках с однотипными условиями, отличающихся разным возрастом фитоценозов. Общая протяженность пройденных маршрутов составила более 450 км. Учеты птиц проводили с 15.05 по 30.06 в ясную погоду в утреннее и вечернее время, когда птицы наиболее активны. Перерасчет обилия птиц на единицу площади вели раздельно в зависимости от дальности обнаружения (голосу, визуально) [14; 15]. Доминирующими по обилию считали те виды, доля которых в сообществе птиц составляет 10 % и более [16]. По величине обилия птицы были разделены на три группы: 1) виды с высоким обилием – 50 особей/км² и более; 2) виды со средним обилием – 10–49 особей/км²; 3) виды, обилие которых составляет менее 10 особей/км². Рассчитывали индексы видового сходства, видового разнообразия и выравниваемости [17]. Данные по населению птиц подвергались статистической обработке [18]. Для оценки стабильности обилия видов использовали коэффициент вариации (CV, %). Латинские названия птиц приведены по сводке Clements checklist of birds of the world [19].

Результаты и их обсуждение

1–3-летние вырубки с искусственным возобновлением сосны и дуба – это участки, заросшие в основном травянистой растительностью и захлапленные порубочными остатками. На свежей вырубке всего было учтено 8 видов птиц (таблица), суммарное обилие которых составляет 69,8 особей/км². На долю доминирующих видов приходится 72,6 % населения птиц и 50,0 % видового состава.

Таблица – Параметры межгодовой динамики обилия видов птиц широколиственно-сосновых лесов на разных стадиях восстановительной сукцессии ($\bar{x}$, особей/км²; CV, %)

Вид	Возраст сукцессии, лет											
	1–3		4–9		10–20		30–50		80–100		120–150	
	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV
<i>Motacilla alba</i>	3,7 ± 0,57	48,65	4,2 ± 0,67	50,24	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Anthus trivialis</i>	13,5 ± 1,47	34,50	35,5 ± 2,23	19,83	23,2 ± 2,48	33,75	17,2 ± 1,55	28,43	45,3 ± 3,05	21,26	48,5 ± 2,85	18,53
<i>Lullula arborea</i>	21,5 ± 1,71	19,53	29,8 ± 2,48	26,31	15,0 ± 1,48	31,20	6,5 ± 0,82	39,69	11,2 ± 1,08	30,51	11,8 ± 1,15	30,85
<i>Alauda arvensis</i>	8,2 ± 0,80	30,98	12,8 ± 1,41	38,84	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Emberiza citrinella</i>	4,2 ± 0,36	26,90	19,4 ± 1,46	23,81	17,0 ± 1,58	29,35	8,0 ± 0,74	30,25	6,4 ± 0,74	37,66	7,9 ± 0,83	32,16
<i>Muscicapa striata</i>	–	–	4,7 ± 0,46	28,08	4,4 ± 0,39	27,72	7,5 ± 0,60	25,32	14,8 ± 0,95	20,27	13,0 ± 1,80	20,81
<i>Ficedula hypoleuca</i>	–	–	–	–	–	–	1,9 ± 0,40	66,32	20,0 ± 1,07	16,45	21,0 ± 1,18	17,80
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	6,9 ± 0,72	32,90	7,6 ± 0,79	32,63
<i>Lanius collurio</i>	–	–	3,0 ± 0,46	48,67	5,1 ± 0,59	36,47	2,0 ± 0,40	63,00	–	–	–	–
<i>Saxicola rubetra</i>	5,0 ± 0,48	30,40	5,7 ± 0,50	27,89	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Erithacus rubecula</i>	–	–	7,5 ± 1,06	44,80	9,4 ± 1,04	34,79	11,0 ± 0,92	30,16	19,8 ± 1,48	23,69	22,3 ± 1,32	18,65
<i>Turdus philomelos</i>	–	–	7,4 ± 0,85	36,22	8,0 ± 0,81	33,18	20,0 ± 1,26	19,90	21,9 ± 1,27	18,36	25,5 ± 1,72	21,25
<i>Turdus viscivorus</i>	–	–	–	–	–	–	6,0 ± 0,59	31,00	10,8 ± 0,97	28,68	12,8 ± 1,11	27,42
<i>Turdus merula</i>	–	–	–	–	6,0 ± 0,80	42,00	8,0 ± 0,95	37,37	19,1 ± 1,14	18,80	24,3 ± 1,31	16,70
<i>Turdus pilaris</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	2,4 ± 0,43	56,25	3,0 ± 0,48	50,67
<i>Phylloscopus trochilus</i>	–	–	–	–	–	–	24,5 ± 2,18	28,16	67,8 ± 2,50	11,67	68,0 ± 2,51	11,66
<i>Phylloscopus collybita</i>	–	–	–	–	–	–	10,9 ± 1,06	30,98	60,0 ± 3,37	17,18	63,4 ± 3,25	16,68
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	–	–	–	–	4,0 ± 0,16	36,50	16,1 ± 1,39	27,5	50,2 ± 2,78	17,49	53,0 ± 2,80	16,68
<i>Sylvia atricapilla</i>	–	–	–	–	–	–	5,5 ± 0,61	35,07	14,5 ± 1,34	29,31	17,0 ± 1,22	22,59
<i>Sylvia communis</i>	–	–	9,7 ± 0,98	31,78	10,1 ± 0,94	29,31	5,7 ± 0,72	40,70	6,2 ± 0,71	36,13	7,4 ± 0,76	32,30
<i>Sylvia borin</i>	–	–	7,0 ± 0,85	38,41	7,7 ± 0,90	38,44	3,0 ± 0,51	53,67	3,5 ± 0,46	41,14	5,0 ± 0,57	38,20
<i>Linaria cannabina</i>	–	–	5,6 ± 0,63	36,61	3,0 ± 0,47	50,00	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы

Вид	Возраст сукукесни, лет											
	1-3		4-9		10-20		30-50		80-100		120-150	
	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV
<i>Carduelis carduelis</i>	—	—	$3,0 \pm 0,39$	38,67	$4,1 \pm 0,45$	35,12	$1,8 \pm 0,36$	63,33	$4,0 \pm 0,50$	39,25	$5,0 \pm 0,57$	35,80
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	—	—	—	—	—	—	$3,0 \pm 0,47$	40,33	$5,8 \pm 0,78$	42,76	$8,0 \pm 0,94$	37,25
<i>Chloris chloris</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$6,3 \pm 0,81$	40,79	$7,0 \pm 0,66$	36,14
<i>Fringilla coelebs</i>	—	—	—	—	$6,7 \pm 0,70$	36,06	$39,0 \pm 2,11$	17,12	$158,0 \pm 4,48$	8,95	$170,0 \pm 5,32$	9,88
<i>Certhia familiaris</i>	—	—	—	—	—	—	$4,4 \pm 0,47$	33,86	$14,2 \pm 1,07$	23,87	$18,6 \pm 1,13$	19,14
<i>Sitta europaea</i>	—	—	—	—	—	—	$3,5 \pm 0,52$	45,71	$6,2 \pm 0,63$	32,26	$10,0 \pm 0,99$	31,30
<i>Lophophanes cristatus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$13,1 \pm 0,30$	21,76	$14,0 \pm 0,81$	18,30
<i>Poecile montanus</i>	—	—	—	—	—	—	$12,7 \pm 1,22$	30,31	$39,4 \pm 1,85$	14,82	$33,9 \pm 1,67$	15,53
<i>Aegithalos caudatus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$13,2 \pm 1,19$	28,41	$13,8 \pm 1,50$	26,38
<i>Parus major</i>	—	—	—	—	$3,1 \pm 0,45$	45,48	$13,8 \pm 1,24$	28,48	$44,0 \pm 3,17$	15,57	$46,1 \pm 2,30$	15,80
<i>Cyanistes caeruleus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$3,0 \pm 0,38$	39,67	$2,2 \pm 0,31$	48,81
<i>Oriolus oriolus</i>	—	—	—	—	—	—	$3,0 \pm 0,49$	51,33	$13,8 \pm 1,33$	30,43	$18,7 \pm 1,53$	45,77
<i>Sturnus vulgaris</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$6,3 \pm 0,73$	36,34	$8,0 \pm 0,80$	31,50
<i>Troglodytes troglodytes</i>	—	—	—	—	—	—	$1,9 \pm 0,41$	68,94	$5,3 \pm 0,51$	35,47	$7,4 \pm 0,68$	29,08
<i>Hippolais icterina</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$2,9 \pm 0,45$	49,31	$2,3 \pm 0,38$	51,21
<i>Regulus regulus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$2,3 \pm 0,38$	51,74	$3,9 \pm 0,41$	32,87
<i>Garrulus glandarius</i>	—	—	—	—	—	—	$10,6 \pm 2,12$	33,42	$15,1 \pm 1,19$	25,01	$16,0 \pm 1,06$	21,00
<i>Corvus corone</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$3,9 \pm 0,43$	34,62	$3,9 \pm 0,38$	30,00
<i>Corvus corax</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	$2,4 \pm 0,36$	47,08	$3,5 \pm 0,40$	36,28
<i>Picus canus</i>	—	—	—	—	—	—	$2,1 \pm 0,41$	61,90	$3,0 \pm 0,36$	38,23	$4,3 \pm 0,56$	40,23
<i>Dendrocopos major</i>	—	—	—	—	—	—	$5,2 \pm 0,64$	34,65	$17,1 \pm 1,12$	20,82	$18,0 \pm 1,26$	22,22

Вид	Возраст суцессии, лет											
	1-3		4-9		10-20		30-50		80-100		120-150	
	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV
<i>Dendrocopos medius</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2 ± 0,42	41,56	3,4 ± 0,42	38,53
<i>Picus viridis</i>	-	-	-	-	-	-	1,8 ± 0,37	64,44	2,0 ± 0,39	61,50	2,4 ± 0,36	47,06
<i>Dryocopus martius</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0 ± 0,37	39,39	3,1 ± 0,38	34,38
<i>Jynx torquilla</i>	-	-	-	-	-	-	2,4 ± 0,32	42,08	2,9 ± 0,39	42,41	3,8 ± 0,43	36,05
<i>Caprimulgus europaeus</i>	-	-	-	-	-	-	4,4 ± 0,53	37,02	7,5 ± 0,74	31,20	8,0 ± 0,80	31,62
<i>Asio otus</i>	-	-	-	-	-	-	1,6 ± 0,32	63,12	3,2 ± 0,37	36,25	3,0 ± 0,39	41,33
<i>Strix aluco</i>	-	-	-	-	-	-	1,6 ± 0,35	68,75	4,0 ± 0,43	33,75	4,4 ± 0,39	27,73
<i>Cuculus canorus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2 ± 0,39	34,79	4,2 ± 0,49	36,92
<i>Columba palumbus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	4,7 ± 0,48	31,51	5,0 ± 0,41	27,80
<i>Columba oenas</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	4,2 ± 0,43	32,18	5,0 ± 0,49	31,20
<i>Streptopelia turtur</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	6,1 ± 0,58	30,60	7,4 ± 0,66	29,86
<i>Coturnix coturnix</i>	6,2 ± 0,62	31,61	3,0 ± 0,51	53,67	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Perdix perdix</i>	7,5 ± 0,77	32,58	4,2 ± 0,61	45,71	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetrastes bonasia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4 ± 0,33	43,33	3,1 ± 0,40	40,97
<i>Peris aptivorus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0 ± 0,25	78,07	1,5 ± 0,34	72,02
<i>Accipiter gentilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1 ± 0,22	82,82	1,5 ± 0,30	62,67
<i>Accipiter nisus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0 ± 0,29	93,00	1,6 ± 0,33	65,50
<i>Buteo buteo</i>	-	-	-	-	-	-	2,0 ± 0,41	75,00	3,0 ± 0,42	43,67	3,1 ± 0,36	37,10
Количество видов	8		16		15		34		54		54	
Суммарное обилие	69,8		162,5		126,8		268,6		830,6		906,6	
Индекс Шеннона	2,74		3,51		3,63		4,53		4,72		4,79	
Индекс выравненности	0,91		0,88		0,93		0,89		0,82		0,83	

Окончание таблицы

Домінантамі по абилію явяляюцца лесной конек *Anthus trivialis* ($13,5 \pm 1,47$ особей/км²), лесной жаворонок *Lullula arborea* ($21,5 \pm 1,71$ особей/км²), полевой жаворонок *Alauda arvensis* ($8,2 \pm 0,80$ особей/км²) и серая куропатка *Perdix perdix* ($7,5 \pm 0,77$ особей/км²). Изменчивость обилия семи видов на первой стадии сукцессии характеризуется как средняя или высокая, наиболее высокие значения коэффициента вариации (48,6 %) характерны для белой трясогузки *Motacilla alba*, обилие которой составляет $3,7 \pm 0,57$ особей/км², наиболее стабильна численность лесного жаворонка (CV = 19,53 %).

В возрасте 4–9 лет на месте заросших травянистой растительностью и захламленных порубочными остатками территорий формируется подрост кустарников и древесных пород. Здесь появляются древесно-кустарниковые птицы: серая *Sylvia communis* и садовая *S. borin* славки, серая мухоловка *Muscicapa striata*, коноплянка *Linaria cannabina*, черноголовый щегол *Carduelis carduelis*, певчий дрозд *Turdus philomelos*, обыкновенный жулан *Lanius collurio* и др. Количество видов возрастает до 16, суммарное обилие составляет 162,5 особей/км² (таблица). В группу доминирующих видов входят лесной конек ($35,5 \pm 2,23$ особей/км², доля в суммарном обилии – 21,8 %), лесной жаворонок ($29,8 \pm 2,48$ особей/км², 18,3 %) и обыкновенная овсянка *Emberiza citrinella* ($19,4 \pm 1,46$ особей/км², 11,9 %). Доминирующие виды составляют 18,8 % видового состава и 52,1 % суммарного обилия птиц. У десяти видов, населяющих зарастающую вырубку, отмечен средний уровень вариации численности (от 23,81 % у обыкновенной овсянки до 38,84 % у полевого жаворонка), как правило, это представители группы видов с низким обилием. Высокий уровень вариации численности (CV от 40 до 60 %) у пяти видов (перепел *Coturnix coturnix*, серая куропатка, белая трясогузка, обыкновенный жулан, зарянка *Erithacus rubecula*). Низкая изменчивость показателя (19,8 %) на этой стадии сукцессии характерна для лесного конька.

В молодых культурах возраста 10–20 лет древесный ярус составляют как лиственные (береза бородавчатая, осина обыкновенная, дуб черешчатый), так и хвойные (сосна обыкновенная) породы. На этой стадии зарегистрировано 15 видов птиц. Из орнитокомплекса выпадает пять видов (серая куропатка, перепел, белая трясогузка, полевой жаворонок, луговой чекан *Saxicola rubetra*), связанные своей жизнедеятельностью с открытыми территориями. Количество дендрофильных видов в составе орнитокомплекса продолжает увеличиваться, впервые появляются еще 4 вида: черный дрозд *Turdus merula*, зяблик *Fringilla coelebs*, пеночка-трещотка *Phylloscopus sibilatrix*, большая синица *Parus major*. По сравнению с предыдущей стадией значительно снижается обилие доминирующих видов, что определяет уменьшение суммарного обилия на третьей стадии сукцессии – 126,8 особей/км². Состав доминирующих видов остается без изменений: лесной конек ($23,2 \pm 2,48$ особей/км², CV = 33,75 %), лесной жаворонок ($15,0 \pm 1,48$ особей/км², CV = 31,20 %) и обыкновенная овсянка ($17,0 \pm 1,58$ особей/км², CV = 29,35 %), их доля в видовом составе равна 20,0 %, в суммарном обилии – 43,5 % (таблица). Изменчивость обилия всех видов на третьей стадии сукцессии характеризуется как средняя или высокая, наиболее высокие значения коэффициента вариации (более 45,0 %) отмечены у видов с невысокой численностью (большая синица и коноплянка), обилие которых не превышает 5,0 особей/км².

К 30–50 годам на месте сплошной лесосеки развивается молодой лес, сосна обыкновенная образует разреженный полог, что способствует развитию подлеска и травяно-кустарничкового покрова. Увеличиваются видовое разнообразие сообщества

(34 вида) и суммарное обилие (268,6 особей/км²). Орнитокомплекс приобретает характерный для данного типа леса облик, появляются 20 новых видов птиц: дятла *Turdus viscivorus*, обыкновенная пищуха *Certhia familiaris*, обыкновенный поползень *Sitta europaea*, пеночка-весничка *Phylloscopus trochilus*, пеночка-теньковка *Ph. collybita*, буроголовая гаичка *Poecile montanus*, пестрый дятел *Dendrocopos major* и др. С увеличением возраста основных лесообразующих пород деревьев в орнитокомплексе начинают господствовать дендрофильные виды. С этой стадии в сообществе птиц доминирует зяблик ($39,0 \pm 2,11$ особей/км², CV = 17,12 %) (таблица). В группу видов со средним обилием на этой стадии входит 17 видов, показатель изменчивости (CV) у них варьирует от 25,32 до 39,69 %. Чем меньше обилие вида, тем большую роль играют стохастические вариации, очень высокая изменчивость (CV более 60,00 %) характерна для девяти видов с обилием менее 2 особей/км².

Дальнейшее увеличение основных суммарных параметров (количество видов, обилие) отмечено в высокоствольном лесу (80–100 лет). Орнитокомплекс на пятой стадии сукцессии пополняет 21 новый вид (всего зарегистрировано 54 вида). Суммарное обилие птиц возрастает и достигает 830,6 особей/км². Доминирует зяблик ($158,0 \pm 4,48$ особей/км²), обилие которого на этой стадии отличается высокой стабильностью (CV = 8,95 %). Высокое обилие (от $50,2 \pm 2,78$ до $67,8 \pm 2,50$ особей/км²) выявлено у трех видов пеночек. Численность этой группы видов также стабильна (CV от 11,7 % для пеночки-веснички до 17,5 % для пеночки-трещотки). У видов со средними показателями обилия ($n = 17$) показатель изменчивости варьирует от 14,8 до 30,5 %, у видов с обилием менее 10 особей/км² ($n = 33$) – от 30,60 до 93,00 %. Особенно велик показатель CV у видов, обилие которых около 1,0 особи/км².

На стадии спелого леса (120–150 лет) видовой состав орнитокомплекса не претерпевает изменений по сравнению со предыдущей, суммарное обилие достигает наибольшего значения – 906,6 особей/км² (таблица). Наиболее стабильно население доминирующего вида – зяблика ($170,0 \pm 5,32$ особей/км², CV = 9,88 %). Коэффициент вариации видов с высокой численностью (три вида пеночек) изменяется от 11,66 до 16,68 %. Количество видов с обилием менее 10,0 особей/км² несколько уменьшается ($n = 32$), изменчивость численности этой группы птиц велика, как и на предыдущей стадии.

Оценка сходства видовой составов сообществ птиц на разных стадиях вторичной сукцессии показала, что наибольшее сходство отмечено между сообществами, формирующимися на первых двух стадиях сукцессии (50,0 %), второй и третьей стадиях (55,0 %) и трех последних стадиях (60,0–100,0 %).

