



ВЕСНИК

БРЭСЦКАГА УНІВЕРСІТЭТА

Рэдакцыйная калегія

галоўны рэдактар

Ю. П. Голубеў

намеснік галоўнага рэдактара

М. А. Багдасараў

адказны рэдактар

Н. С. Ступень

І. В. Абрамава (Беларусь)
К. А. Анціпава (Беларусь)
А. М. Вігчанка (Беларусь)
А. А. Волчак (Беларусь)
А. І. Градунова (Беларусь)
В. В. Грычык (Беларусь)
С. В. Емяльянчык (Беларусь)
Д. Д. Жарнасекаў (Беларусь)
В. Ф. Кулеш (Беларусь)
Г. І. Літвінюк (Беларусь)
В. У. Марцірасян (Расія)
А. А. Махнач (Беларусь)
Д. П. Плакс (Беларусь)
У. У. Салтанаў (Беларусь)
А. А. Сідаровіч (Беларусь)
А. М. Тарасюк (Беларусь)
Б. П. Уласаў (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.

Серия 5

БІЯЛОГІЯ

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

НАВУКОВА-ТЭАРЭТЫЧНЫ ЧАСОПІС

Выходзіць два разы на год

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

№ 2 / 2025

У адпаведнасці з Дадаткам да загада
Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь
ад 24.02.2025 № 45 (са змяненнямі, унесенымі загадамі
ад 27.02.2025 № 48, ад 06.05.2025 № 107,
ад 28.05.2025 № 118, ад 27.06.2025 № 140, ад 30.09.2025 № 189,
ад 17.10.2025 № 207, ад 04.11.2025 № 228)
часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта.

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

ЗМЕСТ

БІЯЛОГІЯ

Бульская, И. В. Эффективность внекорневой обработки 24-эпикастероном и 2-моносалицилатом 24-эпикастерона колеуса блюме при выращивании из семян	5
Василевская А. В., Колбас Н. Ю. Биохимические показатели спелости и антиоксидантная активность плодов <i>Vitis L.</i> , культивируемых в г. Бресте.....	12
Деменкова Я. К., Кабаева А. С., Маркевич А. С., Пуриков А. Г. Оценка плотности популяции и годового прироста лишайника <i>Xanthoria Parietina</i> на территории г. Гомеля	21
Демянчик В. Т., Демянчик В. В. О выводковых колониях нетопыря лесного <i>Pipistrellus Nathusii</i> и нетопыря малого <i>Pipistrellus Pygmaeus</i> на фоне экстремальной весенней засухи.....	28
Домась А. С., Шкуратова Н. В., Чипурных Е. В. О взаимосвязи между показателями гумуса и целлюлозолитической способностью некоторых почв урбанизированных территорий.....	38
Кароза С. Э., Швайко А. В. Влияние конъюгатов 24-эпикастерона с органическими кислотами на морфометрические и биохимические показатели гречихи посевной (<i>Fagopyrum Esculentum</i> Moench.) сорта Влада	48
Копылева Д. В., Потапович М. И., Прокулевич В. А. Слияние с фьюжн-партнером как стратегия получения растворимой формы рекомбинантного человеческого интерлейкина-4 в клетках бактерий <i>ESCHERICHIA COLI</i>	62
Лукьянчик И. Д., Щеперко С. И., Сурмач Д. Д. Эпидемиология женского бесплодия и заболеваемости репродуктивной системы девочек-подростков в Брестской области на примере пациентов Брестского областного родильного дома	71
Устин В. В. К вопросу о формировании понятия и категории «заказник» в системе особо охраняемых природных территорий Беларуси в контексте развития национального заповедного дела	81
Чезлова О. Е., Лицкевич А. Н. Обеззараживание осадков сточных вод с помощью негашеной и гашеной извести.....	94

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 2. Стратегический SWOT-анализ развития Брестской области).....	101
Зерницкая В. П., Власов Б. П., Кухарик Е. А., Суховило Н. Ю., Кухарик А. М. О современном состоянии исследований газового состава вод и донных отложений озер.....	110
Колбас А. П., Колбас Н. Ю., Михальчук Н. В., Нестерук В. С. Оценка аэрального загрязнения потенциально токсичными элементами импактных зон методом моховых ловушек.....	125
Маевская А. Н., Богдасаров М. А., Шешко Н. Н., Петров Д. О. Опыт создания цифровой модели строения кайнозойских отложений территории Гродненской области как основы для прогноза минерально-сырьевой базы строительных полезных ископаемых	136
Сидорович А. А. Теоретико-методологические основы географических исследований занятости населения	145
Соколов А. С. Динамика численности и лингвистической структуры населения народов России в Беларуси	155
Плакс Д. П. Зональное расчленение и корреляция девонских отложений Беларуси по ихтиофауне.....	163



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)
K. I. Antsipava (Belarus)
A. M. Vitchanka (Belarus)
A. A. Volchak (Belarus)
A. I. Hradunova (Belarus)
V. V. Hrychyk (Belarus)
S. V. Yemialianchyk (Belarus)
D. D. Zharnasiekau (Belarus)
V. F. Kulesh (Belarus)
H. I. Litvinyuk (Belarus)
V. U. Martsirasyan (Russia)
A. A. Makhnach (Belarus)
D. P. Plax (Belarus)
U. U. Saltanau (Belarus)
A. A. Sidarovich (Belarus)
A. M. Tarasiuk (Belarus)
B. P. Ulasau (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»**

№ 2 / 2025

According to the Supplement to the order of Supreme Certification
Commission of the Republic of Belarus from February 24, 2025 nr 45
(with the amendments made by the orders of Supreme Certification
Commission from February 27, 2025 nr 48, from May 06, 2025 nr 107,
from May 28, 2025 nr 118, from June 27, 2025 nr 140,
from September 30, 2025 № 189, from October 17, 2025 nr 207,
from 04 November, 2025 nr 228)

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» (license 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