Заключение

В процессе трансформации широколиственно-сосновых лесов от свежей вырубki до возраста 120–150 лет происходит постадийная смена присущих им орнитокомплексов, в которой участвует не менее 61 вида птиц, относящегося к 8 отрядам и 24 семействам. По ходу сукцессии видовое богатство птиц увеличивается от 8 до 54 видов, суммарное обилие – от 69,8 до 906,6 особей/км². Среднее обилие видов варьирует в значительных пределах. Например, на стадии возраста 120–150 лет среди воробьинообразных – от 2,2 (обыкновенная лазоревка) до 170,0 особей/км² (зяблик). В спелом лесу в группу видов с обилием менее 10 особей/км² входит 32 вида (59,3 % общего количества), их общее обилие составляет 153,9 особей/км² (около 17,0 % суммарного обилия). Низкое обилие характерно для дневных хищных птиц (от 1,5 особей/км² у тетеревины и обыкновенного осоеда до 3,1 особей/км² у обыкновенного канюка), пяти видов дятлообразных (от 2,4 особей/км² у зеленого дятла до 4,3 особей/км² у седого дятла), голубеобразных (5,0 особей/км² у вяхиря и клинтуха), обыкновенной кукушки (4,2 особей/км²), рябчика (3,1 особей/км²), обыкновенной лазоревки (2,2 особей/км²).

и др. Группу видов со средним обилием составляет 19 видов (26,1 % общего количества): большая синица, буроголовая гаичка, зарянка, певчий дрозд, пестрый дятел и др. Их общее обилие составляет 408,3 особей/км² (45,0 % суммарного обилия). Высокое обилие отмечено у четырех видов: зяблика, пеночки-веснички, пеночки-теньковки и пеночки-трещотки; в сумме на них приходится 39,1 % суммарного обилия орнитокомплекса.

Наиболее стабильно население видов с высоким обилием, например, у зяблика на последних двух стадиях сукцессии CV равняется 8,95 и 9,88 %. У видов со средними показателями обилия изменчивость характеризуется как низкая или средняя (варьирует от 14,80 до 30,50). Чем меньше обилие вида, тем большую роль играют стохастические процессы. У видов с низким обилием CV варьирует от 27,73 до 72,02 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Abramova, I. V. Bird Population Dynamics during the Regenerative Succession of Mossy Pine Woodland in Southwestern Belarus / I. V. Abramova // *Biology Bulletin*. – 2024. – Vol. 14, № 1. – P. 102 – 114.
2. Abramova, I. V. Dynamics of the Abundance of Bird Species during Succession of Oak Forests in Southwestern Belarus / I. V. Abramova // *Biology Bulletin*. – 2023. – Vol. 50, № 8. – P. 144–154.
3. Annand, E. M. Forest bird response to regeneration practices in central hardwood forests / E. M. Annand, F. R. Thompson // *Journal of Wildlife Management*. – 1997. – Vol. 61. – P. 159–171.
4. Costello, C. A. Ongbird response to group selection harvests and clearcuts in a New Hampshire northern hardwood forest / C. A. Costello et al. // *Forest Ecology and Management*. – 2000. – Vol. 127, № 1–3. – P. 41–54.
5. DeGraaf, R. M. Options for managing early-successional forest and shrubland bird habitats in the northeastern United States / R. M. DeGraaf, M. Yamasaki // *Forest Ecology and Management*. – 2003. – Vol. 185 (1–2). – P. 179–191.
6. Głowaciński, Z. Stability in bird communities during the secondary succession of a forest ecosystem / Z. Głowaciński // *Ecol. Pol.* – 1981. – Vol. 29, № 1. – P. 73–95.
7. Głowaciński, Z. Succession of bird communities in the Niepolomice Forest (Southern Poland) / Z. Głowaciński // *Ecol. Pol.* – 1975. – Vol. 23, № 2 – P. 231–263.
8. Long-term effects of different forest regeneration methods on mature forest birds / R. W. Perry [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2018. – Vol. 408. – P. 183–194.
9. Wesołowski, T. The breeding bird community of a primaeval temperate forest (Białowieża National Park, Poland) at the end of the 20th century / T. Wesołowski et al. // *Acta Ornithologica*. – 2002. – Vol. 37(1). – P. 27–45.
10. Абрамова, И. В. Структура и динамика населения птиц экосистем юго-запада Беларуси / И. В. Абрамова. – Брест : Изд-во БрГУ, 2007. – 208 с.
11. Гриднева, В. В. Трансформация гемибореальных орнитоценозов в условиях современной лесозексплуатации / В. В. Гриднева, В. Н. Якимов // *Трансформация экосистем*. – 2022. – Т. 5. – № 1 (15). – С. 95–103.
12. Преображенская, Е. С. Экология воробьиных птиц Приветлужья / Е. С. Преображенская. – М. : КМК Scientific Press Ltd, 1998. – 200 с.
13. Шаврова, Е. В. Пространственно-временная динамика орнитокомплексов заростающих вырубок в сосновых лесах Витебской области / Е. В. Шаврова, С. А. Дорофеев // *Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П. М. Машэрава*. – 2022. – № 2. – С. 39–44.
14. Равкин, Ю. С. К методике учета птиц лесных ландшафтов / Ю. С. Равкин // *Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае*. – Новосибирск, 1967. – С. 66–75.

15. Щеголев, В. И. Количественный учет птиц в лесной зоне / В. И. Щеголев // Методики исследования продуктивности и структуры видов птиц в пределах их ареалов. – Вильнюс : Мокслас, 1977. – С. 95–102.
16. Кузякин, А. П. Зоогеография СССР / А. П. Кузякин // Учен. зап. Моск. обл. пед. ин-та им. Н. К. Крупской. – М., 1962. – Т. 109. – С 3–182.
17. Розенберг, Г. С. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии / Г. С. Розенберг, Д. П. Мозговой, Д. Б. Гелашвили. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2000. – 396 с.
18. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.
19. The eBird/Clements checklist of Birds of the World: v2024. – 2024. – URL: <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/> (date of access: 19.02.2025).

REFERENCES

1. Abramova, I. V. Bird Population Dynamics during the Regenerative Succession of Mossy Pine Woodland in Southwestern Belarus / I. V. Abramova // *Biology Bulletin*. – 2024. – Vol. 14, № 1. – P. 102 – 114.
2. Abramova, I. V. Dynamics of the Abundance of Bird Species during Succession of Oak Forests in Southwestern Belarus / I. V. Abramova // *Biology Bulletin*. – 2023. – Vol. 50, № 8. – P. 144–154.
3. Annand, E. M. Forest bird response to regeneration practices in central hardwood forests / E. M. Annand, F. R. Thompson // *Journal of Wildlife Management*. – 1997. – Vol. 61. – P. 159–171.
4. Costello, C. A. Ongbird response to group selection harvests and clearcuts in a New Hampshire northern hardwood forest / C. A. Costello et al. // *Forest Ecology and Management*. – 2000. – Vol. 127, № 1–3. – P. 41–54.
5. DeGraaf, R. M. Options for managing early-successional forest and shrubland bird habitats in the northeastern United States / R. M. DeGraaf, M. Yamasaki // *Forest Ecology and Management*. – 2003. – Vol. 185 (1–2). – P. 179–191.
6. Głowaciński, Z. Stability in bird communities during the secondary succession of a forest ecosystem / Z. Głowaciński // *Ecol. Pol.* – 1981. – Vol. 29, № 1. – P. 73–95.
7. Głowaciński, Z. Succession of bird communities in the Niepolomice Forest (Southern Poland) / Z. Głowaciński // *Ecol. Pol.* – 1975. – Vol. 23, № 2 – P. 231–263.
8. Long-term effects of different forest regeneration methods on mature forest birds / R. W. Perry [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2018. – Vol. 408. – P. 183–194.
9. Wesolowski, T. The breeding bird community of a primaeval temperate forest (Białowieża National Park, Poland) at the end of the 20th century / T. Wesolowski et al. // *Acta Ornithologica*. – 2002. – Vol. 37(1). – P. 27–45.
10. Abramova, I. V. Struktura i dinamika naseleniya ptic ekosistem yugo-zapada Belarusi / I. V. Abramova. – Brest : Brest. Gos. Universitet, 2007. – 208 p.
11. Gridneva, V. V. Transformaciya gemiboreal'nyh ornitocenozov v usloviyah sovremennoj lesoekspluatatsii / V. V. Gridneva, V. N. Yakimov // *Ecosystem Transformation*. – 2022. – Vol. 5 (1). – P. 19–26.
12. Preobrazhenskaya, E. S. Ekologiya vorob'inyh ptic Privetluzh'ya / E. S. Preobrazhenskaya. – Moscow : KMK Scientific Press Ltd, 1998. – 200 p.
13. Shavrova, E. V. Prostranstvenno-vremennaya dinamika ornitokompleksov zarastayushchih vyrubok v sosnovykh lesakh Vitebskoj oblasti / E. V. Shavrova, / S. A. Dorofeev // *Vesnik Vicebskaga dzyarzhhaunaga universiteta imya P. M. Masherava*. – 2022. – № 2. – P. 39–44.
14. Ravkin, Yu. S. K metodike ucheta ptic lesnykh landshaftov / Yu. S. Ravkin // *Priroda ochagov kleshchevogo encefalita na Altae*. – Novosibirsk, 1967. – P. 66–75.

15. Shchegolev, V. I. Kolichestvennyj uchet ptic v lesnoj zone / V. I. Shchegolev // Metodiki issledovaniya produktivnosti i struktury vidov ptits v predelakh ikh arealov. – Vilnius : Mokslas, 1977. – P. 95–102.
16. Kuzyakin, A. P. Zoogeografiya SSSR / A. P. Kuzyakin // Uchenye zapiski Moskovskogo oblastnogo pedagogicheskogo instituta im. N. K. Krupskoj. – Moscow, 1962. – Vol. 109. – P. 3–182.
17. Rozenberg, G. S. Ekologiya. Ekologiya. Elementy teoreticheskikh konstrukcij sovremennoj ekologii / G. S. Rozenberg, D. P. Mozgovoj, D. B. Gelashvili. – Samara : Samarskij nauchnyj centr RAN, 2000. – 396 p.
18. Lakin, G. F. Biometriya / G. F. Lakin. – Moscow : Vysshaya shkola, 1990. – 352 p.
19. The eBird/Clements checklist of Birds of the World: v2024. – 2024. – URL: <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/> (date of access: 19.02.2025).

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 19.03.2025

Николай Федорович Гречаник

канд. геогр. наук, доц., доц. кафедры городского и регионального развития
Брестского государственного университета им. А. С. Пушкина

Nikolaj Hrachanik

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: Hrachanik55@mail.ru

ПЕТРОГРАФО-МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА СОЖСКОЙ АБЛЯЦИОННОЙ МОРЕНЫ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИБУЖСКОЙ РАВНИНЫ

Охарактеризован петрографо-минеральный состав валунной, галечной и тяжелой минеральной песчаной фракции сожской абляционной морены на территории Прибужской равнины. Материал морены насыщен разноразмерным обломочным петрографическим материалом (в основном дальнеприносных пород) во время припятского оледенения сожского времени. Петрографический и минеральный состав моренных аккумуляций полимиктовый. Песчаный материал насыщен различными минералами тяжелой фракции, которые высвобождались из разрушающихся дальнеприносных и местных горных пород.

Ключевые слова: петрографический состав, минеральный состав, морена, морена вытаивания, моренные отложения, фракционный состав, гранит, гранитоиды, фенноскандинавские породы, обломочный петрографический материал, песчаный материал, тяжелые минералы.

Petrographic and Mineral Composition of the Detrital Material of the Sozh oblation Moraine on the Territory of the Pribuzhskaya Plain

The article characterizes the petrographic and mineral composition of the boulder, pebble and heavy mineral sand fraction of the Sozh oblation moraine on the territory of the Pribuzhskaya plain. The moraine material is saturated with heterogeneous detrital petrographic material, mainly of far-bearing rocks during the Pripyat glaciation of the Sozh period. The petrographic and mineral composition of the moraine accumulations is polymictic. The sandy material is saturated with various minerals of a heavy fraction, which were released from collapsing long-range and local rocks.

Key words: petrographic composition, mineral composition, moraine, seeding moraine, moraine deposits, fractional composition, granite, granitoids, Fennoscandian rocks, detrital petrographic material, sandy material, heavy minerals.

Введение

Территория равнины в квартере неоднократно подвергалась экспансии покровных материковых оледенений. В процессе динамики покровных ледников подвергались экзарации породы, которые сформировались в различных фациальных обстановках мезозоя и кайнозоя. После деградации ледниковых покровов на территории равнины сформировались отложения ледниковой формации рельефообразующих отложений, определяющие современный физиономический облик поверхности равнины. Сожская абляционная морена (морена вытаивания) на территории равнины отлагалась в пределах площадных полей мертвого льда. На некоторых участках в ее подошве отчетливо выражены термокарстовые провалы в результате вытаивания масс льда в основной морене. В позерское время эта территория развивалась в перигляциальных условиях. В настоящее время материал морены подвергается воздействию дождевых и талых вод, эоловых процессов и хозяйственной деятельности человека, связанной с сельскохозяйственным освоением территории.

Материал и методы

Материал для исследований отбирался из естественных и искусственных обнажений моренных участков равнины. Моренные отложения региона изучались общеприня-

тым комплексом литологических методов с заверкой полученных данных результатами геохронометрического датирования ОЛИ (оптического люминисцентного изучения), выполненного в лаборатории люминисцентного датирования политехнического института физики в Гливице [5]. Отбор материала валунной фракции производился с поверхности ледниковых (моренных) форм рельефа, расположенных в окрестностях дд. Мельники, Пяски, Бордзевка, Лесок, Чепели, Проходы, Кощеники. В ходе полевых исследований было отобрано 65 проб валунно-галечно-гравийного и песчаного материала из моренных отложений. Отобранный валунный материал разделялся на группы пород – магматические, метаморфические и осадочные. Из моренного материала естественных обнажений и заложенных шурфов отбирались пробы объемом 15 литров (25–30 кг), которые делились на отдельные фракции – валунную (более 100 мм), галечную (10–99 мм) и песчаную (меньше 1 мм). Материал валунной фракции более 200 мм изучался визуально вблизи от места отбора основных проб. Материал из галечной фракции отобранных проб рассматривался с помощью лупы с 5–10-кратным увеличением. Количество галек в каждой из проб насчитывалось от 325 до 557 шт. В ходе полевых исследований было отобрано 125 проб песчаного материала. Песчаный материал проб подвергался шлихованию (промывке) с помощью шлихового лотка. Промывка проб с помощью лотка осуществлялась до «серого» шлиха. Для палеографических целей определения питающей провинции, установления присутствия минералов-спутников способ отмывки до «серого» шлиха позволяет получить корректные данные по полному минеральному составу песчаной породы как в тяжелой, так и в легкой фракциях. После промывки шлиха полученный концентрат высушивался и с помощью сит разделялся на соответствующие размерные фракции. Последующее разделение материала фракции 0,25 – 0,1 мм по удельному весу на тяжелые и легкие минералы производилось с использованием бромформа (трибромметан) состава CHBr_3 ($G = 2,7$) и иодистого метилена состава CH_2I_2 ($G = 3,33$). Для стабилизации бромформа прибавляли 4 % спирта и доводили раствор до удельного веса 2,89. Стабилизация иодистого метилена осуществлялась ацетоном ($G = 0,79$). Для определения минерального состава материал тяжелой фракции просматривался под бинокулярным стереоскопическим микроскопом МБС-10. Размерный диапазон 0,25 – 0,1 мм достоверно отражает минеральный состав собственно ледниковых песчаных аккумуляций как генетического типа. Для определения питающих провинций крупнообломочного материала и мест поступления песчаного материала моренных отложений использовались карты и литературные источники [1–7].

Результаты исследования

В результате изучения валунного, галечного материала из сожской абляционной морены Прибужской равнины выделено 18 групп пород.

1. **Группа кислых горных пород. Подгруппа гранитоидов.** Данная группа включает порфировидные плагиомикроклиновые граниты, крупно-среднезернистые биотитовые граниты, двуслюдяной гранит, роговообманковый и роговообманково-биотитовый гранит, плагио средне- и мелкозернистый гранит, овоидный гранит рапакиви, гнейсовидный гранит, мигматит-гранит, гранитовый порфир (гранит-порфир), гранодиорит, гранитный пегматит, аплит, щелочной гранит.

Гранит – равномернозернистая горная порода с размером выделений полевого шпата и кварца 0,5–2 см. Порфировидный гранит сложен удлиненными или изометричными вкрапленниками, отличающимися по размерам (1–3 см) от минералов основной массы. Они представлены ортоклазом или микроклином, реже (в изученных образцах – кварцем). Биотитовый гранит наиболее представительный из гранитов абляционной морены, в котором среди цветных слагающих минералов доминирует черный биотит от 10–15 %. Обломочный материал валунной размерности включает также двуслюдяные

граниты, в которых среди цветных минералов доминируют биотит и мусковит, реже – биотит и флогопит. Среди валунной и галечной фракции моренного материала в незначительном количестве отмечаются гранитоиды только с роговой обманкой и роговой обманкой с биотитом, а также граниты с включением игольчатых кристаллов черного эгирина.

Гранит рапакиви, или финляндский гранит, – порфировидный гранит, в котором многочисленные округлые (овоидные) диаметром 1,5 – 2 см вкрапленники красноватого или розового ортоклаза окружены разноразмерной (3–6 мм) каймой серого, реже зеленовато-серого олигоклаза. Основную массу породы составляют зерна ортоклаза, плагиоклаза, кварца, биотита и роговой обманки.

Гнейсовидный гранит – равномерно-мелкозернистый гранит, в котором четко выделяется параллельная ориентировка чешуек слюды или призматических зеленовато-черных зерен роговой обманки и мельчайших кристаллических зерен розового альмандина.

Мигматит-гранит – порода гранитного состава, которая первоначально образуется в результате кристаллизации магмы из не полностью расплавленного материала. В материале отложений абляционной морены присутствуют в небольших количествах.

Гранитовый порфир получил такое название из-за особенностей структуры. Эта структура резко порфировидная. Основная масса породы тонко- и мелкозернистая. Вкрапленники размером от 3 до 8 мм представлены ортоклазом и кварцем в незначительном количестве, еще реже отмечается биотит и роговая обманка.

Гранодиорит получил название по особенности состава – промежуточного между гранитом и диоритом. В изученных образцах валунной фракции порода имеет равномернозернистую структуру и массивную текстуру. Окраска ее более темная по сравнению с типичной окраской гранита. Объясняется это преобладанием темноцветных минералов в сложении породы над светлоокрашенными и почти полным отсутствием кварца.

Гранитный пегматит является своеобразной породой среди группы гранитоидов. Для нее характерна гранитовая структура – это крупно или грубозернистая гранитная порода, в которой полевой шпат образует изометричные зерна размером 1–3 см. Кварц при этом располагается между кристаллами полевого шпата. В гранитном пегматите графической структуры кварц образует вроски внутри моноблоков полевого шпата. Вроски кварца от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров имеют форму клина, уголка, треугольника.

Граниты, состоящие из щелочных полевых шпатов и щелочных пироксенов, или амфиболов, получили название щелочных. В таких гранитах из моренных отложений равнины полевой шпат большей частью калиево-натриевый, представленный микропертитом или анортоклазом, реже чисто натриевый (альбит) или чисто калиевый (микроклин, ортоклаз).

Аплит – жильная лейкократовая мелкозернистая, равномернозернистая порода, состоящая из светлоокрашенных минералов. Она обогащена кварцем, щелочным полевым шпатом и пневматолитическими минералами. На свежих сколах породы четко проявляется ее сахаровидный облик. В некоторых образцах аплита присутствуют акцессорные минералы – альмандин и спессартиновый гранат, а также турмалин.

Гранитоиды валунной фракции морены являются доминирующими среди других представителей магматических пород. Основным регионом, из которого поступал этот материал, была фенноскандинавская питающая провинция [1]. В конце среднего протерозоя в северо-западных районах Восточно-Европейской платформы (северное побережье Финского залива, северное Приладожье, Южная Швеция, Рижский залив) происходит магматическая активизация еще слабо консолидированного эпикарельского фундамента, его взламывание и внедрение интрузий гранитов рапакиви – порфировидных

пород с крупными округлыми кристаллами калиевого полевого шпата (ортоклаза), окаймленными каемкой плагиоклаза (олигоклаза) [6].

2. Группа кислых горных пород повышенной щелочности. Подгруппа известково-щелочного сиенита. В материале абляционной морены в валунной фракции отмечены единичные образцы сиенита. Для этой породы характерна полнокристаллическая, равномернозернистая структура и массивная текстура. Порода состоит из полевого шпата (ортоклаз) и темноцветных минералов (роговой обманки, биотита, эгирина, рибекита) и акцессорных минералов – сфена и граната. Кварц отсутствует. Сиенит в изученных образцах представляет собой среднезернистую породу, состоящую из калиевого полевого шпата, средних плагиоклазов и роговой обманки с авгитом. Окраска породы светло-серая, реже бледно-розовая и красноватая.

3. Группа средних горных пород. Подгруппа диорита. В моренных отложениях отмечены средне- и крупнозернистые экземпляры породы, в которых преобладает кальциевый олигоклаз, а из цветных минералов – роговая обманка и биотит. Структура породы гранитная, в некоторых образцах порфировидная. Окраска породы темно-серая, иногда с поверхностным зеленоватым оттенком за счет продуктов изменения. Порфировая разновидность диорита – диоритовый порфирит – характеризуется мелкозернистой основной массой и вкраплениями плагиоклаза до 10 мм и роговой обманки до 3 мм.

4. Группа основных горных пород. Подгруппа габбро. В моренных отложениях равнины встречаются нечасто. Порода кристаллически-зернистая, преобладают экземпляры мелко- и среднезернистые. Среди образцов доминируют валуны массивной текстуры, с однородной черной окраской, с равномерным распределением плагиоклаза, авгита и незначительного количества роговой обманки.

Подгруппа базальта – диабаза. Изученные образцы базальта из моренных отложений в количестве 10 штук имеют массивную текстуру, сложены основным плагиоклазом (лабрадор, битовнит) и авгитом, реже оливином. Окраска валунов темно-серая, а в смоченных образцах – черная. Диабаз в валунной фракции представлен единичными образцами. Это полнокристаллическая, равномернозернистая порода, состоящая из плагиоклаза (в основном из лабрадора) и авгита. Окраска валунов породы темно-серая, до черной, на свежих сколах и зеленовато-серая на внешней поверхности.

5. Группа собственно щелочных горных пород. Подгруппа нефелинового сиенита. Для образцов нефелинового сиенита характерна полнокристаллическая среднезернистая структура и массивная текстура. Состав породы: микроклин, альбит, нефелин, щелочные пироксены (эгириин, эгириин-авгит) и амфиболы (рибекит), а также акцессорные минералы (апатит, сфен, астрофиллит). Окраска валунов и крупных галек на свежих сколах светло-серая, зеленовато-желтая, а на выветренной поверхности – с голубоватым оттенком.

Представители пород второй, четвертой и пятой групп в материале абляционной морены валунной и галечной фракций присутствуют в незначительных количествах. Несколько больше в моренном материале этих фракций присутствует представитель третьей группы пород – диорит. Основным источником материала представителей пород этих групп в моренных отложениях равнины является северо-западная часть территории докембрийской Восточно-Европейской платформы [1; 6].

6. Группа гнейсов. Гнейсы – метаморфические горные породы, состоящие преимущественно из полевых шпатов и кварца. В их составе присутствует один или несколько цветных минералов – биотит, мусковит, минералы группы амфиболов и пироксенов, наряду с которыми часто присутствуют различные разновидности граната. Группу гнейсов валунной фракции моренного материала составляют средне- и мелкозернистые биотитовые, мусковитовые, двуслюдяные, амфибол-биотитовые, амфибол-диопсидовые, амфиболовые гнейсы, плагиогнейсы, плагиогранито-гнейсы. Характерной

особенностью всех гнейсов перечисленной группы является полсчатая, очковая и пloidчатая текстура. Структура полнокристаллическая, мелко-, средне-, иногда грубозернистая (гранобластовая). Доминирующими среди гнейсов являются ортогнейсы, образовавшиеся при метаморфизации магматических пород (гранитов, диоритов, сиенитов). Они в материале валунной фракции представлены гранито-гнейсом и очковым гнейсом. Гранито-гнейс – порода массивной текстуры, слабополосчатая и наиболее близкая к гранитоидам. Очковый гнейс – разновидность гранито-гнейсов. В этой породе полевой шпат кроме мелких кристаллических зерен в основной массе породы образует крупные (до 2,5 см) порфиробласты линзовидной или округлой формы. Гнейсы среди представителей метаморфических горных пород в моренных отложениях валунной и галечной фракций являются доминирующими.

7. Амфиболиты. Эти породы представлены массивными, полосчатыми средне- и мелкозернистыми разностями, иногда сильно выветрелые, состоящими из роговой обманки и плагиоклаза (альбит, олигоклаз, битовнит). В качестве дополнительных минералов присутствуют эпидот, хлорит, сфен, апатит, биотит или гранат. Структура породы полнокристаллическая, реже гранобластовая. Амфиболиты в моренных отложениях территории не имеют широкого распространения.

8. Кварцит. В валунной фракции моренных отложений в незначительных количествах отмечены темно-серые, редко – серо-зеленоватые и серо-голубые экземпляры породы. Структура породы кристаллически-мелкозернистая. Порода крепкая, с раковистым изломом на свежих сколах. В разрезе моренных отложений карьера д. Мельники отмечены образцы мелких валунов кварцито-песчаника. В этой породе сочетаются типичные признаки и свойства кварцита и песчаника.

9. Мигматит. В вертикальных стенках карьерных выработок и на площадных участках отмечены единичные валунные разности породы. Структура породы полнокристаллическая, среднезернистая, в некоторых образцах гранобластовая. Текстура полосчатая, с чередующимися слоями темного метаморфического и светлого гранитного состава материалов. Порода плотная, твердая, окраска темно-серо-черная, определяется цветовой гаммой разноокрашенных полос. Минеральный состав породы включает полевые шпаты, кварц, роговую обманку, биотит и авгит.

10. Роговик. Порода скрытокристаллической структуры, массивной текстуры. Окраска темно-серая, некоторые обломки породы зеленовато-серые. Порода крепкая, с трудом разбивается молотком, на краях свежих сколов острая с раковистым или занозистым изломом.

11. Кристаллические сланцы. Структура породы зернисто-чешуйчатая. Текстура сланцеватая параллельно-полосчатая. Цвет темно-серый, до черного. Минеральный состав: слюда, кварц, роговая обманка, гранат (альмандин), дистен и сфен. Порода непрочная, выветрелая, некоторые образцы разламываются в руках.

12. Зеленокаменные метаморфические породы. Данные породы в небольших количествах отмечены во всех карьерных выработках и на полевых площадках. Структура зеленокаменных пород из моренных отложений тонкозернистая, иногда порфировая. По текстурным особенностям они массивные, однородные, пятнистые. Породы крепкие, цветовая гамма включает различные оттенки зеленого цвета. Главные минералы: кварц, альбит, хлорит, эпидот, актинолит, в некоторых образцах присутствует альмандин.

Основным источником материала пород представителей шестой – двенадцатой групп в моренных отложениях равнины является северо-западная часть территории докембрийской Восточно-Европейской платформы.

13. Песчаник. Песчаники представляют собой однородный или слоистый агрегат обломочных зерен (песчинок), прочно связанных минеральным веществом. Минеральный состав песчаников моренных отложений равнины отличается большим разнообра-

зием. Здесь имеются олигомиктовые и полимиктовые разновидности. К первой группе относятся кварцевые песчаники, содержащие около и более 90 % кварца, а также глауконито-кварцевые и слюдисто-кварцевые, содержащие 65–85 % кварца. Минеральный состав полимиктовых песчаников включает наряду с кварцем калиевый или натриевый полевой шпат. Среди полимиктовых песчаников в моренных отложениях доминируют аркозовые, содержащие до 30 % полевого шпата. Песчаники являются доминирующими среди осадочных пород во всех фракциях моренных отложений Прибужской равнины. Окраска песчаников пестрая: от светло-серой – зеленовато-серой – темно-бурой-красноватой до темно-коричневой. Различные сочетания минерального состава песчаников отражают особенности областей сноса и процессов отложения в моренных аккумуляциях. Глауконитовый песчаник светло-зеленой окраски, с небольшими темно-бурыми пятнами фосфорита галечной фракции отмечен в небольших количествах. Аркозовые песчаники первоначально образуются за счет крупнокристаллических кварц-полевошпатовых пород кристаллического фундамента и его щитовых областей. Аркозовые песчаники в моренных отложениях равнины валунной и гравийной фракций являются дальнеприносными из фенноскандинавского центра оледенения. Олигомиктовые разновидности песчаников – продукт местной белорусской питающей провинции. Глауконитовый песчаник принесен ледником из ордовикских отложений Прибалтики [7].

14. Конгломерат. Полимиктовая сцементированная горная порода с более грубыми окатанными обломками, чем в песчаниках. Размерность сцементированных обломков в обнаруженных конгломератах моренных отложений равнины варьирует от 0,5 до 25 мм. Состав обломков галечной размерности и включает кварц, гранит, гнейс, кремень. Связующая масса – плохо сортированный песчано-илистый материал.

15. Брекчия. Полимиктовая сцементированная горная порода с более грубыми неокатанными (угловатыми) обломками, в отличие от конгломерата. Состав обломков и связующая масса идентичны конгломератам. Размерность угловатых включений варьирует от 10 до 35 мм. Брекчевидные породы валунной размерности наиболее часто встречаются в верхней части разреза абляционной морены у д. Мельники Каменецкого района обломками. Состав обломков и связующая масса идентичны конгломератам. Размерность угловатых включений варьирует от 10 до 35 мм. Конгломератовидные и брекчевидные породы в моренных отложениях равнины дальнеприносные из фенноскандинавского центра оледенения.

16. Известняк. Горная порода, состоящая из кальцита или арагонита. В моренных отложениях района исследований в валунной фракции обнаружены хемогенные и органиогенные известняки. Хемогенные известняки возникли за счет накопления CaCO_3 из поддонной воды в морских водоемах. Хемогенные известняки в моренных образованиях из местной питающей провинции, сформированной в меловое время в морских условиях.

Органогенный известняк в моренных отложениях представлен известняками морского генезиса. Эти известняки сложены карбонатными скелетными остатками животных или растительных организмов или продуктов их жизнедеятельности (зоогенные и фитогенные известняки). Среди зоогенных известняков, обнаруженных в валунной и галечной фракций моренных отложений равнины, выделены: форамениферовые, мшанковые, коралловые, брахиоподовые, гастроподовые, криноидные и трилобитовые. Среди фитогенных выделены водорослевые – онколитовые и строматолитовые. Известняки среди осадочных горных пород в абляционных моренных аккумуляциях валунной, и особенно галечной фракции, наряду с песчаниками являются доминирующими. Органогенные известняки в моренных отложениях равнины принесены с территории Прибалтики, где они в составе ордовикско-силурийских отложений поверхностно обнажены [4].

17. Доломит. В моренных отложениях встречается в небольших количествах. Первоначально порода образуется в морских бассейнах как продукт химического осаждения. Такой морской бассейн в девонское время существовал там, где сейчас располагается северная часть Беларуси. Единичные образцы микрозернистого доломита, образовавшегося в девонском морском бассейне, выделены в карьерном разрезе моренных отложений д. Кощеники и Зборомирово. Эта порода в морене из местной белорусской питающей провинции.

18. Кремень. Кремень является агрегатом кристаллического или аморфного кремнезема. В моренных отложениях встречается в виде разноразмерных обломков (иногда причудливой формы) и кремневых конкреций (стяжений). Первоначально кремни образовались различными способами. Одни из них возникли путем выпадения опалово-халцедонового вещества из циркулирующих растворов и заполнения этим веществом пустот, имеющих в породах. Другие образовались в процессе диагенеза путем отложения опалово-халцедонового вещества вокруг какого-либо центра (затравки) в результате действия кристаллизационных сил.

В песчаной (0,25 – 0,1 мм) тяжелой минеральной фракции сожской абляционной морены в разных количествах выделено несколько групп минералов. Тяжелые минералы включают большую группу индивидов различного генезиса, которые первоначально формируются в гипогенных условиях. Это в большинстве темноокрашенные, аллотигенные (принесенные из других мест) минералы, относящиеся к химическому классу силикатов и окислов с плотностью от 2,75 до 5 г/см³ и выше. Эти минералы в процессе их изучения отделяются от широко распространенных легких минералов плотностью менее 2,75 г/см³ в тяжелых жидкостях методом сепарации, или искусственным шлихованием. В естественных природных процессах с участием воды посредством природного шлихования они формируют разноразмерные, темноокрашенные прослойки в различных генетических типах четвертичных отложений, в т. ч. и моренных. Состав тяжелых минералов четвертичных пород Беларуси насчитывает более 50 минеральных видов, не превышая при этом 30–35 разновидностей – чаще едва достигает 20–25 наименований. Доминирующую часть тяжелых минералов (10–20 %) составляют амфиболы, гранаты, ильменит, циркон, эпидот, цоизит. Содержание биотита, лимонита, магнетита, турмалина, апатита, пироксенов, рутила, ставролита и тяжелых фосфатов составляет от 2 до 10 %. Сфен, дистен, лейкоксен, силлиманит, андалузит, мусковит, брукит, топаз, хлорит, монацит, анатаз, глауконит составляют до 1 %. Очень редко из тяжелых минералов отмечаются касситерит, флюорит, эвдиалит [7].

Среди тяжелых минералов сожской морены на территории равнины доминируют аллотигенные минералы, а по составу доминируют минералы группы амфиболов и пироксенов. Характерной особенностью амфиболов является то, что в их кристаллических структурах принимают участие сдвоенные ленты кремнекислородных тетраэдров состава $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$. Амфиболы отличаются широким разнообразием химического состава, а по многим физическим свойствам сходны между собой. В песчаной тяжелой фракции (0,25 – 0,1 мм) моренных отложений равнины диагностированы следующие минералы группы амфиболов: тремолит, актинолит, роговая обманка, глаукофан, арфведсонит (моноклинные амфиболы) и антофиллит (ромбический амфибол). В количественном отношении представители амфиболов, особенно роговая обманка, доминируют среди других минералов.

19. Тремолит в песчаной фракции вышеназванного размера выглядит в виде угловато-окатанных, реже удлиненных зерен серой окраски, с характерным стекляннм блеском. Основным источником минерала в ледниковых отложениях являются кристаллические глаукофановые сланцы.

20. Актинолит. Удлиненные и угловатые призматические зерна различной степени окатанности этого минерала с характерным зеленовато-желтым цветом широко

распространены в песчаной фракции моренных отложений равнины. Источником данного минерала в ледниковых аккумуляциях являются кристаллические сланцы и породы основного состава, подвергшиеся гидротермальному метаморфизму на территории северо-западной части Восточно-Европейской платформы [6].

21. **Роговая обманка** является доминантным минералом среди амфиболов в составе тяжелой фракции. В поле бинокулярного микроскопа минерал выглядит в виде угловатых, угловато-окатанных и окатанных, удлинённых пластинчатых зерен с неровными краями, отличающихся стекляннм, реже шелковистым блеском зеленовато-серой окраски. Обыкновенная роговая обманка является типичным минералом интрузивных изверженных пород, чаще средней основности: сиенитов, диоритов, гранодиоритов. Является породообразующим минералом метаморфических горных пород – амфиболитов, амфиболитовых сланцев и гнейсов, которые широко распространены в составе валунного материала ледниковых отложений равнины, поступивших из Фенноскандии.

22. **Глаукофан** в песчаной тяжелой фракции выделяется в виде удлинённых, чаще окатанных зерен серовато-синей окраски. *Глаукофан, афвердсонит и антофиллит* среди амфиболов тяжелой фракции песчаных отложений не имеют широкого распространения. Основным источником этих минералов являются метаморфические породы, кристаллические слюдяные, глаукофановые и эпидотовые сланцы северо-западной части Восточно-Европейской платформы [7].

Минералы группы пироксенов относятся к цепным силикатам с одинарными цепочками $[\text{SiO}_3]^{2-}$. По кристаллографическим признакам в этой обширной группе минералов выделено две подгруппы: моноклинных и ромбических пироксенов. В песчаной тяжелой фракции (0,25 – 0,1 мм) моренных отложений равнины диагностированы следующие минералы группы пироксенов: авгит, геденбергит, сподумен, эгирин (моноклинные пироксены), энстатит, гиперстен (ромбические пироксены). Пироксены в количественном отношении в сравнении с амфиболами в песчаной фракции распространены гораздо меньше и сравнимы в количественном отношении с такими минералами, как силлиманит, ставролит и гидрослюды железа.

23. **Авгит**. Этот минерал в составе тяжелой фракции имеет максимальное распространение среди других представителей пироксенов. Окраска минерала желтовато-зеленая, зеленая, черная, реже бурая. Блеск стекляннй иногда матовый. В некоторых пробах песчаного материала отмечены хорошо сохранившиеся кристаллические короткостолбчатые, таблитчатые формы кристаллов и кристаллы в виде двойников с деформированными гранями. Некоторые кристаллы авгита в поперечном сечении имеют форму восьмиугольника, что является характерным диагностическим признаком этого минерала. Основным источником этого минерала в моренных отложениях равнины являются магматические обломочные породы основного (габбро, диабазы, базальты) и среднего (диориты) состава, а также метаморфические породы.

24. **Геденбергит** выделяется темно-зеленой окраской угловатых обломков типичного стекляннго блеска. От других пироксенов отличается своей хрупкостью. Основным источником его являются скарновые породы Кольского полуострова и территория Карелии [2].

25. **Сподумен** в песчаной тяжелой фракции выделяется желтоватой, реже розоватой окраской, слабо перламутровым блеском, обломками кристаллов с зазубренными краями. На некоторых кристаллических формах четко выделяется продольная штриховка, что является важным диагностическим признаком этого минерала. Основным источником являются щелочные гранитные пегматиты Швеции и Кольского полуострова [3].

26. **Эгирин** представлен неправильными угловатыми, угловато-окатанными, окатанными зернами с матовой поверхностью обломками зеленовато-черной окраски,

стеклянного блеска. Основным источником этого минерала в моренные отложения равнины – нефелиновые сиениты и их пегматиты Кольского полуострова [3].

27. **Энстатит и гиперстен** среди пироксенов в тяжелой фракции не имеют большого распространения. Обломки этих минералов отличаются буровато-зеленой окраской, стеклянным блеском. Гиперстен отличается от энстатита проявлением магнитных свойств и разлагается в подогретой соляной кислоте. Основным источником минералов являются пироксен-амфиболовые, биотитовые и гранатовые гнейсы северо-западной части Восточно-Европейской платформы.

28. **Гранаты.** Повышенное содержание гранатов в составе тяжелой фракции связано с наличием основного их источника кристаллических пород из Фенноскандии. В результате ледникового переноса они подвергались разрушению и высвобождению из них гранатов. В выветрелых до состояния дресвы гранитных и гнейсовых валунах гранаты имеют кристаллическую форму ромбического додекаэдра и трапецоида, они, как правило, «свежие» и неокатанные. Ранее высвобожденные из кристаллических пород гранаты в процессе транспортировки приобретают угловатую форму, грани их истерты, а некоторые из них имеют округлую, окатанную форму. Последние поступили в материал абляционной сожской морены из отложений припятского ледника днепровского времени, подвергшихся переработке и ассимиляции сожским ледниковым покровом. Наиболее часто в тяжелой песчаной фракции отмечается альмандин, отличающийся большой химической и физико-механической устойчивостью. Реже встречаются зернаgrossуляра зеленой и желто-зеленой окраски и коричневого эссонита.