Inna Bulskaya. Efficiency of Foliar Treatment with 24-Epicastasterone and 2-Monosalicylate of 24-Epicastasterone of <i>Coleus Blumei</i> When Growing from Seeds	5
Aliona Vasileuskaya, Natallia Kolbas. Biochemical Parameters of Ripeness and Antioxidant Activity of <i>Vitis L.</i> Fruits Cultivated in Brest.....	12
Yana Demenkova, Anhelina Kabayeva, Anhelina Markevich, Andrei Tsurykau. Assessment of Population Density and Annual Growth of the Lichen <i>XANTHORIA PARIETINA</i> in the City of Gomel	21
Viktar T. Dziamianchyk, Viktar V. Dziamianchyk. About the Breeding Colonies of the <i>Pipistrellus Nathusii</i> and <i>Pipistrellus Pygmaeus</i> in Case of an Extreme Spring Drought	28
Andrei Domas, Natalia Shkuratova, Egor Chipurnykh. On The Relationship between Humus Indices and Cellulolytic Capacity of Some Soils of Urbanized Territories	38
Sergey Karoza, Anastasia Shvaiko. The Effect of Conjugates with Organic Acids 24-epicastasterone on Morphometric and Biochemical Indicators in Buckwheat (<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench.) of Vlada variety	48
Darya Kopyleva, Maksim Patapovich, Uladzimir Prakulevich. Fusion Partner Linkage as a Strategy for Obtaining a Soluble Form of Recombinant Human Interleukin-4 in <i>ESCHERICHIA COLI</i> Cells	62
Irina Lukyanchik, Svetlana Shcheperko, Darya Surmach. Epidemiology of Female Infertility and Reproductive System Morbidity in Adolescent Girls in the Brest Region on the Example of Patients Brest Regional Maternity Hospital	71
Uladzimir Utsin. On the Shaping of the «Zakaznik» Concept and Category in Belarus' Specially Protected Natural Areas in the Context of National Reserve Management Development	81
Olga Chezlova, Anatoly Litskevich. Disinfection of Sewage Sludge with Quicklime and Slapped Lime	94

SCIENCES ABOUT EARTH

Maksim Bahdasarau, Yuliya Bahdasarava, Sergey Zarutskiy, Petr Rezkin. Potential, Competitive Advantages and Problems of Socio-Economic Development of Brest Region (Part 2. Strategic SWOT-analysis of Brest Region Development)	101
Valentina Zernitskaya, Boris Vlasov, Evgeniy Kukharik, Nina Sukhovilo, Anna Kukharik. The Current State of the Gas Composition Research of Lake Water and Bottom Sediments.....	110
Aliaksandr Kolbas, Natallia Kolbas, Mikalai Mikhalchuk, Valentin Nesteruk. Assessment of Aerial Pollution in Impact Zones by Potentially Toxic Elements Using the Moss Bags Method	125
Anna Maevskaya, Maksim Bahdasarau, Nikolay Sheshko, Dmitry Petrov. Experience in Developing a Digital Model of the Cenozoic Deposits Structure in the Grodno Region as a Basis for Forecasting the Mineral Resource Base of Construction Materials	136
Alexandr Sidorovich. Theoretical and Methodological Foundations of Geographical Studies of Employment	145
Aleksandr Sokolov. Dynamics of the Number and Linguistic Structure of Population of the Peoples of Russia in Belarus	155
Dmitry Plax. Zonal Division and Correlation of the Devonian Deposits of Belarus on Ichthyofauna	163

Инна Валерьевна Бульская

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

Inna Bulskaya

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: inabulskaya@gmail.com

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕКОРНЕВОЙ ОБРАБОТКИ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНОМ И 2-МОНОСАЛИЦИЛАТОМ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА КОЛЕУСА БЛЮМЕ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ИЗ СЕМЯН*

Представлены результаты исследования влияния двух выбранных брассиностероидов: 24-эпикастастерона и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастастерона – на рост и развитие растений колеуса, выращенных из семян, методом внекорневой обработки. Исследование проведено на двух сортах колеуса Блюме – Вечерняя Заря и Мозаика. Показаны сортоспецифические отличия реакции морфометрических и физиолого-биохимических параметров.

Ключевые слова: брассиностероиды, колеус, регуляторы роста.

Efficiency of Foliar Treatment with 24-Epicastasterone and 2-Monosalicylate of 24-Epicastasterone of Coleus Blumei When Growing from Seeds

The article presents the results of the study of the effect of two selected brassinosteroids: 24-epicastasterone and its conjugate – 2-monosalicylate 24-epicastasterone on the growth and development of coleus plants grown from seeds using foliar treatment. The study was conducted on two varieties of coleus Blume – Vechernyaya Zarya and Mosaica. Variety-specific differences in the reaction of morphometric and physiological-biochemical parameters are shown.

Key words: brassinosteroids, coleus, growth regulators.

Введение

В современном сельском хозяйстве и декоративном растениеводстве поиск и внедрение экологически безопасных стимуляторов роста растений является одним из приоритетных направлений. Это обусловлено необходимостью снижения химической нагрузки на агроэкосистемы и повышения качества продукции. Брассиностероиды – природные растительные гормоны стероидной природы – зарекомендовали себя как перспективные биорегуляторы, способные положительно влиять на широкий спектр физиологических процессов, включающих рост, развитие, устойчивость к стрессовым факторам окружающей среды и продуктивность. В научной литературе за последние годы накоплено немало исследований, подтверждающих эффективность брассиностероидов в разных условиях и на разных культурах, например, стимулирующее влияние отдельных брассиностероидов на рост и развитие подсолнечника [1], злаковые травы [2; 3]. Показано, что внекорневая обработка фитогормонами (наравне обработкой) способствует росту растений, в частности проростков кукурузы и сои [4]. Разработка препаратов на основе брассиностероидов представляется весьма эффективной еще и потому,

**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 (Био-оргхимия)» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» на 2021–2025 гг.*

что экологически безопасные препараты с комплексным воздействием приобретают все большую популярность [5].

В контексте декоративного растениеводства, где важны не только скорость роста, но и эстетические качества растений, изучение влияния брассиностероидов приобретает особое значение. Колеус Блюме (*Plectranthus scutellarioides*) является популярным объектом для селекции и выращивания благодаря своей декоративности и разнообразию сортов [6], относится к роду Колеус (*Coleus*) – роду травянистых многолетних растений из семейства яснотковых (*Lamiaceae*). Большинство видов этого семейства характеризуются быстрым прорастанием, однако всхожесть семян растений семейства *Lamiaceae* может значительно варьировать [7], что делает актуальным поиск методов стимуляции раннего развития. В качестве тест-объектов выбраны сорт Вечерняя заря и сорт Мозаика колеуса Блюме, который является исходной формой для большинства современных сортов.

Статья посвящена исследованию влияния двух брассиностероидов: 24-эпикастерона и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастерона – на рост и развитие колеуса Блюме при выращивании из семян методом внекорневой обработки. Представленные результаты позволят оценить эффективность применения этих веществ в качестве экологических стимуляторов роста и могут служить основанием для разработки рекомендаций по их использованию.

Материалы и методы исследования

Гормоны, использованные для проведения эксперимента, получены в Институте биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси. В ходе исследования был проведен эксперимент по оценке действия 24-эпикастерона (ЭК) и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастерона (S23) на растения колеуса Блюме сортов Вечерняя заря и Мозаика в вегетационном лабораторном опыте (в почвогрунте) методом внекорневой обработки.

Для оценки влияния ЭК и S23 на физиолого-биохимические параметры колеуса были использованы следующие варианты опыта:

- 1) контроль (дистиллированная вода);
- 2) для сорта Мозаика – ЭК 10^{-10} М, S23 10^{-9} М;
- 3) для сорта Вечерняя заря – ЭК 10^{-10} М, S23 10^{-11} М.

Оптимальные концентрации гормонов, использованные в данном исследовании для обработки растений, были установлены на предыдущем этапе исследования [8].

Семена (по 30 шт.) были высажены в горшки объемом 0,5 л, расставлены в случайном порядке, поливались отстоянной водопроводной водой (50 % полевой влажности почвы) и перемещались согласно разработанной схеме для создания одинаковых условий. Растения обрабатывали растворами гормонов на стадии второго настоящего листа и повторно через 7 дней [1; 2; 4], после чего собирали спустя три дня [4] после последней обработки. Контрольные образцы растений обрабатывали дистиллированной водой.

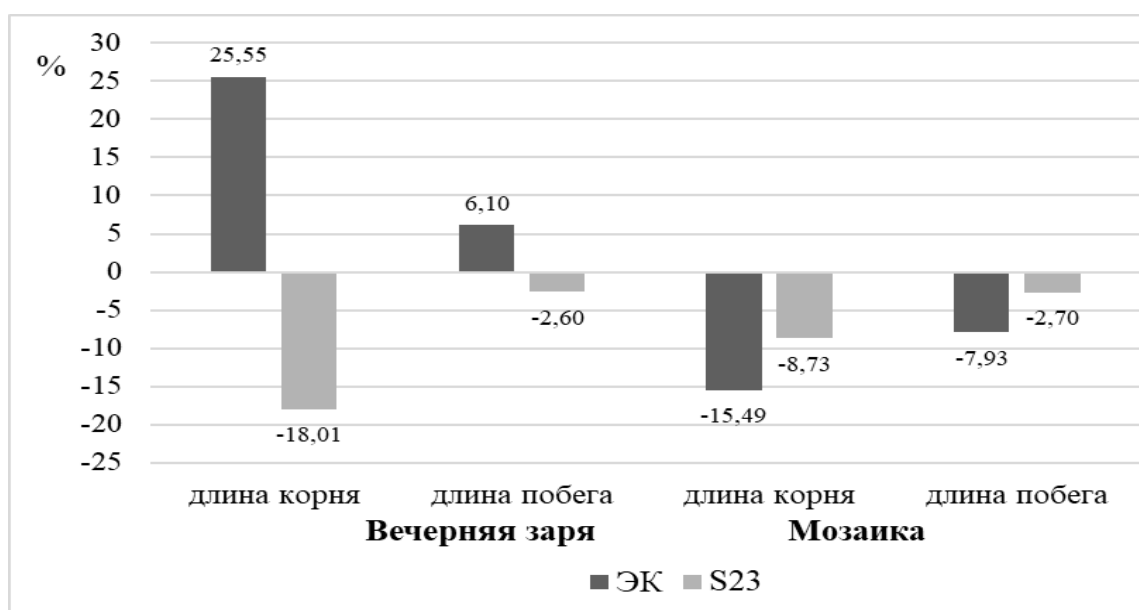
Для оценки влияния гормонов на растения колеуса определяли сырую массу, длину побега и корня и биохимические показатели растений: содержание фотосинтетических пигментов и активность каталазы. Определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов) проводилось по общепринятой методике [9], спектрофотометрически (спектрофотометр Proscan MC 122, «Проскан специальные инструменты», Республика Беларусь) в кварцевой кювете при длине пути светового монохромного луча в 1 см и длинах волн 663, 646 и 470 нм.

Извлечение каталазы из растительных тканей и анализ активности фермента проводили согласно методике [10]. Интенсивность окраски реакционной смеси опреде-

ляли на спектрофотометре Proscan MC 122 при длине волны 410 нм и длине оптического пути 1 см. Статистический анализ был проведен с использованием программы Excel Microsoft Office.

Результаты и обсуждение

После обработки ЭК длина корня увеличилась по сравнению с контролем только в опыте с сортом Вечерняя заря увеличение составило 25,6 % (рисунок 1). Длина побега также показала небольшое увеличение (6 %) при обработке ЭК растений сорта Вечерняя заря. При обработке S23 длина побега растений сорта Вечерняя заря была меньше, чем в контроле. При обработке растений сорта Мозаика обоими исследованными гормонами длина побега была меньше, чем в контроле. Таким образом, S23 оказал угнетающий эффект на длину вегетативных органов растений колеуса во всех вариантах опыта, а ЭК показал ростстимулирующий эффект только при обработке сорта Вечерняя заря.