29. **Ильменит.** Минерал разной степени окатанности в виде неправильных, округлых, угловатых зерен, в меньшей степени толстотаблитчатой формы и в виде шестиугольных пластинок. Блеск стально-серый, иногда с малиновым оттенком. Цвет железо-черный. В материале тяжелой фракции в количественном отношении доминирует над другими рудными минералами.

30. **Циркон** отмечается в виде короткостолбчатых, реже длиннопризматических обломков кристаллов или хорошо окатанных или боченковидных разностей. Цвет желтый, коричневый, фиолетово-красный и бурый. Блеск – от стеклянного до искристого алмазного. Источником циркона являются граниты, гранодиориты, диориты, кристаллические сланцы и гнейсы Фенноскандии [3].

31. **Магнетит** по количественному содержанию является вторым рудным минералом после ильменита и внешне, по форме обломков, цвету и блеску похож на него. Четко определяется по проявлению свойства магнитности, отделяясь от похожего ильменита и черного рутила. Основным источником минерала в моренных отложениях являются породы основного и ультраосновного состава, а также кристаллические сланцы, кварциты Карелии и Швеции [7].

32. **Эпидот** в тяжелой фракции отличается в виде неправильных зерен, реже – обломков вытянутых кристаллов призматического облика фисташково-зеленого, желтовато-зеленого и темно-зеленого цветов стеклянного блеска.

33. **Турмалин** в составе песчаной тяжелой фракции отличается разнообразием окраски от синего, зеленого, розового, их вариаций (полихромные разности) до темно-бурого и черного. Блеск минерала стеклянный, иногда жирный. Форма в виде призматических кристаллов с хорошо сохранившимися вершинными частями с наличием вертикальной штриховки на гранях, а также угловатых, угловато-окатанных обломков трех-, реже – шестиугольников.

34. **Рутил** красного, красно-коричневого цвета в виде удлиненных тетрагональных кристаллических обломков, окатанных и угловато-окатанных зерен металлического и бриллиантово-металлического блеска довольно широко распространен в моренных песках территории равнины.

35. **Астрофілліт** золотисто-бурой, бронзово-желтой окраски в виде тонких обломков кристаллов призматической формы в незначительном количестве отмечается в составе тяжелой фракции.

36. **Оливин** выделяется в виде короткостолбчатых обломков кристаллов и зерен неправильной остроугольной и угловато-окатанной формы, стеклянного, воскового блеска, бутылочно-зеленого, реже бурого цвета. Диагностирован приблизительно в одинаковых количествах во всех изученных пробах тяжелой фракции.

37. **Ставролит**. Минерал красновато-бурого, красновато-коричневого цвета, стеклянного блеска, в виде угловато-окатанных, окатанных, реже обломков короткопризматической формы присутствует в материале тяжелой фракции в небольшом количестве.

38. **Апатит** в песчаной тяжелой фракции отмечается нечасто. Цветовая гамма – от бесцветного белого, до голубовато-зеленого и даже темно-бурого. Зерна округлой формы.

39. **Биотит, мусковит**. Эти минералы широко распространены как в легкой, так и в тяжелой фракции моренных песков. Отмечены в виде желтовато-бурых, зеленовато-коричневых, черных пластинок и спайных чешуек округлой и неправильной формы. Края неровные, зазубренные. Блеск тускло-восковый. Данные минералы в больших количествах высвобождаются из дресвяных валунов гранита и гнейса.

40. **Силлиманит** встречается в виде окатанных удлиненных, реже уплощенных призматических зерен с округлыми и угловатыми очертаниями. Некоторые обломки кристаллов имеют вертикальную штриховатость. Блеск минерала стеклянный, цвет – желтоватый, светло-серый. В нагретом растворе азотнокислого кобальта зерна минерала приобретают синюю окраску.

41. **Касситерит** в тяжелой минеральной фракции отмечен в небольших количествах в виде призматических, пирамидальных, угловато-окатанных зерен. Окраска минерала – черная, бурая. Блеск металлический, тусклый, в изломе смоляной. При взаимодействии цинка с соляной кислотой и добавлением в пробирку выделенных под микроскопом зерен касситерита последний, покрываются серебристо-белой тонкой пленкой восстановленного олова. Этим способом возможно определить содержание касситерита в пробах с похожими на него по внешним признакам минералами.

42. **Топаз** в тяжелой фракции встречается единичными зернами и представлен прозрачными бесцветными, реже желтоватыми, голубоватыми, слабо-окатанными, реже остроугольными зернами. Во многих зернах имеются округлой формы газовые включения и включения темных минералов. Это один из диагностических признаков топаза.

43. **Эвдиалит** в тяжелой фракции встречается единичными зернами и представлен обломками неправильной формы, иногда тонкими пластинками яркой розовой окраски. Блеск стеклянный. По окраске он похож на гранат и на розовый турмалин. Выделенные зерна минерала, помещенные в соляную кислоту, проявили реакцию на цирконий (оранжевая окраска куркумовой бумажки), что дало возможность отличить его от граната и турмалина. Источником вышеперечисленных минералов тяжелой фракции моренных отложений Прибужской равнины начиная от эпидота до эвдиалита являются породы территории Фенноскандии [7].

44. **Глауконит** в тяжелой фракции отмечается в виде лимонитизированных комковидных, округлых, лепешкообразных зерен зеленой, ржаво-бурой окраски. В моренные отложения равнины глауконит поступал из ордовикских и силурийских отложений Прибалтики, палеогеновых и неогеновых отложений Беларуси [4].

45. **Лимонит** является наиболее распространенным аутигенным (возникшим в результате вторичных процессов) тяжелым минералом самой верхней части разреза моренных отложений. Его формирование связано с изменением железосодержащих

минералов сульфидов, карбонатов, силикатов. Он отмечается в виде угловатых обломков и окатанных зерен и их скоплений в форме оолитов.

46. **Доломит**, встречаемый в тяжелой фракции, представлен неправильными угловатыми зернами, новообразованными таблитчатыми и ромбоэдрическими кристаллами. Окраска минерала светло-серая, буроватая, желтая. Источником лимонита и доломита в моренных отложениях является местная питающая провинция.

Охарактеризованные тяжелые минералы размерной фракции 0,25–0,1 мм по количественному наличию их в песчаных моренных отложениях равнины можно разделить на четыре группы. К первой из них, представленной наиболее часто, распространенными являются амфиболы, гранат (альмандин, реже – гроссуляр и эссонит), ильменит, циркон, магнетит и эпидот. Вторую группу составляют турмалин, пироксены, рутил, астрофиллит, оливин, ставролит, лимонит, апатит и биотит. Третья группа включает силлиманит, сфен, мусковит и глауконит и доломит. Минералы четвертой группы составляют незначительное количество и включают касситерит, топаз и эвдиалит.

Выводы

Резюмируя вышеизложенное и базируясь на анализе особенностей локализации и размещения, строения и петрографического состава материала различных фракций абляционной сожской морены на территории Прибужской равнины, можно сделать следующие выводы:

- петрографический состав валунной, галечной фракций и минеральный состав тяжелых минералов песчаной фракции 0,25 – 0,1 мм абляционной морены – полимиктовый;
- доминирующими в валунной и галечной фракций морены являются представители группы кислых пород подгруппы гранитоидов;
- гнейсы в моренных отложениях валунной и галечной фракций по сравнению с гранитоидами распространены меньше;
- песчаники и другие представители осадочных пород в моренных отложениях присутствуют приблизительно в одинаковых соотношениях с представителями метаморфических горных пород;
- в материале валунной, галечной фракций доминируют представители дальнепринесенных фенноскандинавских пород, в меньших количествах присутствуют породы с территории Прибалтики и местной питающей провинции;
- среди тяжелых минералов сожской морены на территории равнины доминируют аллотигенные минералы;
- в песчаном материале гранулометрической фракции 0,25–0,1 мм моренных отложений выделено четыре группы тяжелых минералов;
- доминирующими в тяжелой фракции моренных отложений являются представители амфиболов и пироксенов, источником которых являются кристаллические породы Фенноскандии и северо-западной части Восточно-Европейской равнины;
- минералы химического класса силикатов в тяжелой фракции доминируют над минералами класса оксидов, фосфатов и карбонатов;
- минералы местной питающей провинции в тяжелой фракции песчаных моренных аккумуляций в количественном отношении не имеют большого распространения и представлены глауконитом, лимонитом и доломитом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение. Серия Балтийская. Геологическая карта дочетвертичных образований. Лист Q – (35, 36) / Гл. Ред. Ю. Б. Богданов. Спб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.
2. Объяснительная записка к Геологической карте северо–восточной части Балтийского щита масштаба 1:500 000 / А. Т. Радченко и др. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. – 95 с.
3. Geology of the Kola Peninsula (Baltic Shield). Ed. F. P. Mitrofanov. Apatity, / 1995. – 145 pp.
4. Кривцов, А.И. Геология и полезные ископаемые Литовской ССР Госгеолиздат М. 1949. – 499 с.
5. Geological map of southern part of Polish-Belarusian Cross-Border Area Biala Podlaska and Brest region 1:250 000. Explanatory text. Scientific editors: L. Marks, A. Karabanov. – Warszawa, 2017 – 129 pp.
6. Короновский, Н.В. Краткий курс региональной геологии СССР М. Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 308 с.
7. Ярцев, В. И. Минералогия. Изучение и определение обломочных минералов антропогенных пород Беларуси / В. И. Ярцев, Я. И. Аношко – Минск : Дизайн ПРО, – 1998. – 368 с.

REFERENCES

1. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie. Seriya Baltijskaya. Geologicheskaya karta dochetvertichnyh obrazovanij. List Q – (35, 36) / Gl. Red. Yu.B. Bogdanov. Spb.: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2012.
2. Ob'yasnitel'naya zapiska k Geologicheskoy karte severo–vostochnoj chasti Baltijskogo shchita masshtaba 1:500 000 / A.T. Radchenko i dr. Appatity: Izd-vo KNC RAN, 1994. – 95 s.
3. Geology of the Kola Peninsula (Baltic Shield). Ed. F. P. Mitrofanov. Apatity, 1995. –145 pp.
4. Krivcov, A.I. Geologiya i poleznye iskopaemye Litovskoj SSR Gosgeolizdat M., 1949. – 499 s.
5. Geological map of southern part of Polish-Belarusian Cross-Border Area Biala Podlaska and Brest region 1:250 000. Explanatory text. Scientific editors: L. Marks, A. Karabanov. – Warszawa, 2017 – 129 pp.
6. Koronovskij, N.V. Kratkij kurs regional'noj geologii SSSR M. Izd-vo Mosk. un-ta, 1976. – 308 s.
7. Yarcev, V. I. Mineralogiya. Izuchenie i opredelenie oblomochnyh mineralov antropogenovyh porod Belarusi / V. I. Yarcev, Ya. I. Anoshko – Minsk: Dizajn PRO, – 1998. – 368 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 20.03.2025

Ровшан Гасан Рамазанов

канд. техн. наук, зам. директора по науке

Национального аэрокосмического агентства Азербайджана

Rovshan Hasan Ramazanov

Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science

of the National Aerospace Agency of Azerbaijan

e-mail: r.r_90@mail.ru

МЕТОД СОВМЕСТНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ ДЗ

Анализируется один из подходов к обработке геоинформационных данных, полученных из различных источников информации. Применение методологии MSPA для решения конкретной задачи ДЗ охватывает все аспекты, связанные с совместным пространственным анализом данных ДЗ, полученных из разных источников информации. Приведенные ниже основные аспекты предлагаемой методики объединены в несколько блоков, отличающихся разными подходами к их систематизации.

Ключевые слова: геоинформационные данные, дистанционное зондирование, применение.

Method of Joint Spatial Analysis of Geoinformation Data in Applied Remote Sensing Problems

The article analyzes one of the approaches to processing geoinformation data obtained from various information sources. The application of the MSPA methodology to solve a specific remote sensing problem covers all aspects related to the joint spatial analysis of remote sensing data obtained from different sources of information. The main aspects of the proposed methodology given below are combined into several blocks, distinguished by different approaches to their systematization.

Key words: geoinformation data, remote sensing, application.

Введение

В статье анализируется один из подходов обработки геоинформационных данных, полученных из разных информационных источников. Применение методики МСПА для решения конкретной задачи ДЗ охватывает все аспекты, связанные с совместным пространственным анализом данных ДЗ, полученных из разных источников информации. Основные аспекты предлагаемой методики приведенные ниже, объединены в несколько блоков, отличающихся различными подходами при их систематизации. В этих блоках сгруппированы описания действий и последовательность их выполнения, состав базового математического аппарата и принципы конфигурирования архитектуры информационной системы [1; 2].

Основные этапы проведения исследований по методике МСПА в порядке их выполнения:

- 1) определение классификационной схемы;
- 2) выбор типов классификаторов;
- 3) сбор и составление наборов данных для обучения, оценка годности данных (репрезентативность, разделяемость, достоверность);
- 4) тестирование классификаторов, уточнение или модификация классификационной схемы;
- 5) использование таблиц неточностей и параметров качества обучения для сравнительного анализа результатов обучения классификаторов;
- 6) применение различных типов классификаторов для конкретной задачи и проведение сравнительного анализа полученных результатов.

Математическое обеспечение:

- 1) теоретические основы распознавания образов для классификации объектов на сцене, описываемой многоспектральными космическими данными;
- 2) параметрические или статистические методы определения признаков и образцов для обучения классификаторов для принятия решений;
- 3) искусственные нейронные сети различной топологии;
- 4) математическое моделирование местности на основе топографических данных.

Информационное обеспечение:

- 1) цифровое ортофото местности, полученное после проведения ортотрансформирования над данным космоснимком;
- 2) цифровые модели местности, полученные из данных космических снимков (стереопары космоснимков);
- 3) цифровые вегетационные и иные спектральные индексы, полученные из многоспектральных космических данных;
- 4) цифровые векторные данные о землепользовании, созданные по существующим картам, картосхемам и планам местности из существующих бумажных карт;
- 5) цифровые векторные данные по топографии местности, полученные из топографических планшетов, масштаба 1 : 10 000.

Компьютерные технологии анализа и управления пространственными данными:

- 1) геоинформационные технологии и полнофункциональные ГИС;
- 2) геоинформационные базы данных и данные, полученные методами дистанционного зондирования, для их включения и обновления в базах данных;
- 3) ГИС и совместный анализ пространственных данных;
- 4) геообработка и варьирование пространственных данных для составления новых наборов;
- 5) ГИС как базовая платформа для прикладных задач в области управления пространственно распределенными объектами и ресурсами.

Методы исследования

Рассмотрена прикладная задача по исследованию тестовой территории, на которой присутствуют различные виды природной растительности. Именно наличие этой кормовой растительности позволяет местному населению заниматься животноводством на исследуемой территории. Ряд факторов, инициированных антропогенным воздействием на исследуемую территорию, делает важным осуществление аэрокосмического контроля над экологической ситуацией в регионе [3].

Исследование и сбор данных, необходимых для проведения сформулированной задачи. В области проведения исследований (внутри круга с радиусом 2,8, 3,7 и 5,0 км) были выбраны 9 основных и 2 дополнительных типа несезонной растительности. В течение года были проведены GPS-измерения на местах обнаружения растительности этих типов. При измерениях также проводилось распознавание типов почвы, которые вместе с исследуемыми видами растительности могут дать от 16 до 27 (в первом цикле измерений) классов распознавания.

Были сделаны космические стереоснимки со спутника IKONOS площадью приблизительно в 100 км². Была осуществлена автоматизированная параметрическая классификация с обучением. При обучении использовались тренинговые участки, построенные на основе координат местонахождения исследуемой растительности, полученных по результатам GPS-измерений. В конечном итоге, комбинируя результаты автоматизированной классификации и полевых экспедиций, были оконтурены ареалы рас-

пространения данных типов растительности. Были также составлены электронные карты почв и ареалы их эродированности.

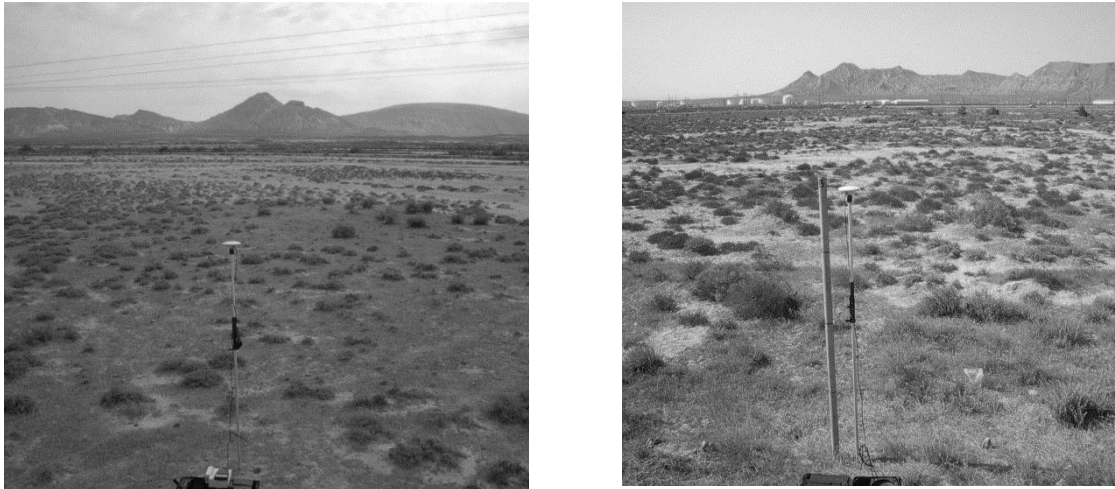


Рисунок 1 – Фотоизображения исследуемых типов растительности и почв

Для решения поставленной задачи применялись геоинформационные технологии, которые в основном базируются на точной привязке различных пространственных данных, их наложении, совместном анализе; они активно используют интерполяционные модели различных геофизических полей, например:

- 1) цифровые модели местности и их производные;
- 2) плотность распределения полей физического происхождения или химических веществ;
- 3) чисто географические характеристики, построенные на пространственных взаимоотношениях типа близости, удаленности или перекрываемости.

Ниже приведен исходный ортотрансформированный снимок исследуемого региона со спутника IKONOS (рисунок 2).

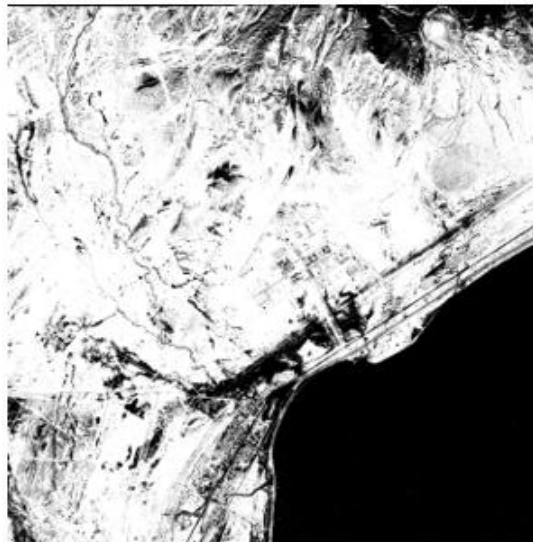


Рисунок 2 – Ортотрансформированный космический снимок со спутника IKONOS

Создание дополнительных данных. Для решения задач по анализу и классификации данных ДЗ геоинформационный подход обладает явными преимуществами

относительно традиционного подхода. При традиционном подходе априори сформирована определенная структура исходных классов для распознавания. При применении геоинформационного подхода жесткая структура исходных классов для распознавания заменяется на гибкую, адаптивно-изменяемую в процесс работы схему, которая в итоге позволяет точнее проводить ситуационный анализ более корректным способом.