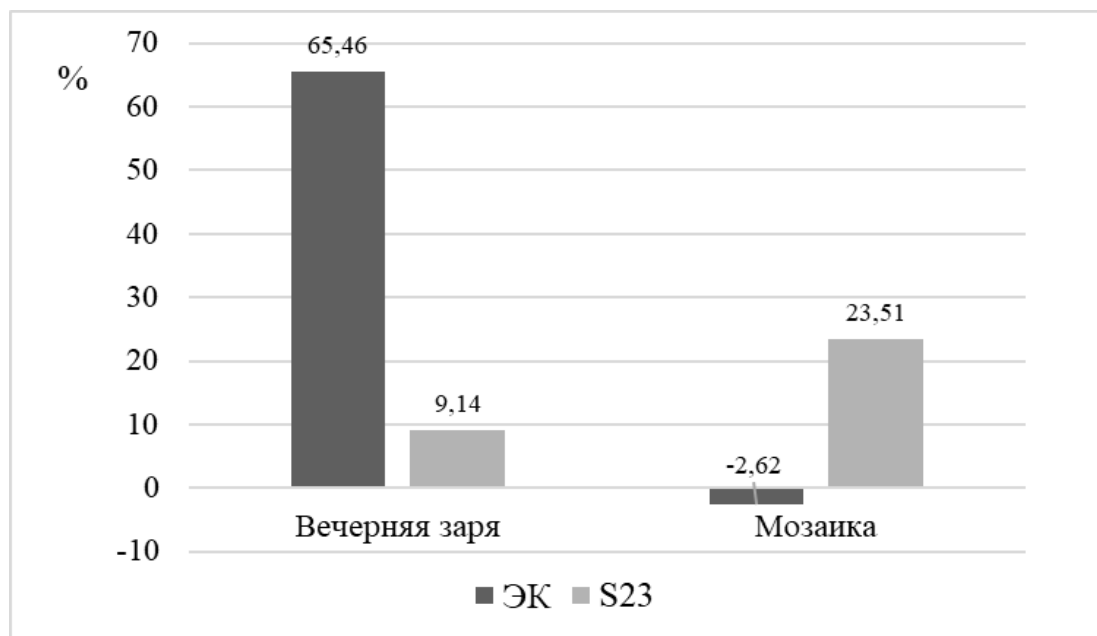
Сорт Вечерняя заря: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-11} М; сорт Мозаика: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-9} М

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастастерона на длину корней и побегов колеуса Блюме, % к контролю

Средняя масса побегов колеуса при обработке растений ЭК показала значительный прирост (65,5 %) для сорта Вечерняя заря (рисунок 2), однако масса побегов между отдельными образцами, обработанными ЭК, сильно варьировала: от 0,06 до 0,29 г. Обработка ЭК не оказала практического эффекта на растения сорта Мозаика. При обработке S23 масса побегов увеличилась по сравнению с контролем для обоих сортов (на 9,1 % для сорта Вечерняя заря и на 23,5 % для сорта Мозаика). Прирост массы при отсутствии прироста длины побега можно объяснить увеличением размера листовой пластины, что важно для культивирования растений, у которых листья обладают декоративными свойствами.

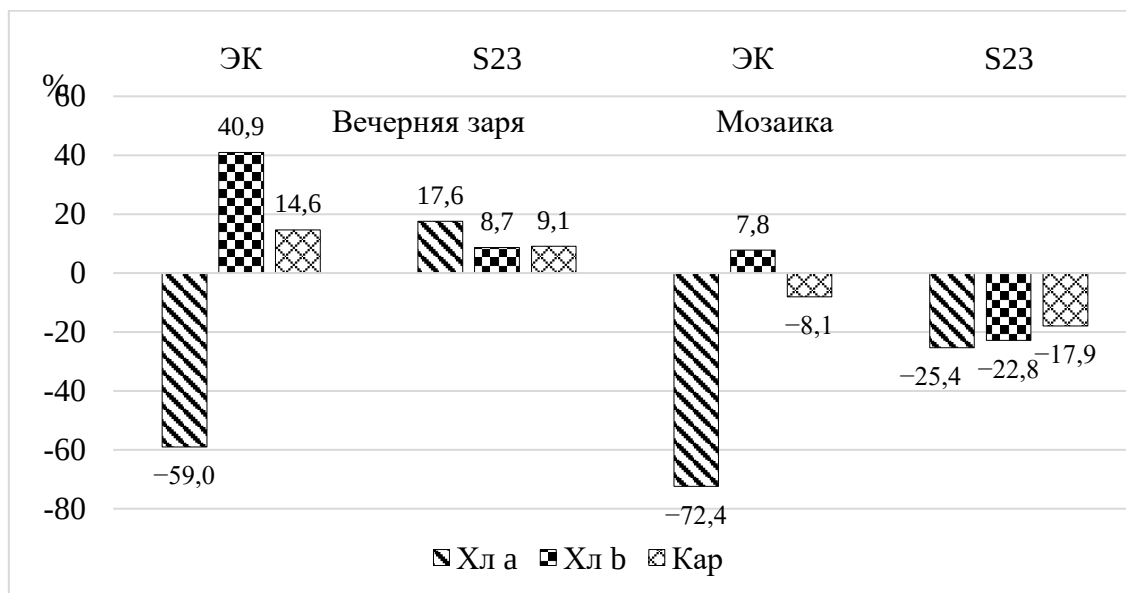
При обработке ЭК содержание хлорофилла *a* существенно снизилось у растений обоих исследованных сортов (рисунок 3). Содержание хлорофилла *b* после обработки ЭК повысилось: у сорта Вечерняя заря более существенно (на 41 %) по сравнению с сортом Мозаика (на 8 %). На каротиноиды обработка ЭК оказала противоположное влияние для растений разных сортов: для сорта Вечерняя заря наблюдается повышение содержания каротиноидов на 15 %, для сорта Мозаика – снижение их содержания на 8 %.

Влияние внекорневой обработки S23 на содержание пигментов в условиях опыта было сортоспецифичным. Так, для сорта Вечерняя заря отмечено небольшое повышение содержания хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов (на 18, 9 и 9 % соответственно) (рисунок 1). Для сорта Мозаика зафиксировано понижение всех перечисленных показателей (на 25, 23 и 18 % соответственно).



Сорт Вечерняя заря: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-11} М; сорт Мозаика: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-9} М

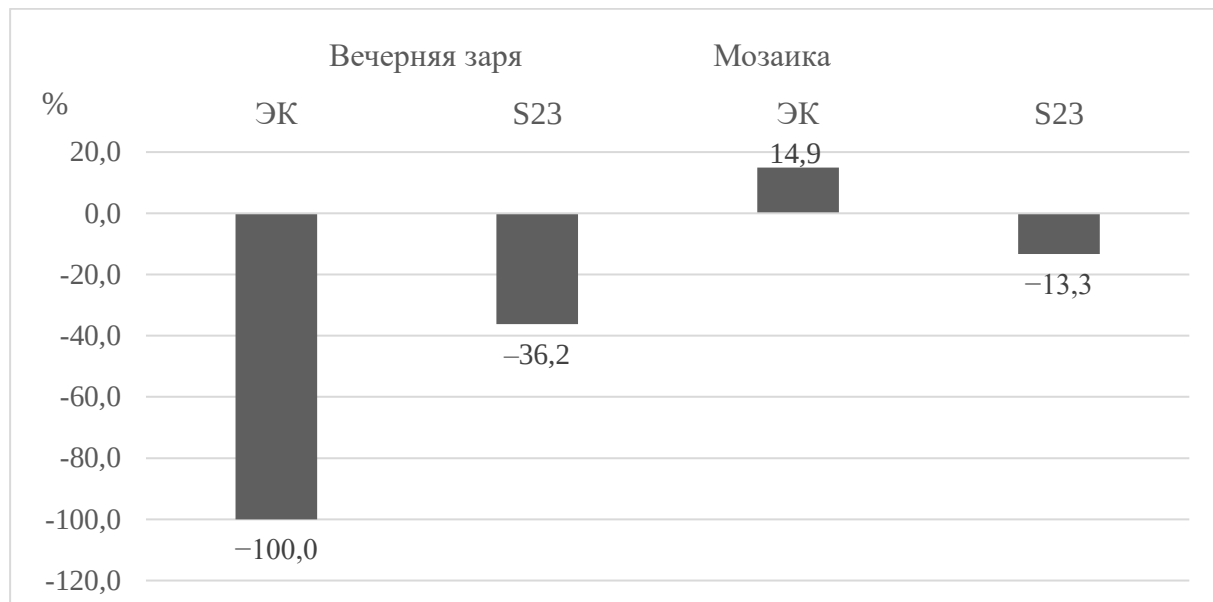
Рисунок 2 – Влияние 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на массу побега колеуса Блюме, % к контролю



Сорт Вечерняя заря: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-11} М; сорт Мозаика: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-9} М

Рисунок 3 – Действие эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на содержание пигментов в листьях колеуса, % к контролю

Активность каталазы в условиях вегетационного опыта для сорта Вечерняя заря была существенно ниже контроля (на 100 % при обработке ЭК и на 36 % при обработке S23). Для сорта Мозаика обработка ЭК привела к повышению активности каталазы на 15 %, а обработка S23 – к снижению на 13 % (рисунок 4).



Сорт Вечерняя заря: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-11} М; сорт Мозаика: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-9} М

Рисунок 4 – Действие эпикастерона и 2-моносалицилат 24-эпикастерона на активность каталазы в листьях колеуса, % к контролю

В литературе имеются данные о повышении содержания фотосинтетических пигментов при внекорневой обработке брассиностероидами [11; 12], однако сроки и режим обработки разнятся, поэтому очевидно, что вопрос требует более глубокого исследования. Существенное снижение содержания хлорофилла *a* и рост содержания хлорофилла *b* может свидетельствовать о нарушении нормальной работы фотосинтетического аппарата [13]. Снижение содержания каротиноидов при одновременном снижении активности каталазы может быть свидетельством как уменьшения содержания активных форм кислорода в клетке, так и нарушения нормальной работы ее защитного аппарата и не может быть однозначно интерпретировано без более детальных биохимических исследований.

Заключение

По результатам проведенного исследований можно заключить, что ответы растений колеуса на внекорневую обработку 24-эпикастероном и 2-моносалицилатом 24-эпикастерона сортоспецифичны. Сорт Вечерняя заря характеризуется большей отзывчивостью как морфологических, так и физиолого-биохимических параметров. Важно отметить, что действие эпикастерона можно считать стимулирующим, в то время как действие его конъюгата оказывает, скорее, угнетающий эффект.

Ограничениями при проведении исследования были лабораторно контролируемые условия и ограниченный спектр режимов обработки. Для подтверждения устойчивого эффекта и разработки рекомендаций необходимы дальнейшие исследования в условиях вегетационного эксперимента и в полевых условиях.

Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть сконцентрированы на подборе отзывчивых объектов среди декоративных культур, изучении дозо-

зависимости и оптимальных режимов обработки на разных фазах онтогенеза растений, оценке молекулярных механизмов действия брассиностероидов, разработке практических рекомендаций по применению брассиностероидов, а также изучении степени их влияния на уже исследованные объекты при использовании других методик выращивания (например, при выращивании колеуса путем черенкования).

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты создают основу для разработки экологических биостимуляторов для декоративного растениеводства, которые могут использоваться для повышения декоративных качеств и приживаемости рассады при уменьшении применения синтетических удобрений и пестицидов.