Это происходит в силу двух основных причин: первая связана с применяемым нами *задачеориентированным* подходом, где в отличие от абстрактной постановки задачи классификации или выделения объектов произвольной природы мы исходим из реальной задачи исследования геораспределенных ресурсов, при которой подбираются *распознаваемые* объекты-индикаторы, характеризующие состояние и особенности распространения объектов и при этом адекватно отображающие реальную ситуацию [4; 5].

Вторая причина связана с привлечением в классификационный процесс дополнительных цифровых данных, которые пространственно совмещены с точно позиционированными в географическом пространстве данными ДЗ. Использование этих дополнительных данных изменяет традиционные процедуры распознавания объектов на всех этапах классификационных работ, к которым в первую очередь относятся:

- 1) поиск, определение и формирование тренинговых и тестовых участков;
- 2) выбор и отбраковка неинформативных примеров из этих участков при составлении тренинговых и тестовых образцов;
- 3) активное обучение классификаторов, при котором происходит количественное и качественное изменение тренинговых образцов;
- 4) оценка достоверности результатов работы обученных классификаторов.

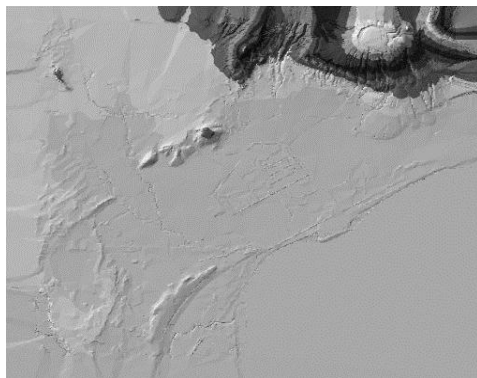
При этом возможно возникновение ситуаций, когда:

- 1) в классификационную схему вводятся новые классы, примерами для обучения которых являются не прямые данные ДЗ;
- 2) результаты работы обученных классификаторов подвергаются последующей переклассификации, проводимой геоинформационными способами.

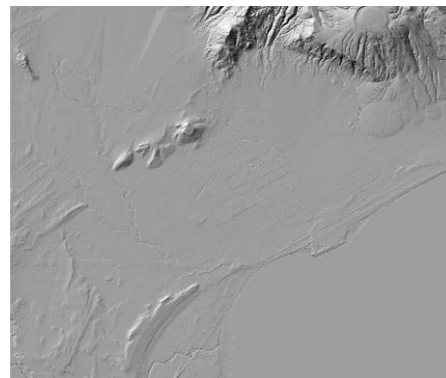
Рассмотрим дополнительные данные, которые необходимо включить в классификационные процедуры. Мы объединили эти данные в пять групп:

- 1) цифровая модель данных и ее производные;
- 2) различные спектральные индексы;
- 3) классы землепользования и типы покрытия земель;
- 4) топографические данные;
- 5) тематические данные (результаты полевых исследований).

Цифровая модель данных и ее производные представлены на рисунке 3.



а) цифровая модель местности
в регулярной сетке (параметры)



б) цифровая модель местности
в нерегулярной триангуляционной сетке
(параметры)

Рисунок 3 – Цифровая модель исследуемой местности и ее производные

Цифровая модель местности в нерегулярной сетке (ЦМРНС). Эта модель использовалась в двух целях: как промежуточный этап для построения других цифровых моделей и как средство визуализации особенностей рельефа.

ЦМРНС как промежуточный этап для построения других цифровых моделей. Как известно, главным преимуществом этих моделей является возможность использования средств ГИС и осуществления пошагового итерационного способа их построения.

ЦМРНС как средство визуализации особенностей рельефа. Данная модель используется для оценки количественной информации об уровне рельефа и ее применения в качестве дополнительных признаков классификации. Она позволяет оценить все особенности рельефа для планирования полевых работ по выбору тренинговых и тестовых участков, определения оптимальных маршрутов подъезда к этим участкам, а также для проведения экспертных оценок в составлении предварительной карты землепользования.

Различные спектральные индексы. Вегетационный индекс использовался в стадии определения, уточнения и модификации исходных тренинговых образцов и не применялся для обучения классификаторов [6; 7].

С другой стороны, вегетационный индекс, вычисленный по формуле $\ln r - I_r / \ln r + I_r$, является хорошим индикатором для оценки наличия или отсутствия вегетации. Следовательно, возможно использование нормализованного варианта этого индекса в качестве составления примеров для обучения классификатора, извлекаемых из различных тренинговых участков. Выбор тренинговых участков определялся на основе экспертной оценки наличия на тренинговом участке исследуемой растительности (рисунок 4).



а) нормализованный вегетационный индекс



б) бинарное представление вегетационного индекса по установленному порогу (значение – 123); значение выше порога характеризует наличие вегетации, ниже – ее отсутствие

Рисунок 4 – Вегетационные индексы

Результаты исследования

Тематические данные: результаты полевых исследований, определение классов землепользования и составление электронной карты.

При составлении карты землепользования необходимо прежде всего определить участки территории, которые должны быть исключены из зоны исследований. При наличии такой карты в цифровом векторном виде мы могли бы определить формат представления тематических данных, характеристики их пространственной привязки и конвертировать эти данные в проектируемую модельную ГИС [8; 9].

Для создания электронной карты землепользования мы использовали космические снимки высокого разрешения исследуемой местности со спутника IKONOS (2014 и 2015 гг.) и архивные топографические картосхемы. Для более точного пространственного совмещения данных цифровые образы планов и картосхем были подвергнуты предварительной обработке. В результате была определена структура карты землепользования, состоящая из следующих классов:

- 1) населенные пункты;
- 2) промышленные объекты;
- 3) транспортная инфраструктура;
- 4) искусственная растительность и обрабатываемые земли;
- 5) территории специального назначения;
- 6) открытая площадь без растительности и строений.



Рисунок 5 – Карта землепользования

Заключение

1. Исследована возможность проектирования модельной ГИС для управления процессами распознавания и картирования объектов на космических многозональных снимках высокого разрешения с последующим вводом полученной информации в Геоинформационные базы данных, включая определение процедуры *совместного пространственного анализа данных для выработки дополнительных признаков распознавания*.

2. Исследована и разработана методологическая основа применения *задачеориентированного* подхода в распознавании объектов на космических многозональных

снимках в зависимости от постановки реальной задачи исследования *геораспределенных ресурсов* и аналитического подбора распознаваемых *объектов-индикаторов*, которые, характеризуя состояние и особенности распространения объектов, могут адекватно отображать ситуацию о природных процессах в экосистемах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Картография с основами топографии : учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по специальности «География» / Г. Ю. Грюнберг, Н. А. Лапкина, Н. В. Малахов, Е. С. Фельдман. – М. : Просвещение, 1991. – 368 с.
2. Методы теоретико-числовых преобразований в задачах цифровой обработки сигналов / Р. Г. Фараджев, Р. М. Рагимов, С. Н. Сергеев [и др.]. – Баку : Элм, 1994. – 93 с.
3. Remote Sensing for Tropical Ecosystem Management // Proceedings of the Regional Remote Sensing Seminar on Tropical Ecosystem Management Subic, Philippines, 4–9 September 1995. – New York : UNITED NATIONS, 1995. – P. 232.
4. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса / В. В. Груздов, Ю. В. Колковский, А. В. Криштопов, А. И. Кудря. – М. : ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 482 с.
5. Пузаченко, М. Ю. Совместный анализ наземных и дистанционных данных при оценке структуры и состава лесов на примере западной части Подмосковья / М. Ю. Пузаченко, Т. В. Черненкова, Н. Г. Беляева // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2020. – Т. 65, вып. 2. – С. 303–313.
6. Грекусис, Дж. Методы и практика пространственного анализа. Описание, исследование и объяснение с использованием ГИС / Дж. Грекусис ; пер. с англ. А. Н. Киселева. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 500 с.
7. Якушев, В. П. Состояние и перспективы использования дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве / В. П. Якушев, Ю. Г. Захарян, С. Ю. Блохина // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 287–294.
8. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2023. – Т. 20, № 3. – 339 с.
9. An innovative technology for aerospace monitoring of geotechnical systems based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) / Rauf Ragimov, Elchin Isgenderzade, Rovshan Ramazanov [et al.] // Azerbaijan National Aerospace Agency 74th International Astronautical Congress, Baku, 2–6 October 2023.

REFERENCES

1. Kartohrafija s osnovami topohrafii : ucieb. posobije dlia studentov pied. in-tov po spicialnosti «Hieohrafija» / H. Ju. Hriunbierh, N. A. Lapkina, N. V. Malachov, Je. S. Fieldman. – M. : Prosvieschjenije, 1991. – 368 s.
2. Mietody tieorietiko-cislovych prieobrazovanij v zadacach cifrovoj obrabotki sihnalov / R. H. Faradziev, R. M. Rahimov, S. N. Sierhiejev [i dr.]. – Baku :Elm, 1994. – 93 s.
3. Remote Sensing for Tropical Ecosystem Management // Proceodings of the Regional Remote Sensing Seminar on Tropical Ecosystem Management Subic, Philippines, 4–9 September 1995. – New York : UNITED NATIONS, 1995. – R. 232.
4. Novyje tiechnolohii distancionnoho zondirovanija Ziemli iz kosmosa / V. V. Hruz-dov, Ju. V. Kolkovskij, A. V. Kristopov, A. I. Kudria. – M. : TIECHNOSFIERA, 2018. – 482 s.
5. Puzacienko, M. Ju. Sovmiestnyj analiz naziemnyh i distancionnyh dannyh pri ocienkie struktury i sostava liesov na primierie zapadnoj casti Podmoskovja / M. Ju. Puzacienko,

T. V. Ciernienkova, N. H. Bieliajeva // Viestnik SPbHU. Nauki o Ziemle. – 2020. – T. 65, vyp. 2. – S. 303–313.

6. Hriekusis, Dz. Metody i praktika prostranstvennoho analiza. Opisaniye, is-sliedovaniye i ob'jasneniye s ispolzovaniem HIS / Dz. Hriekusis; pier. s anhl. A. N. Kisielieva. – M. : DMK Priess, 2021. – 500 s.

7. Jakusiev, V. P. Sostojanije i pierspektivy ispolzovanija distancionnoho zondirovanija Ziemli v sielskom chozajstvie / V. P. Jakusiev, Ju. H. Zacharian, S. Ju. Blochina // Sovremennyye problemy distancionnoho zondirovanija Ziemli iz kosmosa. – 2022. – T. 19, № 1. – S. 287–294.

8. Sovremennyye problemy distancionnoho zondirovanija Ziemli iz kosmosa. – 2023. – T. 20, № 3. – 339 s.

9. An innovative technology for aerospace monitoring of geotechnical systems based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) / Rauf Ragimov, Elchin Isgenderzade, Rovshan Ramazanov [et al.] // Azerbaijan National Aerospace Agency 74th International Astronautical Congress, Baku, 2–6 October 2023.

Рукапіс надруковано у редакцію 19.03.2025

Александр Александрович Сидорович

канд. геогр. наук, доц., докторант Белорусского государственного университета

Alexandr Sidorovich

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,

Doctoral Candidate at the Belarusian State University

e-mail: brestsid@gmail.com

ГЕОГРАФИЯ ЗАНЯТОСТИ НАСЕЛЕНИЯ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛОБАЛИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЗАЦИИ

С позиций социально-экономической географии уточнены понятия «глобализация» и «технологизация», предложена концептуальная методологическая схема географического исследования влияния глобализации и технологизации на трансформацию структуры региональной занятости населения. Под экономической глобализацией понимается процесс усложнения и расширения различных форм внешнеэкономической деятельности, проявляющийся в возрастании взаимозависимости между странами и их экономическими субъектами. Для ее региональной оценки предложено использовать новые показатели: коэффициенты интенсивности внешнеэкономической деятельности и индекс инкорпоративной занятости. Технологизация представляет собой процесс внедрения в производство и повседневную жизнь новых или усовершенствованных способов действий, материалов и средств, который проявляется в увеличении производительности труда, доли затрат на приобретение и обновление основных средств, проведение научных исследований и опытно-конструкторских разработок. В качестве ключевых ее показателей предложены индексы потенциала технологического замещения и относительной инновационности.

Ключевые слова: занятость населения, глобализация, технологизация, экономико-географическая методология, цифровизация, роботизация, технологические инновации, рынок труда.

Geography of Employment: Theoretical and Methodological Aspects of the Study of Globalization and Technologization

The concepts of «globalization» and «technologization» are clarified in the article from the standpoint of socio-economic geography, a conceptual methodological scheme of geographical research of globalization and technologization for transformation of structure of regional employment of population is proposed. Economic globalization is understood as a process of complication and strengthening of various forms of foreign economic activity, manifested in an increase in interdependence between countries and their economic entities. For its regional assessment, it is proposed to use new indicators: coefficients of intensity of foreign economic activity and the index of incorporate employment. Technologization is the process of introducing new or improved methods of action, materials and means into production and everyday life, which is manifested in an increase in labor productivity, the share of costs for the acquisition and renewal of fixed assets, research and development. As its key indicators, the indices of the potential for technological substitution and relative innovativeness are proposed.

Key words: employment, globalization, technologization, economic and geographical methodology, digitalization, robotization, technological innovations, labor market.

Введение

Занятость как участие населения в создании общественных благ является не только источником получения средств к существованию индивидов, но и фундаментальным механизмом существования государства. Как правило, среди традиционных групп факторов занятости населения выделяют демографические, географические, институциональные, организационные, правовые, социальные, экономические и технологические [1; 2, с. 33; 3, с. 46; 4, с. 49; 5, с. 45; 6, с. 84–85]. Число факторов, выделяемых в каждой группе, отличается вариабельностью и зависит от принадлежности исследователя к тому или иному научному направлению. В то же время все они действуют со стороны спроса либо предложения услуг труда, в связи с чем часто все их многообразие группируется по двум указанным направлениям. Однако особого внимания из-за своего стре-

мительного проявления за последние полвека заслуживают факторы глобализации и технологических инноваций. Они носят двойственный характер. Наряду с трансформацией структуры занятости, появлением новых видов экономической деятельности, профессий и категорий рабочих мест, трудовых функций, ростом производительности труда и повышением благосостояния имеет место также высвобождение рабочей силы, ликвидация рабочих мест и исчезновение отдельных профессий. И если в целом теоретико-методологические вопросы исследования влияния глобализации и технологизации на занятость населения отдельных стран, их групп и в общемировом масштабе достаточно подробно представлены в научной литературе [7–15], то аналогичные исследовательские аспекты региональной устойчивости занятости в пределах самих стран проработаны в значительно меньшей степени [16–18].

Цель данной работы – совершенствование теоретико-методологического аппарата географических исследований воздействия глобализации и технологизации на территориальную трансформацию занятости населения страны.

Материалы и методика исследования

Глобализация и технологизация воздействуют на занятость населения в первую очередь через трансформацию числа и структуры рабочих мест, т. е. посредством изменения спроса на услуги труда. С 1960-х гг. революционное развитие микроэлектроники на основе миниатюризации электронных компонентов дало импульс коренной трансформации структуры занятости. В XXI в. технологические инновации происходят главным образом в виде автоматизации, роботизации, цифровизации и информатизации производства и быденной жизни населения. Между ними не существует четкой границы из-за взаимопроникновения и сложных взаимодействий. Совокупность перечисленных процессов получила название технологизации. С. И. Пелевин, трактуя понятие технологизации, охватывает всю палитру общественных отношений. Технологизация, по его мнению, представляет собой «процесс поэтапного структурного и функционального перехода всех общественных систем от традиционного общества к индустриальному и затем – к постиндустриальному, а также как формирование и утверждение в обществе новых институтов и современных системных особенностей» [19, с. 27]. По утверждению А. А. Тарасова, «технологизация» как более широкое понятие вытесняет термин «научно-техническая революция», поскольку последний «уже не соответствует в полной мере формирующейся реальности» и не отражает смещение научного знания «в сторону социального и человеческого измерения» общественных трансформаций [20, с. 19].

После завершения Второй мировой войны активно развивались процессы консолидации в рамках блоков капиталистических и социалистических государств. Затем в 1990-е гг. крушение «социалистического лагеря», формирование и расширение интеграционных объединений (ЕС, МЕРКОСУР, НАФТА и др.), унификация глобальных правил торговли под эгидой Всемирной торговой организации (ВТО) способствовали пространственной связности национальных экономик и углублению международного разделения труда. Сам процесс всемирной интеграции и унификации в различных сферах жизни общества именуется глобализацией. Как отмечает М. В. Фомина, «глобализация в своей основе – это, прежде всего, новая, более высокая ступень интернационализации хозяйственной жизни в планетарном масштабе, что непосредственно связано с углублением общественного разделения труда; концентрацией и централизацией капитала на международном уровне; тенденциями к интернационализации других сторон жизни современного человечества» [21, с. 28]. В основе глобализации лежат «процессы универсализации роли технических и технологических регуляторов общественных отношений» [20, с. 14]. Темпы глобализации всех сфер жизнедеятельности общества и в целом цивилизационного развития ускоряются, а главные черты проявляются в первую очередь благодаря информатизации [20, с. 22; 22, с. 10]. Таким обра-

зом, технологизация и глобализация являются взаимосвязанными процессами. Технологические инновации ускоряют глобализацию, упрощая международную торговлю, инвестирование и обмен информацией. В свою очередь глобализация стимулирует распространение технологий и знаний по всему миру, способствуя дальнейшему технологическому прогрессу. В то же время она имеет четыре ключевые формы: экономическую, политическую, культурную и технологическую. Каждая из них в разной степени определяет динамику занятости населения регионов (рисунок 1). Выделение технологической глобализации подчеркивает взаимосвязь глобализационных процессов и технологизации. Последняя является более широким понятием, поскольку включает не только международный обмен инновациями, но и технологические изменения национального и даже внутрифирменного уровня. В данном исследовании акцент делается на влиянии экономической глобализации на динамику занятости населения.



Рисунок 1 – Направление воздействия основных форм глобализации на занятость населения регионов

Проведенное исследование базируется на теоретическом анализе географических, экономических и социологических работ отечественных и зарубежных ученых, посвященных проблемам глобализации и технологических изменений. В работе реализован эклектический подход с применением системного анализа и методов логического построения, апперцепирования, критического анализа. Методическая схема исследования включает следующие этапы: 1) установление конкретных направлений и механизмов воздействия технологических изменений и экономической глобализации на занятость населения; 2) определение возможности эмпирического анализа соответствующих направлений с учетом наличия статистической информации; 3) обоснование показателей, характеризующих соответствующие количественные и качественные изменения занятости на уровне регионов; 4) разработка концептуальной схемы экономико-географического исследования влияния глобализации и технологизации на региональную занятость.

Результаты исследования и их обсуждение

За последние несколько десятилетий наиболее масштабные изменения в структуре занятости населения происходили вследствие Четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0). Аналогичные по масштабам трансформации хозяйственной системы общества имели место и при предыдущих трех промышленных революциях (индустриальных переворотах), под которыми понимаются «трансформации жизнедеятельности общества, выражающиеся: в смене технологического способа производства товаров и услуг; структурных

сдвигах; изменениях экономического и институционального механизмов в рамках хозяйственной системы на всех уровнях ее функционирования (мега-, макро-, мезо- и микроуровне)» [23, с. 21] (рисунок 2). Исследование влияния технологического прогресса на занятость населения нашло отражение еще в XIX в., например, в трудах К. Маркса (К. Marx). Он делает акцент на технической стороне прогресса в виде влияния машин (техники) на занятость населения. С одной стороны, они позволяют удешевлять товары, а с другой – увеличивают долю рабочего времени, в течение которого формируется прибавочная стоимость. Машины, по его мнению, являются «средством производства прибавочной стоимости» [24, с. 377]. Примечательно, что, по мнению родоначальника экономической истории У. Каннингема (W. Cunningham), «век изобретений», под которым он подразумевал Первую промышленную революцию, был подготовлен эпохой Великих географических открытий [25, с. 212]. И. М. Кулишер указывает на синхронность промышленной революции и формирования новой эпохи хозяйственной жизни – периода мирового хозяйства, сменившего период «народного хозяйства». Развитие транспорта позволило связать воедино не отдельные части страны, а «целые государства и части света», а мировой рынок открыл дорогу крупному промышленному производству [26, с. 457]. Т. Левитт (T. Levitt) видит технологии в качестве движущей силы глобализации [27, р. 92].



**Рисунок 2 – Промышленные революции в истории человечества
(разработано по [23–28])**

Основной вектор нынешней промышленной (технологической) революции направлен на инновации, связанные главным образом с внедрением компьютерных технологий, искусственного интеллекта, нанотехнологий и роботизацией производства [29, с. 58]. В повседневной жизни инновации активно проявляются в стремительном развитии платформенной экономики (например, 21vek.by, Emall, Wildberries, Ozon, Alibaba, Amazon и др.). Ф. Агион (P. Aghion) и П. Ховитт (P. Howitt) обращают внимание на два разнонаправленных воздействия технологического прогресса на занятость населения [30, р. 478]. С одной стороны, технологии, замещающие труд человека, приводят к высвобождению рабочей силы и ее перераспределению на рынке труда. Например, только за период с 2000 г. число роботов во всем мире увеличилось более чем в три раза, достигнув в 2019 г. 2,25 млн единиц. По прогнозным оценкам, к 2030 г. в обрабатывающей промышленности мира из-за роботизации может быть сокращено около 20 млн рабочих мест, или 8,5 % [16, р. 3–4]. С другой стороны, возникает эффект активного инвестирования в высокопроизводительные сектора, базирующиеся на современных технологиях и высокой технологичности, а это приводит к расширению занятости в этих сферах и росту спроса на рабо-

чую силу. По этому поводу Д. Ламберт (J. Lambert) и Э. Коун (E. Cone) полагают, что даже при возрастающих темпах инвестиций в робототехнику распространенные убеждения о порождении роботами массовой безработицы по всему миру являются несостоятельными [16, р. 19]. Опираясь на метаисследования, ограниченные началом 1990-х гг., М. Кастельс (M. Castells) делает заключение об отсутствии «систематического структурного соотношения между распространением информационных технологий и эволюцией уровня занятости в целом по экономике» [9, с. 254]. Результаты исследований П. Рестрепо Меса (P. Restrepo Mesa) свидетельствуют, что замещение человеческого труда промышленными роботами, цифровыми технологиями и компьютерными машинами порождают новые профессиональные задачи и появление новых рабочих мест. Так, за период 1985–2015 гг. «большую часть роста занятости в США» обеспечили новые профессии [15, р. 119]. Очевидно, что наиболее подвержены замещению автоматизацией рабочие места, предполагающие выполнение рутинных (кодифицированных) задач с четко определенными процедурами, которые поддаются простой алгоритмизации. Наименее восприимчивы к компьютеризации профессии, сопряженные с широкими универсальными компетенциями, высоким уровнем социального и творческого интеллекта.

Новые технологии позволяют заменить менее квалифицированный труд капиталом, овеществленным в новейших технологических устройствах. Основными бенефициарами технологических инноваций оказываются в первую очередь владельцы капиталов и высококвалифицированные работники [29, с. 58]. Ряд ученых отмечает, что современная экономика трансформируется в экономику знаний, роль которых многократно возрастает не только в фундаментальных, но и сугубо прикладных аспектах. Ценность работника определяется компетенциями, способными «аккумулировать знания в области инноваций, цифровизации, информатизации, новых процессов и методов коммуникаций» [31, с. 16]. Внедрение технологических инноваций, таким образом, требует от соискателей как новых, так и старых рабочих мест более высокого уровня навыков, знаний и компетенций в области информационных технологий (ИТ), анализа данных и управления автоматизированными системами. Следовательно, по мере формирования постиндустриальной экономики принципиально меняется квалификационная структура совокупного работника и содержание труда. Доминирующим становится высококвалифицированный, аналитический, новаторский и творческий труд [32, с. 32]. Д. Белл (D. Bell) указывает, что «стержнем» современного общества становятся теоретические знания, вокруг которых организовываются новые технологии, экономический рост и социальная стратификация. В связи с этим общество по праву может именоваться постиндустриальным [33, с. 152]. Его экономической базой стали наукоемкие отрасли промышленности, а основным ресурсом – человеческий капитал [33, с. 160]. Под знаком технологических инноваций происходит преобразование подходов к организации труда с расширением дистанционных и гибких его форм, позволяющих оптимизировать баланс между работой и личной жизнью (досугом).

Методологический интерес представляет оценка восприимчивости рабочих мест к роботизации на основе индекса «роботоуязвимости» регионов (Robot Vulnerability Index), предложенного британскими учеными Д. Ламбертом и Э. Коуном [16, р. 3]. Данный индекс рассчитывается как произведение трех равнозначных показателей: доли занятых в обрабатывающей промышленности региона (зависимость от обрабатывающей промышленности), число роботов в расчете на 1000 работников (восприимчивость обрабатывающей промышленности к «запросам будущего») и отношение производительности труда в обрабатывающей промышленности региона к среднему показателю для данной отрасли в целом по стране (дифференциация производств по степени инновационности) [16, р. 25]. Апробировав данную методику на шести странах (Австралия, Великобритания, Германия, Республика Корея, США и Япония), указанные авторы установили, что негативные по-

следствия роботизации непропорционально воздействуют на регионы с разным уровнем развития. В регионах с низким уровнем доходов один новый робот в среднем замещает почти в два раза больше рабочих мест по сравнению с регионами с высоким уровнем доходов той же страны [16, р. 4]. Несомненным достоинством данного исследования является то, что его авторам на основе большого массива данных удалось нейтрализовать влияние на региональные рынки труда прочих факторов (например, динамики реальной заработной платы, сдвигов в моделях глобальной торговли и других ненаблюдаемых региональных и отраслевых факторов), отделив их таким образом от роботизации [16, р. 20]. С целью определения потенциального уровня технологического вытеснения рабочей силы в регионах Российской Федерации данная методика была адаптирована А. Б. Берберовым [17, с. 133–134]. Ввиду отсутствия в российской статистике сведений о числе используемых в производственных процессах роботов он предлагает использовать вместо него долю высокопроизводительных рабочих мест (ВПРМ) в обрабатывающей промышленности [17, с. 134]. При этом к высокопроизводительным рабочим местам относятся все замещенные рабочие места экономических субъектов, в которых среднемесячная заработная плата работников равна или превышает установленное пороговое значение [34]. Между тем даже данный показатель в Российской Федерации рассчитывается лишь для субъектов (республик, краев, областей и округов), а в Беларуси – только в целом по стране и без официального опубликования [35, с. 32].

Опираясь на указанную методику, нами предложен иной индекс для расчета степени потенциального воздействия технологических инноваций на занятость населения административно-территориальных районов и областей – индекс потенциала технологического замещения ($I_{птз}$), рассчитываемый в соответствии с формулой (1):

$$I_{птз} = \frac{D_j}{\bar{D}} \times \frac{\overline{ПТ}_{в/з}}{ПТ_{в/з}^j} \times \frac{ЗП_j}{\overline{ЗП}} \times \left(\frac{ЧП_j - ЧП_j^{min}}{ЧП_j^{max} - ЧП_j^{min}} + 1 \right), \quad (1)$$

где $\bar{D}$, D_j – доля занятых в промышленности и сельском хозяйстве страны в целом и региона j соответственно; $\overline{ПТ}_{в/з}$, $ПТ_{в/з}^j$ – средняя производительность труда (выручка в расчете на одного занятого) в стране и регионе j соответственно, руб. на одного занятого; $\overline{ЗП}$, $ЗП_j$ – средняя номинальная начисленная заработная плата в стране и регионе j соответственно, руб.; $ЧП_j$, $ЧП_j^{min}$, $ЧП_j^{max}$ – чистая прибыль организаций в расчете на одного занятого в регионе j , регионах с минимальным и максимальным значением соответственно, руб. на одного занятого.

В предложенной методике при наличии статистических данных вместо средней производительности труда и средней номинальной начисленной заработной платы в целом по экономике страны или регионов можно использовать данные только в отношении промышленности и сельского хозяйства (с учетом их долей в общей структуре занятости). В целом чем выше значение показателя, тем больший потенциал (вероятность) замещения рабочих мест под воздействием технологических инноваций имеет регион. Использование в предложенном интегральном показателе удельного веса занятых в промышленности и сельском хозяйстве (возможно использование занятости в сфере производства в целом) обусловлено тем, что именно данные отрасли являются наиболее восприимчивыми к вытеснению рабочих мест. Производительность труда в значительной степени отражает достигнутый технологический уровень производства. При этом рост затрат для перехода на последующий более высокий уровень носит скачкообразный, экспоненциальный характер [36 с. 51, 57]. Следовательно, технологические обновления становятся более затратными и менее доступными для экономических субъектов, т. е. чем выше достигнутый уровень производительности труда, тем меньше потенциал замещения рабочих мест относительно других регионов. Включение заработной платы как компонента интегрального показателя обусловлено тем,

что более высокий ее уровень повышает экономическую мотивацию нанимателей искать возможности замещения человеческого труда автоматизацией и цифровизацией производства. Способность экономических субъектов к технологическим обновлениям ограничена их финансовым состоянием, что находит отражение в показателе чистой прибыли. На региональном уровне для данного показателя применяется нормализация по минимаксному принципу, поскольку он может принимать отрицательные значения в виде убытка. Более того, для региона и для страны в целом данный показатель может иметь противоположный знак. Добавление константы, равной единице, позволяет задать диапазон значений от 1 до 2 вместо диапазона 0–1, при использовании которого регион с минимальным параметром имел бы нулевое значение интегрального показателя. При этом первые три составляющие гипотетически могли иметь наибольшие среди других регионов значения.

С целью оценки уровня технологизации экономики, исходя из сложившейся системы сбора статистической информации, предлагается использовать индекс относительной инновационности (I_{oi}), который представляет собой отношение объема отгруженной инновационной продукции организаций в расчете на одного занятого в промышленности региона к аналогичному показателю для промышленности страны в целом (формула 2):

$$I_{oi} = \frac{I_{и/з}^j}{I_{и/з}} = \frac{C_{ип}^j \cdot ЧЗ}{ЧЗ_j \cdot C_{ип}}, \quad (2)$$

где $I_{и/з}$, $I_{и/з}^j$ – стоимость инновационной продукции в расчете на одного занятого в экономике страны и региона соответственно, руб.; $C_{ип}$, $C_{ип}^j$ – стоимость инновационной продукции, произведенной в стране и регионе соответственно, руб.; $ЧЗ$, $ЧЗ_j$ – численность занятых в экономике страны и региона соответственно, человек.

По мнению С. Я. Веселовского, на механизмы и способы использования рабочей силы, инвестиций в человеческий капитал воздействует глобализация [8, с. 7]. Глобализационные процессы, также, как и распространение технологических инноваций, сказываются на национальных рынках труда в двух аспектах. Во-первых, с точки зрения перспектив создания новых рабочих мест, а во-вторых, с точки зрения перспектив сохранения существующих. Степень уязвимости конкретного рабочего места в конкурентных условиях зависит от сложности выполняемых трудовых задач и востребованности на данном рабочем месте навыков и умений [8, с. 44, 45].

При проведении географических исследований занятости населения необходимо учитывать как позитивные, так и негативные эффекты глобализации (таблица 1). В целом наиболее общими положительными последствиями экономической глобализации выступают интеграция экономических субъектов региона в международные производственные цепочки (кооперация), создание в пределах региона новых производств с участием в различных соотношениях иностранного капитала, увеличение объемов производства за счет расширения клиентской базы других стран. Но имеют место и негативные проявления глобализации: вывод производств за пределы страны в связи с более дешевыми и доступными факторами производства либо комфортными условиями осуществления хозяйственной деятельности, снижение объемов производства либо прекращение деятельности из-за поставок более конкурентоспособной продукции по цене или качеству. В рамках центр-периферийной модели влияние глобализации проявляется в усилении территориальной дифференциации. Регионы, относящиеся к ядру, выступают фокусами финансовых потоков и инноваций, контролируют значительную часть экономических ресурсов, что обеспечивает механизм асимметричного перераспределения добавленной стоимости. Естественно, это приводит к еще большему усилению регионального неравенства. Отдельного внимания заслуживает оценка влияния на занятость международной трудовой миграции. В самом упрощенном виде эмиграция из стран с трудоизбыточным рынком труда позволяет обес-

печить выехавшему населению получение средств к существованию, а для принимающих стран – удовлетворить спрос работодателей на услуги труда. Среди наиболее очевидных отрицательных сторон миграции следует отметить так называемую «утечку мозгов» (интеллектуальную эмиграцию, связанную с выбытием средне- и высококвалифицированных специалистов) для стран выбытия и вытеснение с рабочих мест местного населения для стран прибытия.

Таблица 1 – Последствия глобализации (сост. по [22, с. 12; 37, с. 155])

Позитивные последствия	Негативные последствия
✓ возможность расширения рынков сбыта; ✓ создание новых рабочих мест на основе иностранных инвестиций; ✓ распространение и внедрение технологических инноваций; ✓ доступ к более дешевым ресурсам; ✓ повышение качества жизни за счет снижения уровня цен и упрощения жизнедеятельности; ✓ повышение уровня образования и профессиональных навыков работников за счет доступа к мировым достижениям; ✓ устранение дефицита рабочей силы.	✓ вытеснение отечественных экономических субъектов с внутреннего и внешних рынков; ✓ возможность сокращения рабочих мест; ✓ риски недобросовестного использования ресурсов в странах со слабой институциональной базой; ✓ усиление неравенства из-за неравномерного распределения выгод глобализации; ✓ формирование зависимости от внешних рынков и повышение уязвимости к глобальным экономическим колебаниям; ✓ угроза целостности национальных культур и политического суверенитета.

Несмотря на то что о глобальных взаимосвязях в истории человечества можно вести речь как минимум с момента образования первых государств в конце IV – начале III тысячелетия до н. э. (например, Киш, Ур и Урук в Месопотамии [38, с. 8–9]), термин «глобализация» в современном понимании вошел в научный оборот в середине 1980-х гг. после опубликования статьи американского экономиста Т. Левитта, посвященной формированию мировых рынков товаров и услуг [27]. Одна из ключевых идей его работы заключается в формировании глобальных рынков стандартизированных потребительских товаров [27, р. 92]. Транснациональные компании (ТНК) за счет эффекта масштаба успешно реализуют одни и те же товары и услуги на абсолютно разных рынках вне зависимости от лингвистических, этноконфессиональных особенностей, культурных предпочтений и национальных вкусов потребителей [27, р. 93]. Для региональной занятости принципиальное значение имеет стратегия развития системообразующих экономических субъектов и их встроенность в мировые цепочки поставок. Если субъект, с одной стороны, снижает издержки и цены, а с другой – повышает качество и надежность, то потребители будут отдавать предпочтение именно его стандартизированной на мировом уровне продукции независимо от страны реализации товара. Глобальная конкуренция означает, по сути, размывание внутренней территориальности.

Вместе с тем не стоит преувеличивать значение глобализации на современном этапе по сравнению с предыдущей историей человечества. Так, в соответствии с исследованиями Э. Мэддисона (A. Maddison), учитывая объемы международной торговли и объемы производства, «в 1500–1870-х гг. глобализация имела гораздо большее значение, чем в последующие столетия» [39, с. 126]. В его работах представлена ограниченная 2003 г. периодизация глобализационных процессов [39, с. 111–112]. Белорусским экономистом Г. Головенчик данная периодизация дополнена современным этапом, получившим название «цифровая глобализация» и охватывающим период с 2009 г. по настоящее время [40, с. 58]. С определенными авторскими модификациями периодизация представлена на рисунке 3.

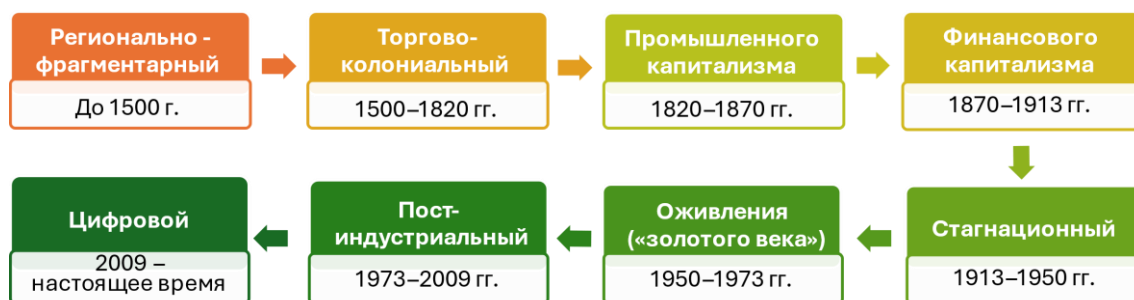


Рисунок 3 – Этапы глобализации (сост. по [39, с. 111–112; 40, с. 58])

Для цифрового этапа глобализации характерно несколько трендов. Во-первых, опережающие темпы роста потоков информации над темпами роста стоимости производимых товаров, накопления капитала и предложения рабочей силы. Во-вторых, приоритетное развитие торговли услугами и цифровыми товарами. В-третьих, переход лидерства в товарной торговле от развитых к развивающимся странам при сохранении доминирующих позиций развитых стран в сфере услуг [40, с. 60–63].

В научной литературе наиболее универсальными показателями, характеризующими вовлеченность страны, равно как и отдельных регионов, в мировую экономику как квинт-эссенции экономической глобализации считаются внешнеторговая, экспортная и импортная квоты (таблица 2). К этому же ряду относятся и другие показатели внешнеэкономической деятельности, которые одновременно выступают также и индикаторами уязвимости перед негативными проявлениями глобализационных процессов, в частности по отношению к мировым кризисам. Это обусловлено тем, что основным компонентом процесса глобализации является международная торговля товарами и услугами. Более того, первопричина глобализации заключается в «стремлении к преумножению экономических выгод и сфер влияния» [41, с. 4].