Автор выражает благодарность лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси и лично В. А. Хрипачу и Р. П. Литвиновской.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хомюк, Я. В. Влияние эпибрасинолида и его эфиров с серной кислотой на морфометрические параметры подсолнечника *Helianthus annuus* L. сорта Гелиос / Я. В. Хомюк, Р. П. Литвиновская, А. П. Колбас // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2022. – Т. 67, № 2. – С. 181–189.
2. Application of Plant Growth Regulators to *Stipa krylovii* in the Xilin Gol Grassland / Jun L. Y. [et al.] // *Planta Daninha*. – 2018. – Vol. 36. – P. 49–54.
3. Асадова, Р. А. Применение стимуляторов роста растений / Р. А. Асадова // Вестник Башкирского государственного педагогического университета имени М. Акмуллы. – 2023. – С. 37–44.
4. Foliar application of phytohormones enhances growth of maize and soybean seedlings / A. Llanes [et al.] // *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. – 2019. – Vol 45, nr 1. – P. 61–66.
5. Усова, С. Л. Экологически безопасные высокоэффективные регуляторы роста растений для цветочно-декоративных культур (обзор российской литературы) / К. Е. Усова, С. Л. Белоухов, И. Г. Шайхiev // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 21. – С. 193–198.
6. Колеус Блюма. – URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1443594#cite_refautogenerated1_2-1 (дата обращения: 02.12.2023).
7. Фомина, Т. И. Особенности прорастания семян декоративных многолетников семейства (*Lamiaceae* Martinov) / Т. И. Фомина // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2018. – № 4. – С. 60–64.
8. Бульская И. В. Оценка влияния 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры Колеуса Блюме на ранних этапах роста / И. В. Бульская // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 15–23.
9. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2006. – 256 с.
10. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк [и др.] // Лабораторное дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
11. Пузина, Т. И. Интенсивность фотосинтеза и транспорт ассимилятов у *Solanum tuberosum* под действием 24-эпибрасинолида / Т. И. Пузина, И. Ю. Макеева // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т. 57. – С. 113–121.
12. Exogenous spray application of 24-epibrassinolide induced changes in photosynthesis and anti-oxidant defenses against chilling stress in eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings / Wu X. X. [et al.] // *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. – 2015. – Vol. 90, nr 2. – P. 217–225.
13. Чиркова, Т. В. Физиологические основы устойчивости растений : учеб. пособие / Т. В. Чиркова. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2002. – С. 58–68.

REFERENCES

1. Khomyuk, Ya. V. Vliyanie epibrassinolida i ego efirov s sernoi kislotoi na morfometricheskie parametry podsolnechnika *Helianthus annuus* L. sorta Gelios / Ya. V. Khomyuk, R. P. Litvinovskaya, A. P. Kolbas // Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk. – 2022. – T. 67, № 2. – S. 181–189.
2. Application of Plant Growth Regulators to *Stipa krylovii* in the Xilin Gol Grassland / Jun L. Y. [et al.] // Planta Daninha. – 2018. – Vol. 36. – P. 49–54.
3. Asadova, R. A. Primenenie stimulyatorov rosta rastenii / R. A. Asadova // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni M. Akmully. – 2023. – S. 37–44.
4. Foliar application of phytohormones enhances growth of maize and soybean seedlings / A. Llanes [et al.] // Revista de Investigaciones Agropecuarias. – 2019. – Vol 45, nr 1. – P. 61–66.
5. Usova, S. L. Ekologicheski bezopasnye vysokoeffektivnye regulatory rosta rastenii dlya tsvetochno-dekorativnykh kul'tur (obzor rossiiskoi literatury) / K. Ye. Usova, S. L. Belopukhov, I. G. Shaikhiev // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2016. – T. 19, № 21. – С. 193–198.
6. Koleus Blyuma. – URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1443594#cite_refautogenerated1_2-1 (data obrashcheniya: 02.12.2023).
7. Fomina, T. I. Osobennosti prorstaniya semyan dekorativnykh mnogoletnikov semeistva (*Lamiaceae* Martinov) / T. I. Fomina // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2018. – № 4. – S. 60–64.
8. Bul'skaya I. V. Otsenka vliyaniya 24-epikastasterona i 2-monosalitsilata 24-epikastasterona na morfometricheskie i fiziologo-biokhimicheskie parametry Koleusa Blyume na rannikh etapakh rosta / I. V. Bul'skaya // Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 15–23.
9. Gavrilenko, V. F. Bol'shoi praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova. – M. : Akademiya, 2006. – 256 s.
10. Metod opredeleniya aktivnosti katalazy / M. A. Korolyuk [i dr.] // Laboratornoe delo. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
11. Puzina, T. I. Intensivnost' fotosinteza i transport assimilyatov u *Solanum tuberosum* pod deistviem 24-epibrassinolida / T. I. Puzina, I. Yu. Makeeva // Sel'skokhozyaistvennaya biylogiya. – 2022. – T. 57. – S. 113–121.
12. Exogenous spray application of 24-epibrassinolide induced changes in photosynthesis and anti-oxidant defenses against chilling stress in eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings / Wu X. X. [et al.] // Journal of Horticultural Science & Biotechnology. – 2015. – Vol. 90, nr 2. – P. 217–225.
13. Chirkova, T. V. Fiziologicheskie osnovy ustoichivosti rastenii : ucheb. posobie / T. V. Chirkova. – SPb. : Izd-vo SPBGU, 2002. – S. 58–68.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 15.09.2025

Алёна Владимировна Василевская¹, Наталья Юрьевна Колбас²

¹преподаватель-стажер каф. биологических и химических технологий

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

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

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина,

ст. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

Aliona Vasileuskaya¹, Natallia Kolbas²

¹Trainee Teacher of the Department of Biological and Chemical Technologies

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,

Senior Researcher of Polesie Agrarian Ecological Institute

of National Academy of Sciences of Belarus

e-mail: ¹alyonakhovrekova@gmail.com; ²n.kolbas@gmail.com

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЕЛОСТИ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛОДОВ VITIS L., КУЛЬТИВИРУЕМЫХ В Г. БРЕСТЕ

Представлены результаты двухлетних исследований содержания растворимых сахаров, титруемой кислотности, индекса спелости, содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности сока плодов *Vitis* семи сортов (Альфа, Минский розовый, Сен Пепин, Валерия, Дарья, Рудик и Сенатор Бурдака), культивируемых в условиях г. Бреста. Индекс спелости плодов составил 15,03 – 23,76 относительных единиц и был наибольшим у столового сорта Валерия. Содержание фенольных соединений составило 448,36 – 942,92 мг галловой кислоты на литр сока, антиоксидантной активности (метод ABTS) – 27,1 – 59,9 ммоль тролокс-эквивалент на литр сока. Наибольшие значения были у сортов Сен Пепин и Рудик. Даны рекомендации по практическому использованию полученных результатов.

Ключевые слова: *Vitis*, антиоксидантная активность, сахарокислотный индекс, сорта, фенольные соединения.

Biochemical Parameters of Ripeness and Antioxidant Activity of Vitis L. Fruits Cultivated in Brest

The article presents the results of two-year studies of the content of soluble sugars, titrated acidity, ripeness index, content of phenolic compounds (PS) and antioxidant activity (AOA) of the juice of *Vitis* fruits of seven varieties: Alpha, Minskiy rozovyy, Saint Pepin, Valeria, Daria, Rudik and Senator Burdaka cultivated in Brest. The fruit maturity index was 15,03 – 23,76 relative units and was the highest in the Valeria table variety. The PS content was 448,36 – 942,92 mg of gallic acid per liter of juice, AOA (ABTS method) – 27,1 – 59,9 mmol of trolox equivalent per liter of juice. The highest values were for Saint Pepin and Rudic varieties. Recommendations on the practical use of the obtained results are given.

Key words: *Vitis*, antioxidant activity, maturity index, phenolic compounds, varieties.

Введение

Виноград (*Vitis* L.) – одно из древнейших окультуренных человеком растений. В настоящее время общая площадь виноградников в мире составляет более 10 млн га. Они расположены они главным образом в странах южной и западной Европы (Испания, Франция, Италия, Греция, Болгария, Германия, Грузия, Армения), Азии (Турция, Иран), Африки (Алжир, ЮАР), Америки (США, Аргентина, Чили).

Научное сортоизучение винограда в Беларуси началось с 1935 г. в Центральном ботаническом саду Академии наук БССР и продолжается до сих пор. В настоящее время сотрудниками РУП «Институт плодоводства» создана ампелографическая коллек-

ция, включающая более 490 сортообразцов [1; 2]; из них 17 сортов внесены в Государственный реестр [3]. Все сорта винограда, включенные в Реестр, рекомендованы для выращивания в Брестской области, что обусловлено в первую очередь климатическими особенностями региона.

Климат г. Бреста, как и всей Республики Беларусь, – умеренно континентальный, сопровождается мягкой зимой и умеренно теплым летом. Средняя температура января составляет $-2,6^{\circ}\text{C}$, июля – $+19,3^{\circ}\text{C}$, среднегодовая – $+8,2^{\circ}\text{C}$, среднемесячная температура самого теплого месяца (июля) – $+19,3^{\circ}\text{C}$. Протяженность теплого периода в г. Бресте насчитывает 258–260 дней, а безморозного – 155–175 дней. Минимальная сумма активных температур, необходимая для нормального прохождения физиологических процессов и получения качественного урожая винограда, должна составлять 2200°C . Этот показатель для г. Бреста составляет $2400\text{--}2600^{\circ}\text{C}$, что позволяет большинству растений винограда не только нормально вегетировать, но и зимовать без укрытия [2].

Среднее годовое количество солнечных часов для г. Бреста составляет 1822, что достаточно для полного созревания ягод сортов винограда с коротким периодом вегетации (необходимый минимум – 1300). По этому показателю территория г. Бреста соответствует такому региону, как Токай (Венгрия, 1770 ч). Кроме того, климатические ресурсы виноградарства оценивают по величине гелиотермического индекса Брана: чем выше этот показатель, тем выше качество виноградной продукции. Так, на территории Франции средние величины индекса изменяются от 3 на севере до 6,7 на юге. При значении индекса менее 2,6 культивирование винограда считается нецелесообразным [4]. Согласно литературным данным, величина гелиотермического индекса юга Беларуси (в т. ч. и г. Бреста) составляет 4,5 [2].

По сроку созревания сорта винограда делятся на семь групп: сверхранние (от распускания почек до полной зрелости ягод проходит до 105 суток), очень ранние (106–115), ранние (116–125), раннесредние (126–130), средние (131–135), среднепоздние (136–140) и очень поздние (более 141 суток) [2; 4]. Вегетационный период в условиях г. Бреста длится в среднем 214 суток. С учетом климата и садопригодности территория Республики Беларусь разделена на три плодовых зоны; территория г. Бреста входит в южную западную зону [2].

В зависимости от дальнейшего использования винограда различают столовые, технические и универсальные сорта. Исходными видами для создания сортов являются не только *V. vinifera* L. (европейская группа), но и *V. amurensi* Rupr. (восточноазиатская группа), *V. labrusca* L., *V. riparia* Michx., *V. rotundifolia* Michx., *V. rupestris* Scheele. (американская группа), а также их гибриды. Американскую группу широко применяют в селекции холодостойких сортов винограда и используют в качестве подвоя [4].

Плоды винограда являются природным источником нутриентов и биологически активных веществ, одними из которых есть фенольные соединения (ФС). Экстрагируемые ФС содержатся в следующем соотношении: 10 % – в мезокарпии ягоды, 28–35 % – в экзокарпии, 60–70 % – в семенах. Содержание и состав ФС в винограде красных сортов отличается от их содержания в белых сортах. Так, ФС белого винограда представлены преимущественно эфирами кумаровой кислоты, катехинами и проантоцианидинами, а красных сортов – гидроксibenзойными и гидроксикоричными кислотами, проантоцианидинами, антоцианами и флавонолами [4; 5].

Разнообразие биологически активных веществ в биохимическом составе плодов обусловило широкое применение винограда и продуктов его переработки в медицине и фармакологии для лечения и профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы, атеросклероза, болезни Альцгеймера, различных типов рака, глаукомы и др. [5].

Необходимо отметить, что биохимический состав плодов винограда не только определен видом и сортом, но и зависит от климатических условий выращивания.