Таблица 2 – Показатели экономической глобализации (сост. с использованием [22, с. 19; 42, с. 20; 43, с. 121])

Показатель и формула расчета	Условные обозначения
Внешнеторговая квота ($K_{\text{втк}}$): $K_{\text{втк}} = \frac{\text{Э}+\text{И}}{\text{ВВП}} \times 100 \%$	Э – стоимость экспорта, руб.; И – стоимость импорта, руб.; ВВП – валовой внутренний (региональный/ВРП) продукт, руб.; ЧЗ – численность занятых в экономике; $I_{\text{вто}}$ – индекс роста внешнеторгового оборота страны или региона; $I_{\text{ввп}}$ – индекс роста ВВП или ВРП; Э_j – стоимость отраслевого экспорта, руб.; ВВП$_j$ – валовая добавленная стоимость отрасли, руб.; Э_n – стоимость отраслевого экспорта региона, руб.; Э_i – стоимость экспорта региона, руб.; ПИИ – прямые иностранные инвестиции, руб.; Э_o – экспорт продукции отрасли, руб.; V_o – объем производства продукции отрасли, руб.; ИИ$_o$ – иностранные инвестиции в отрасль, руб.; $I_{\text{зиф}}$ – темп роста численности занятых в субъектах иностранной формы собственности; I_3 – темп роста численности всех занятых в экономике; ИР – численность иностранных работников.
Экспортная квота ($K_{\text{э}}$): $K_{\text{э}} = \frac{\text{Э}}{\text{ВВП}} \times 100 \%$	
Импортная квота ($K_{\text{и}}$): $K_{\text{и}} = \frac{\text{И}}{\text{ВВП}} \times 100 \%$	
Коэффициент интенсивности внешнеэкономической деятельности ($K_{\text{вэд}}$): $K_{\text{вэд}} = \frac{\text{Э}+\text{И}}{\text{ЧЗ}} \times 100 \%$	
Коэффициент опережения темпов роста внешнеторгового оборота над темпом роста ВВП ($K_{\text{овто/ввп}}$): $K_{\text{овто/ввп}} = \frac{I_{\text{вто}}}{I_{\text{ввп}}} \times 100 \%$	
Коэффициент отраслевой специализации экспорта ($K_{\text{осэ}}$): $K_{\text{осэ}} = \frac{\text{Э}_j \cdot \text{ВВП}}{\text{Э} \cdot \text{ВВП}_j} \times 100 \%$	
Коэффициент территориальной специализации экспорта ($K_{\text{тс}}$): $K_{\text{тс}} = \frac{\text{Э}_n}{\text{Э}} \times 100 \%$	
Коэффициент торговой открытости отрасли ($K_{\text{тоо}}$): $K_{\text{тоо}} = \frac{\text{Э}_o}{V_o} \times 100 \%$	

Окончание таблицы 2

Индекс концентрации экспорта (индекс Херфиндаля – Хиршмана) (ИКЭ): $ИКЭ = \sum_{i=1}^n \partial_i^2$	
Интенсивность прямых иностранных инвестиций (И _{пии}): $И_{пии} = \frac{пий}{чз}$	
Коэффициент инвестиционной открытости отрасли (К _{иоо}): $К_{иоо} = \frac{ИИ_0}{V_0} \times 100 \%$	
Индекс инкорпоративной занятости (I _{из}): $I_{из} = \frac{I_{зиф}}{I_з}$	
Удельный вес иностранной рабочей силы (ИР _%): $ИР_{\%} = \frac{ИР}{чз}$	

Ключевые показатели глобализации рассчитываются как отношение одной из стоимостных составляющих внешнеэкономической деятельности к валовому внутреннему продукту (ВВП) для национального уровня исследований либо валового регионального продукта (ВРП) в случае региональных исследований. Следовательно, они отражают степень зависимости страны либо региона от рынков сбыта (для экспорта) и от зарубежных поставок товаров и услуг (для импорта). В первом случае за счет увеличения объемов производства возрастает потребность в работниках, а значит, повышается уровень занятости. Во втором случае влияние на занятость не столь однозначно. С одной стороны, поставка сырья и комплектующих по более низким ценам с учетом предложений на мировом рынке обеспечивает конкурентоспособность экономических субъектов региона, а также обуславливает текущие объемы производства и занятости. Более выражен данный аспект в случае безальтернативности поставок со стороны национальных производителей. Но также будет верно утверждение касательно экспорта промежуточных продуктов национальными субъектами вопреки интересам других экономических субъектов страны (в случае внешних поставок при более высоких мировых ценах, что в случае потребности в них делает продукцию других национальных субъектов менее неконкурентоспособной). С другой стороны, при наличии отечественных поставщиков промежуточных и готовых товаров выбор в пользу импортных обеспечивает рост занятости в регионе нахождения субъекта-импортера и снижение таковой в регионе нахождения альтернативного национального субъекта (при нахождении обоих в пределах одного региона в целом занятость редко уравнивается). В действительности в регионе, как правило, представлено множество субъектов, осуществляющих экспортные и импортные операции, в т. ч. в рамках различных их сочетаний, поэтому универсальным индикатором встроенности в глобализационные процессы правомерно считать внешнеторговую квоту региона. В то же время у данного показателя имеются пространственно-иерархические ограничения, обусловленные расчетом статистическими органами ВРП только для областей и г. Минска. В связи с этим для оценки степени интеграции в мировую экономику административно-территориальных районов (и имеющих аналогичный иерархический статус городов областного подчинения) нами предлагается принципиально новый показатель – коэффициент интенсивности внешнеэкономической деятельности, который рассчитывается как отношение внешнеторгового оборота в стоимостном выражении к среднегодовой численности занятого населения. В качестве уровня глобализационной вовлеченности предлагается также использовать индекс инкорпоративной занятости, отражающий соотношение темпов роста численности занятых в субъектах иностранной формы собственности к темпам роста численности всего занятого населения. Его актуальность обусловлена также весьма спорным с точки зрения международного права использованием рядом стран санкций в качестве инструмента геополитического давления. Одним из проявлений санкций

является уход иностранных компаний с национальных рынков, деятельность которых часто сопровождается использованием уникальных бизнес-моделей, созданием высокотехнологичных рабочих мест, требующих достаточно высокого уровня квалификации и компетенций. Результаты исследований свидетельствуют, что в условиях санкций меняется конфигурация рынка труда, а негативные эффекты санкционного давления дифференцировано воздействуют на различные сектора экономики, что усиливает структурные и территориальные диспропорции. При избытке рабочей силы в одних регионах и секторах имеется их недостаток в других [44, с. 109].

Таким образом, методологическая схема географического исследования влияния глобализации и технологизации на занятость населения включает несколько этапов, представленных на рисунке 4.

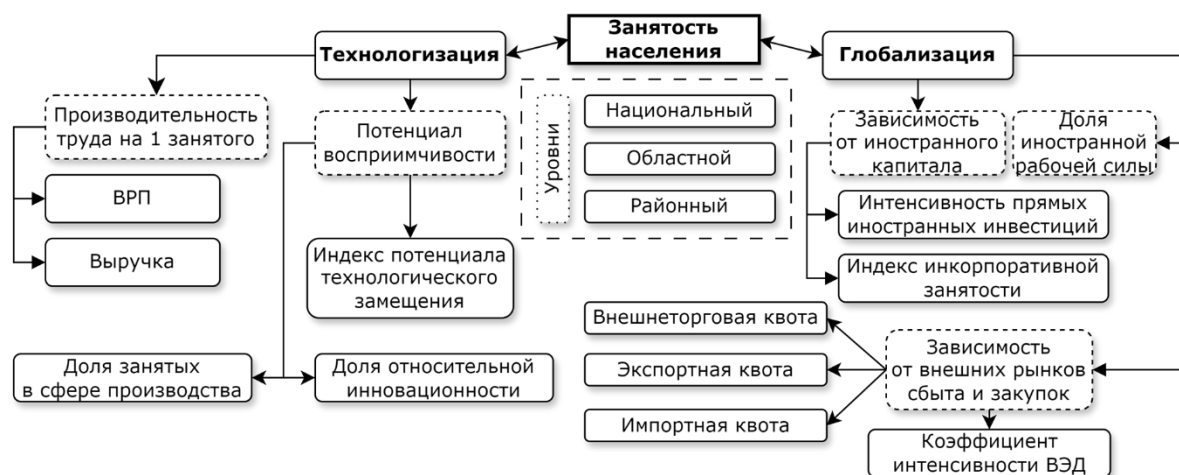


Рисунок 4 – Концептуальная схема экономико-географического исследования влияния глобализации и технологизации на занятость населения

Заключение

Методологическая схема экономико-географического исследования занятости населения предполагает установление и оценку факторов, определяющих совокупный спрос и совокупное предложение рабочей силы на рынках труда различных уровней пространственной иерархии. Для понимания механизма структурных сдвигов региональной занятости принципиальное значение приобретают факторы, ускоряющие формирование постиндустриального общества и структуры экономики, – глобализация и технологизация. Под глобализацией (экономической) понимается процесс усложнения и расширения различных форм внешнеэкономической деятельности, проявляющийся в возрастании взаимозависимости между странами и их экономическими субъектами. Для ее региональной оценки используется комплекс показателей, включающий внешнеторговые квоты, коэффициенты интенсивности внешнеэкономической деятельности, интенсивности прямых иностранных инвестиций, индекс инкорпоративной занятости. Технологизация же представляет собой процесс внедрения в производство и повседневную жизнь новых или усовершенствованных способов действий, материалов и средств, который проявляется в увеличении производительности труда, доли затрат на приобретение и обновление основных средств, проведение научных исследований и опытно-конструкторских разработок. Ключевыми показателями ее влияния на региональную структуру занятости являются индекс потенциала технологического замещения и индекс относительной инновационности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ влияния факторов на уровень занятости населения [Электронный ресурс] / Ф. Н. Ахметова [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8, № 3(34). – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/150EVN316.pdf>. – Дата доступа: 26.01.2025.
2. Бобова, М. С. Статистический анализ факторов, влияющих на уровень занятости / М. С. Бобова, Л. А. Байкова // Цифровые модели и решения. – 2024. – Т. 3, № 1. – С. 31–38. – DOI: 10.29141/2949-477X-2024-3-1-3.
3. Кашепов, А. В. Рынок труда и занятость в России в 2020–2024 гг. / А. В. Кашепов // Социально-трудовые исследования. – 2024. – № 57(4). – С. 43–52. – DOI: 10.34022/2658-3712-2024-57-4-43-52.
4. Сарычева, Т. В. Методология комплексного статистического анализа занятости в Российской Федерации по видам экономической деятельности : дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.12 / Т. В. Сарычева. – М., 2017. – 415 л.
5. Сорокина, Н. Ю. Факторы, влияющие на занятость трудовых ресурсов региона // Н. Ю. Сорокина, Ю. Д. Нефедов // Изв. ТулГУ. Экономические и юридические науки. – 2008. – № 2. – С. 39–46.
6. Сычёва, Н. Факторы и региональные особенности занятости сельского населения Гомельской области / Н. Сычёва // Аграрная экономика. – 2024. – № 8. – С. 82–96. – DOI: 10.29235/1818-9806-2024-8-82-96.
7. Ванкевич, Е. В. Рынок труда Республики Беларусь: развитие в условиях современных вызовов / Е. В. Ванкевич, О. В. Зайцева // Белорусский экономический журнал. – 2024. – № 3(108). – С. 80–94. – DOI 10.46782/1818-4510-2024-3-80-94.
8. Веселовский, С. Я. Глобализация как фактор структурных изменений на национальных и региональных рынках труда (2000–2015) : аналит. обзор / С. Я. Веселовский ; РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ. исслед. глобал. и регион. пробл. Отд. глобал. проблем ; отв. ред. И. Г. Животовская. – М. : ИНИОН РАН, 2015. – 145 с.
9. Кастельс, М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс ; пер. с англ. под науч. ред. О. И. Шкаратана. – М. : ГУ ВШЭ, 2000. – 608 с.
10. Лапшин, В. Ю. Девиация рынка труда России в условиях формирования постиндустриальной системы экономики : автореф. дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.01, 08.00.05 / В. Ю. Лапшин ; Тамб. гос. ун-т им. Г. Р. Державина. – Тамбов, 2006. – 41 с.
11. Родрик, Д. Парадокс глобализации: демократия и будущее мировой экономики / Д. Родрик ; пер. с англ. Н. Эндельмана; под науч. ред. А. Смирнова. – М. : Изд-во Ин-та Гайдара, 2014. – 576 с.
12. Acemoglu, D. Introduction to Modern Economic Growth / D. Acemoglu. – Princeton : Princeton University Press, 2009. – 1008 p.
13. Felbermayr, G. Globalization and labor market outcomes: wage bargaining, search frictions, and firm heterogeneity [Electronic resource] / G. Felbermayr, J. Prat, H.-J. Schmerer. – Bonn : Institute for the Study of Labor, 2008. – 51 p. – (IZA Discussion Paper, № 3363). – Mode of access: <https://docs.iza.org/dp3363.pdf>. – Date of access: 26.12.2024.
14. Luttwak, E. N. Turbo-capitalism: winners and losers in the global economy / E. N. Luttwak. – New York : HarperPerennial, 2000. – 304 p.
15. Restrepo Mesa, P. Technology and labor markets [Electronic resource] : thesis Ph. D. / P. Restrepo Mesa. – Cambridge (USA), 2016. – 204 p. – Mode of access: <http://hdl.handle.net/1721.1/104488>. – Date of access: 13.12.2024.
16. Lambert, J. How Robots change the world: what automation really means for jobs and productivity [Electronic resource] / J. Lambert, E. Cone. – London : Oxford Economics, 2019. – 60 p. – Mode of access: <https://www.oxfordeconomics.com/wp-content/uploads/2023/07/HowRobotsChangetheWorld.pdf>. – Date of access: 16.12.2024.

17. Берберов, А. Б. Технологическая безработица в условиях становления цифровой экономики : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.01 / А. Б. Берберов. – М., 2021. – 206 л.
18. Казлоў, А. С. Рэгіянальныя рынкі працы ў трансфармацыйнай эканоміцы Беларусі : аўтарэф. дыс. ... канд. экан. навук : 08.00.01 / А. С. Казлоў, Беларускі дзярж. ун-т. – Минск, 2006. – 21 с.
19. Пелевин, С. И. Технологизация общества как фактор социокультурной модернизации / С. И. Пелевин // *Logos et Praxis*. – 2019. – Т. 18, № 4. – С. 26–31. – DOI: 10.15688/lp.jvolsu.2019.4.3.
20. Тарасов, А. А. Технологизация как сущность глобализационных процессов в обществе : автореф. дис. ... канд. филос. наук : 09.00.11 / А. А. Тарасов ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. – Н. Новгород, 2010. – 36 с.
21. Фомина, М. В. Теория глобализации: история, концепции, школы / М. В. Фомина // *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. – 2016. – Т. 6, № 12А. – С. 26–36.
22. Якупова, В. Р. Влияние процессов глобализации на развитие экономики региона : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / В. Р. Якупова ; Казан. гос. технол. ун-т. – Казань, 2005. – 23 с.
23. Аверина, И. С. Эволюция феномена «промышленная революция»: предпосылки и факторы / И. С. Аверина // *Вест. Волгоград. гос. ун-та. Экономика*. – 2020. – Т. 22, № 4. – С. 18–25. – DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2020.4.2.
24. Маркс, К. Капитал: критика политической экономии : в 3 т. / К. Маркс ; предисл. Ф. Энгельса ; пер. И. И. Степанова-Скворцова, провер. и испр. – М. : Гос. изд-во полит. лит., 1951–1952. – Т. 1, Кн. 1 : Процесс производства капитала. – 794 с.
25. Кеннингем, В. Западная цивилизация с экономической точки зрения: средние века и новое время / В. Кеннингем ; пер. с англ. П. Канчаловского ; предисл. А. А. Мануилова. – М. : Тов-во типограф. А. И. Мамонтова, 1903. – XIV, 271 с.
26. Кулишер, И. М. История экономического быта Западной Европы : в 2 т. / И. М. Кулишер. – 9-е изд. – Челябинск, 2004. – Т. 2. : Новое и Новейшее время. – 579 с.
27. Levitt, T. The globalization of markets / T. Levitt // *Harvard Business Review*. – 1983. – Vol. 61, № 3. – P. 92–102.
28. Булдыгин, С. С. Концепция промышленной революции: от появления до наших дней / С. С. Булдыгин // *Вест. Томск. гос. ун-та*. – 2017. – № 420. – С. 91–95. – DOI: 10.17223/15617793/420/12.
29. Веселовский, С. Я. Глобализация и проблема неравенства доходов в современном мире : аналит. обзор / С. Я. Веселовский ; РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ. исслед. глобал. и регион. пробл. Отд. глобал. проблем. – М. : ИНИОН РАН, 2017. – 185 с. – (Сер.: Социал. и экон. аспекты глобализации).
30. Aghion, P. Growth and Unemployment [Electronic resource] / P. Aghion, P. Howitt // *The Review of Economic Studies*. – 1994. – Vol. 61, № 3. – P. 477–494. – Mode of access: <https://www.jstor.org/stable/2297900?origin=JSTOR-pdf>. – Date of access: 11.12.2024. – DOI: 10.2307/2297900.
31. Кауфман, Н. Ю. Генезис конфликтов развития рынка труда в условиях цифровой экономики [Электронный ресурс] / Н. Ю. Кауфман // *Вест. ун-та*. – 2019. – № 5. – С. 16–22. – Режим доступа: <https://vestnik.guu.ru/jour/article/view/1452/787>. – Дата доступа: 18.12.2024. – DOI: 10.26425/1816-4277-2019-5-16-22.
32. Кацук, О. А. Методология исследования занятости в условиях формирования постиндустриальной экономики : автореф. дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.01, 08.00.05 / О. А. Кацук ; Тамб. гос. ун-т им. Г. Р. Державина. – Тамбов, 2004. – 38 с.
33. Белл, Д. Грядущее постиндустриальное общество: опыт социального прогнозирования / Д. Белл ; пер. с англ. под ред. В. Л. Иноземцева. – М. : Academia, 2004. – 944 (CLXX, 788) с.

34. Об утверждении методики расчёта показателя «Прирост высокопроизводительных рабочих мест, в процентах к предыдущему году» [Электронный ресурс] : приказ Фед. службы гос. стат., 9 окт. 2017 г., № 665 // Инф.-прав. портал ГАРАНТ.РУ. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71683010/>. – Дата доступа: 17.12.2024.

35. Преснякова, Е. В. Идентификация высокопроизводительных рабочих мест: опыт Российской Федерации и Республики Беларусь / Е. В. Преснякова, Е. В. Потапцева // Экономика и управление : науч.-практ. журн. – 2022. – № 4(166). – С. 25–33. – DOI: 10.34773/EU.2022.4.5.

36. Вернер, В. Закону Мура 50 лет: завершение или изменение? / В. Вернер, Е. Кузнецов, А. Сауров // Наноиндустрия. – 2015. – № 6(60). – С. 50–63.

37. Шутаева, Е. А. Влияние глобализации на социально-экономическое неравенство регионов в условиях устойчивого развития / Е. А. Шутаева, В. В. Побирченко // Бизнес. Образование. Право. – 2016. – № 1(34). – С. 153–157.

38. Скотт, Д. Первые государства в истории человечества: агроэкология, письменность, зерно и городские стены / Д. Скотт // Крестьяноведение. – 2017. – Т. 2, № 2. – С. 6–32. – DOI: 10.22394/2500-1809-2017-2-2-6-32.

39. Мэддисон, Э. Контуры мировой экономики в 1–2030 гг.: очерки по макроэкономической истории / Э. Мэддисон ; пер. с англ. Ю. Каптуревского ; под ред. О. Филаточевой. – М. : Изд-во Ин-та Гайдара, 2015. – 584 с.

40. Головенчик, Г. Цифровая глобализация как новый этап в развитии глобального мира / Г. Головенчик // Банк. вест. – 2021. – № 2(691). – С. 57–68.

41. Кумехов, К. К. Глобализация в современной теории и парадигме экономики / К. К. Кумехов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – Т. 9, № 41(230). – С. 2–7.

42. Адинцова, Н. П. Учет и оценка внешнеэкономической деятельности регионов РФ / Н. П. Адинцова, Е. П. Журавлева // Вест. Сев.-Кавказ. фед. ун-та. – 2015. – № 6(51). – С. 19–23.

43. Запольский, М. И. Теоретико-методологические основы оценки внешней торговли сельскохозяйственной продукцией и продовольствием / М. И. Запольский, Е. П. Макуценя // Экономические вопросы развития сельского хозяйства Беларуси. – 2019. – № 47. – С. 119–127.

44. Слатов, Д. Г. Регулирование российского рынка труда в новых условиях санкционного воздействия / Д. Г. Слатов // Вест. Самар. ун-та. Экономика и управление. – 2022. – Т. 13, № 2. – С. 109–117. – DOI: 10.18287/2542-0461-2022-13-2-109-117.

REFERENCES

1. Analiz vliyaniya faktorov na uroven' zanyatosti naseleniya [Elektronnyj resurs] / F. N. Ahmetova [i dr.] // Internet-zhurnal «Naukovedenie». – 2016. – Т. 8, № 3(34). – Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/150EVN316.pdf>. – Data dostupa: 26.01.2025.

2. Bobova, M. S. Statisticheskij analiz faktorov, vliyayushchih na uroven' zanyatosti / M. S. Bobova, L. A. Bajkova // Cifrovye modeli i resheniya. – 2024. – Т. 3, № 1. – С. 31–38. – DOI: 10.29141/2949-477X-2024-3-1-3.

3. Kashepov, A. V. Rynok truda i zanyatost' v Rossii v 2020–2024 gg. / A. V. Kashepov // Social'no-trudovye issledovaniya. – 2024. – № 57(4). – С. 43–52. – DOI: 10.34022/2658-3712-2024-57-4-43-52.

4. Sarycheva, T. V. Metodologiya kompleksnogo statisticheskogo analiza zanyatosti v Rossijskoj Federacii po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti : dis. ... d-ra ekon. nauk : 08.00.12 / T. V. Sarycheva. – M., 2017. – 415 l.

5. Sorokina, N. Yu. Faktory, vliyayushchie na zanyatost' trudovyh resursov regiona // N. Yu. Sorokina, Yu. D. Nefedov // *Izv. TulGU. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki.* – 2008. – № 2. – S. 39–46.
6. Sychyova, N. Faktory i regional'nye osobennosti zanyatosti sel'skogo naseleniya Gomel'skoj oblasti / N. Sychyova // *Agrarnaya ekonomika.* – 2024. – № 8. – S. 82–96. – DOI: 10.29235/1818-9806-2024-8-82-96.
7. Vankevich, E. V. Rynok truda Respubliki Belarus': razvitie v usloviyah sovremennyh vyzovov / E. V. Vankevich, O. V. Zajceva // *Belorusskij ekonomicheskij zhurnal.* – 2024. – № 3(108). – S. 80–94. – DOI 10.46782/1818-4510-2024-3-80-94.
8. Veselovskij, S. Ya. Globalizaciya kak faktor strukturnyh izmenenij na nacional'nyh i regional'nyh rynkah truda (2000–2015) : analit. obzor / S. Ya. Veselovskij ; RAN. INION. Centr nauch.-inform. issled. global. i region. probl. Otd. global. problem ; otv. red. I. G. Zhivotovskaya. – M. : INION RAN, 2015. – 145 s.
9. Kastel's, M. Informacionnaya epoha: ekonomika, obshchestvo i kul'tura / M. Kastel's ; per. s angl. pod nauch. red. O. I. Shkaratana. – M. : GU VShE, 2000. – 608 s.
10. Lapshin, V. Yu. Deviaciya rynka truda Rossii v usloviyah formirovaniya postindustrial'noj sistemy ekonomiki : avtoref. dis. ... d-ra ekon. nauk : 08.00.01, 08.00.05 / V. Yu. Lapshin ; Tamb. gos. un-t im. G. R. Derzhavina. – Tambov, 2006. – 41 s.
11. Rodrik, D. Paradoks globalizacii: demokratiya i budushchee mirovoj ekonomiki / D. Rodrik ; per. s angl. N. Endel'mana; pod nauch. red. A. Smirnova. – M. : Izd-vo In-ta Gajdara, 2014. – 576 s.
12. Acemoglu, D. Introduction to Modern Economic Growth / D. Acemoglu. – Princeton : Princeton University Press, 2009. – 1008 p.
13. Felbermayr, G. Globalization and labor market outcomes: wage bargaining, search frictions, and firm heterogeneity [Electronic resource] / G. Felbermayr, J. Prat, H.-J. Schmerer. – Bonn : Institute for the Study of Labor, 2008. – 51 p. – (IZA Discussion Paper, № 3363). – Mode of access: <https://docs.iza.org/dp3363.pdf>. – Date of access: 26.12.2024.
14. Luttwak, E. N. Turbo-capitalism: winners and losers in the global economy / E. N. Luttwak. – New York : HarperPerennial, 2000. – 304 p.
15. Restrepo Mesa, P. Technology and labor markets [Electronic resource] : thesis Ph. D. / P. Restrepo Mesa. – Cambridge (USA), 2016. – 204 p. – Mode of access: <http://hdl.handle.net/1721.1/104488>. – Date of access: 13.12.2024.
16. Lambert, J. How Robots change the world: what automation really means for jobs and productivity [Electronic resource] / J. Lambert, E. Cone. – London : Oxford Economics, 2019. – 60 p. – Mode of access: <https://www.oxfordeconomics.com/wp-content/uploads/-2023/07/HowRobotsChangetheWorld.pdf>. – Date of access: 16.12.2024.
17. Berberov, A. B. Tekhnologicheskaya bezrabotica v usloviyah stanovleniya cifrovoj ekonomiki : dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.01 / A. B. Berberov. – M., 2021. – 206 l.
18. Kazlou, A. S. Regiyanal'nyya rynki pracy u transfarmacyjnaj ekanomicy Belarusi : avtoref. dys. ... kand. ekan. navuk : 08.00.01 / A. S. Kazlou, Belaruski dzyarzh. un-t . – Minsk, 2006. – 21 s.
19. Pelevin, S. I. Tekhnologizaciya obshchestva kak faktor sociokul'turnoj modernizacii / S. I. Pelevin // *Logos et Praxis.* – 2019. – T. 18, № 4. – S. 26–31. – DOI: 10.15688/lp.jvolsu.2019.4.3.
20. Tarasov, A. A. Tekhnologizaciya kak sushchnost' globalizacionnyh processov v obshchestve : avtoref. dis. ... kand. filos. nauk : 09.00.11 / A. A. Tarasov ; Nizhegor. gos. un-t im. N. I. Lobachevskogo. – N. Novgorod, 2010. – 36 s.
21. Fomina, M. V. Teoriya globalizacii: istoriya, koncepcii, shkoly / M. V. Fomina // *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra.* – 2016. – T. 6, № 12A. – S. 26–36.

22. Yakupova, V. R. Vliyanie processov globalizacii na razvitie ekonomiki regiona : avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.05 / V. R. Yakupova ; Kazan. gos. tekhnol. un-t. – Kazan', 2005. – 23 s.
23. Averina, I. S. Evolyuciya fenomena «promyshlennaya revolyuciya»: predposylki i faktory / I. S. Averina // Vest. Volgograd. gos. un-ta. Ekonomika. – 2020. – T. 22, № 4. – S. 18–25. – DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2020.4.2.
24. Marks, K. Kapital: kritika politicheskoy ekonomii : v 3 t. / K. Marks ; predisl. F. Engel'sa ; per. I. I. Stepanova-Skvorcova, prover. i ispr. – M. : Gos. izd-vo polit. lit., 1951–1952. – T. 1, Kn. 1 : Process proizvodstva kapitala. – 794 s.
25. Kenningem, V. Zapadnaya civilizaciya s ekonomicheskoy tochki zrbniya: sred-nie veka i novoe vremya / V. Kenningem ; per. s angl. P. Kanchalovskogo ; predisl. A. A. Manuilova. – M. : Tov-vo tipograf. A. I. Mamontova, 1903. – XIV, 271 s.
26. Kulisher, I. M. Istoriya ekonomicheskogo byta Zapadnoj Evropy : v 2 t. / I. M. Kulisher. – 9-e izd. – Chelyabinsk, 2004. – T. 2. : Novoe i Novejshee vremya. – 579 s.
27. Levitt, T. The globalization of markets / T. Levitt // Harvard Business Review. – 1983. – Vol. 61, № 3. – P. 92–102.
28. Buldygin, S. S. Konceptiya promyshlennoj revolyucii: ot poyavleniya do nashih dnei / S. S. Buldygin // Vest. Tomsk. gos. un-ta. – 2017. – № 420. – S. 91–95. – DOI: 10.17223/15617793/420/12.
29. Veselovskij, S. Ya. Globalizaciya i problema neravenstva dohodov v sovremennom mire : analit. obzor / S. Ya. Veselovskij ; RAN. INION. Centr nauch.-inform. issled. global. i region. probl. Otd. global. problem. – M. : INION RAN, 2017. – 185 s. – (Ser.: Social. i ekonom. aspekty globalizacii).
30. Aghion, P. Growth and Unemployment [Electronic resource] / P. Aghion, P. Howitt // The Review of Economic Studies. – 1994. – Vol. 61, № 3. – P. 477–494. – Mode of access: <https://www.jstor.org/stable/2297900?origin=JSTOR-pdf>. – Date of access: 11.12.2024. – DOI:10.2307/2297900.
31. Kaufman, N. Yu. Genezis konfliktov razvitiya rynka truda v usloviyah cifrovoy ekonomiki [Elektronnyj resurs] / N. Yu. Kaufman // Vest. un-ta. – 2019. – № 5. – S. 16–22. – Rezhim dostupa: <https://vestnik.guu.ru/jour/article/view/1452/787>. – Data dostupa: 18.12.2024. – DOI: 10.26425/1816-4277-2019-5-16-22.
32. Kacuk, O. A. Metodologiya issledovaniya zanyatosti v usloviyah formirovaniya postindustrial'noj ekonomiki : avtoref. dis. ... d-ra ekon. nauk : 08.00.01, 08.00.05 / O. A. Kacuk ; Tamb. gos. un-t im. G. R. Derzhavina. – Tambov, 2004. – 38 s.
33. Bell, D. Gryadushchee postindustrial'noe obshchestvo: opyt social'nogo prognozirovaniya / D. Bell ; per. s angl. pod red. V. L. Inozemceva. – M. : Academia, 2004. – 944 (CLXX, 788) s.
34. Ob utverzhdenii metodiki raschyota pokazatelya «Prirost vysokoproizvoditel'nyh rabochih mest, v procentah k predydushchemu godu» [Elektronnyj resurs] : pri-kaz Fed. sluzhby gos. stat., 9 okt. 2017 g., № 665 // Inf.-prav. portal GARANT.RU. – Rezhim dostupa: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71683010/>. – Data dostupa: 17.12.2024.
35. Presnyakova, E. V. Identifikaciya vysokoproizvoditel'nyh rabochih mest: opyt Rossijskoj Federacii i Respubliki Belarus' / E. V. Presnyakova, E. V. Potapceva // Ekonomika i upravlenie : nauch.-prakt. zhurn. – 2022. – № 4(166). – S. 25–33. – DOI 10.34773/EU.2022.4.5.
36. Verner, V. Zakonu Mura 50 let: zavershenie ili izmenenie? / V. Verner, E. Kuznecov, A. Saurov // Nanoindustriya. – 2015. – № 6(60). – S. 50–63.
37. Shutaeva, E. A. Vliyanie globalizacii na social'no-ekonomicheskoe neravenstvo regionov v usloviyah ustojchivogo razvitiya / E. A. Shutaeva, V. V. Pobirchenko // Biznes. Obrazovanie. Pravo. – 2016. – № 1(34). – S. 153–157.

38. Skott, D. Pervye gosudarstva v istorii chelovechestva: agroekologiya, pis'mennost', zerno i gorodskie steny / D. Skott // Krest'yanovedenie. – 2017. – T. 2, № 2. – S. 6–32. – DOI: 10.22394/2500-1809-2017-2-2-6-32.
39. Meddison, E. Kontury mirovoj ekonomiki v 1–2030 gg.: ocherki po makroekonomicheskoj istorii / E. Meddison ; per. s angl. Yu. Kapturevskogo ; pod red. O. Filatochevoj. – M. : Izd-vo In-ta Gajdara, 2015. – 584 s.
40. Golovenchik, G. Cifrovaya globalizaciya kak novyj etap v razvitii global'nogo mira / G. Golovenchik // Bank. vest. – 2021. – № 2(691). – S. 57–68.
41. Kumekhov, K. K. Globalizaciya v sovremennoj teorii i paradigme ekonomiki / K. K. Kumekhov // Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'. – 2013. – T. 9, № 41(230). – S. 2–7.
42. Adincova, N. P. Uchet i ocenka vneshneekonomicheskoy deyatel'nosti regionov RF / N. P. Adincova, E. P. Zhuravleva // Vest. Sev.-Kavkaz. fed. un-ta. – 2015. – № 6(51). – S. 19–23.
43. Zapol'skij, M. I. Teoretiko-metodologicheskie osnovy ocenki vneshnej trgovli sel'sko-hozyajstvennoj produkciej i prodovol'stviam / M. I. Zapol'skij, E. P. Makucenya // Ekonomicheskie voprosy razvitiya sel'skogo hozyajstva Belarusi. – 2019. – № 47. – S. 119–127.
44. Slatov, D. G. Regulirovanie rossijskogo rynka truda v novyh usloviyah sankcionnogo vozdejstviya / D. G. Slatov // Vest. Samar. un-ta. Ekonomika i upravlenie. – 2022. – T. 13, № 2. – S. 109–117. – DOI: 10.18287/2542-0461-2022-13-2-109-117.

Руканіс паступіў у рэдакцыю 11.03.2025

Да ведама аўтараў

Рэдкалегія часопіса разглядае рукапісы толькі тых артыкулаў, якія адпавядаюць навуковаму профілю выдання, нідзе не апублікаваныя і не перададзеныя ў іншыя рэдакцыі.

Матэрыялы прадстаўляюцца на беларускай, рускай ці англійскай мове ў адным экзэмпляры аб'ёмам да 0,5 друкаванага аркуша (да 20 000 знакаў (без уліку метададзеных)), у электронным варыянце – у фармаце Microsoft Word for Windows (*.doc, *.docx ці *.rtf) і павінны быць аформлены ў адпаведнасці з наступнымі патрабаваннямі:

- папера фармату А4 (21×29,7 см);
- палі: зверху – 2,8 см, справа, знізу, злева – 2,5 см;
- шрыфт – гарнітура Times New Roman;
- кегль – 12 pt.;
- міжрадкавы інтэрвал – адзінарыны;
- двукоссе парнае «...»;
- абзац: водступ першага радка 1,25 см;
- выраўноўванне тэксту па шырыні.

Максімальныя лінейныя памеры табліц і малюнкаў не павінны перавышаць 15×23 або 23×15 см. Усе графічныя аб'екты, якія ўваходзяць у склад аднаго малюнка, павінны быць згрупаваны паміж сабой. Усе малюнкi і фотаздымкі павінны быць толькі ў чорна-белым выкананні. Размернасць усіх велічынь, якія выкарыстоўваюцца ў тэксце, павінна адпавядаць Міжнароднай сістэме адзінак вымярэння (СВ). Пажадана пазбягаць скарачэнняў слоў, акрамя агульнапрынятых. Спіс літаратуры павінен быць аформлены паводле Узораў афармлення бібліяграфічнага апісання ў спісе крыніц, якія прыводзяцца ў дысертацыі і аўтарэфераце, зацверджаных загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 25.06.2014 № 159 (у рэдакцыі загада ад 01.10.2024 № 230). Спасылкі на крыніцы ў артыкуле нумаруюцца адпаведна парадку цытавання. Парадкавыя нумары спасылак падаюцца ў квадратных дужках ([1–4], [1; 3], [1, с. 32], [2, с. 52–54], [3, л. 5], [4, л. 60б.]). Не дапускаецца выкарыстанне канцавых зносаў.

Матэрыял уключае наступныя элементы па парадку:

- індэкс УДК;
- імя, імя па бацьку, прозвішча аўтара/аўтараў (аўтараў не больш за 5) на мове артыкула;
- звесткі пра аўтара/аўтараў (навуковая ступень, званне, пасада, месца працы/вучобы) на мове артыкула;
- імя, імя па бацьку, прозвішча аўтара/аўтараў на англійскай мове;
- звесткі пра аўтара/аўтараў на англійскай мове;
- e-mail аўтара/аўтараў;
- назва артыкула на мове артыкула;
- анатацыя ў аб'ёме 100–150 слоў і ключавыя словы на мове артыкула (курсіў, кегль – 10 pt.);
- назва артыкула на англійскай мове;
- анатацыя і ключавыя словы на англійскай мове.

Звесткі аб навуковым кіраўніку (для аспірантаў і саіскальнікаў) указваюцца на першай старонцы ўнізе.

Асноўны тэкст структуравецца ў адпаведнасці з патрабаваннямі Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь да навуковых артыкулаў, якія друкуюцца ў выданнях, уключаных у Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў:

- Уводзіны (пастаноўка мэты і задач даследавання).
- Асноўная частка (матэрыялы і метады даследавання; вынікі і іх абмеркаванне).
- Заклучэнне (фармулююцца асноўныя вынікі даследавання, указваецца іх навізна, магчымасці выкарыстання).
- Спіс выкарыстанай літаратуры; спіс літаратуры павінен уключаць не больш за 20–22 крыніцы і абавязкова ўтрымліваць публікацыі, у тым ліку замежныя, па тэме даследавання за апошнія 10 гадоў.

➤ References – спіс выкарыстанай літаратуры, які прадубліраваны лацінскім алфавітам (колькасць крыніц, прыведзеных у спісе і ў References, павінна супадаць).

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- выліска з пратакола пасяджэння кафедры, навуковай лабараторыі ці ўстановы адукацыі, дзе працуе (вучыцца) аўтар, завераная пячаткаю, з рэкамендацыяй артыкула да друку;
- рэцэнзія знешняга ў адносінах да аўтара профільнага спецыяліста з вучонай ступенню, завераная пячаткаю;
- экспертнае заключэнне (для аспірантаў і дактарантаў);
- вынікі праверкі тэксту на прадмет арыгінальнасці пры дапамозе інструмента «Антыплагіят».

Усе артыкулы абавязкова праходзяць «сляпое» рэцэнзаваанне. Рукапісы, аформленыя не ў адпаведнасці з выкладзенымі правіламі, рэдкалегія не разглядае і не вяртае. Аўтары нясуць адказнасць за змест прадстаўленага матэрыялу.

Рукапіс артыкула і дакументы дасылаць на адрас: 224016, г. Брэст, бульвар Касманаўтаў, 21, рэдакцыя часопіса «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта», электронны варыянт артыкула накіроўваць на e-mail: vesnik@brsu.by.

Карэктары А. А. Іванюк, Л. М. Калілец

Камп'ютарнае макетаванне А. В. Кізун

Падпісана ў друк 12.07.2025. Фармат 60×84/8. Папера афсетная. Гарнітура Таймс. Рызаграфія.

Ум. друк. арк. 21,86. Ул.-выд. арк. 16,04. Тыраж 50 экз. Заказ № 272.

Выдавец і паліграфічнае выкананне: УА «Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А. С. Пушкіна».

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/55 ад 14.10.2013.

ЛП № 02330/454 ад 30.12.2013.

224016, г. Брэст, вул. Міцкевіча, 28.