Цель исследования – оценка биохимических параметров спелости (сахарокислотный индекс и содержание ФС) плодов *Vitis*, выращенных в условиях г. Бреста, и определение антиоксидантной активности (АОА) их сока.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны семь сортов винограда: два технических (винных) (Альфа (*V. Labrusca* × *V. riparia*, включен в Государственный реестр [3]) и Сен Пепин (межвидовой гибрид, 37,5 % *V. vinifera* + 18,8 % *V. labrusca* + 26,6 % *V. rupestris* + 6,3 % *V. berlandieri* + 6,3 % *V. riparia* + 4,7 % *V. lincecumii*), один универсальный – Минский розовый (Металлический × смесь пыльцы гибридов, включен в Государственный реестр), четыре столовых – Валерия (Деметра × Ливия), Дарья (Кеша × Дружба), Рудик (Талисман × К-81) и Сенатор Бурдака (Талисман × Аркадия). Исследуемые сорта можно разделить на антоцианосодержащие (Валерия, Рудик, Альфа и Минский розовый), а также безантоциановые, или белые (Дарья, Сенатор Бурдака и Сен Пепин). Выбранные сорта винограда характеризуются хорошей вызреваемостью лозы в условиях г. Бреста, повышенной устойчивостью к грибным болезням (милдью, оидиуму), а также морозоустойчивостью [6].

Сбор плодов винограда осуществлялся в 2022 и 2023 гг. по достижении ими потребительской зрелости. В день сбора каждую гроздь взвешивали, определяли количество ягод, после сепарировали и получали виноградный сок, который далее анализировали. Пробоподготовку каждого из сортов проводили в трехкратной повторности. Определение общего содержания растворимых сахаров (ОСРС) проводили рефрактометрическим методом согласно [7] с применением рефрактометра (ИРФ-454Б, РФ) и выражали в Брикс с учетом температурных поправок. Титруемую кислотность (ТК) определяли согласно [8] под контролем рН-метра (СТ-6021А, Китай); результаты выражали в граммах винной кислоты на литр сока (г ВК/л). Сахарокислотный индекс рассчитывали как отношение показателей ОСРС к ТК [9]. Общее содержание ФС определяли методом микроанализа, разработанного на основе классического метода Folin – Ciocalteu [10] с использованием спектрофотометра Proscan MC 122 (СООО «Проскан специальные инструменты», Республика Беларусь) при длине волны 765 нм. Общее количество ФС выражали в мг ГК в пересчете на один л сока (мг ГК/л).

АОА оценивали методом ABTS [11], который основан на блокировке антиоксидантами долгоживущего окрашенного катион-радикала 2,2'-азинобис(3-этил-2,3-дигидро-6-бензотиазолин)-сульфо кислоты. В качестве стандарта АОА использовали тролокс (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновая кислота) – водорастворимый аналог витамина Е. АОА исследуемых образцов выражали в миллимоль тролокс-эквивалента (ТЭ) на литр сока (ммоль ТЭ/л).

Все опыты выполнены в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программы Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение

Значение сахарокислотного индекса находится в прямой зависимости от ОСРС и обратной от ТК. Анализ результатов показал, что значение ТК для исследуемых сортов варьировал от 0,61 до 1,07 г ВК/л (2022 г.) и от 0,7 до 1,06 г ВК/л (2023 г.) (таблица). ОСРС варьирует от 10,35 до 21,9 Брикс (2022 г.) и от 11,2 до 22,5 Брикс (2023 г.).

Для таких сортов, как Валерия, Рудик, Сенатор Бурдака и Сен Пепин, в 2023 г. отмечается снижение значения ТК в сравнении с полученными значениями в 2022 г. (в среднем на 5,4 %). Значение данного параметра для сорта Альфа в 2023 г. возрастает

на 13,8 % в сравнении с 2022 г., и также незначительный рост (на 2,5 %) отмечен для винограда сорта Дарья.

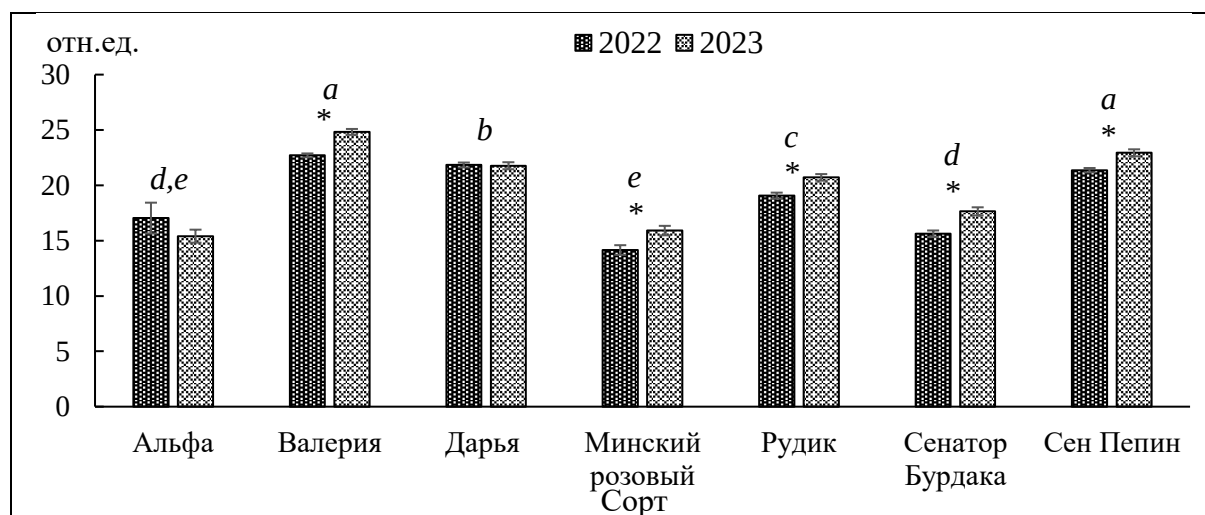
У сорта Минский розовый достоверного изменения значения ТК в годы исследования не выявлено. Для всех исследуемых сортов отмечается естественный рост ОСРС в 2023 г. по сравнению с значениями параметра в 2022 г.: для сорта Альфа показатель увеличился на 8,24 %, сорта Валерия – 4,2 %, сорта Дарья – 2,13 %, сорта Минский розовый – 5,53 %, сорта Рудик – 4,3 %, сорта Сенатор Бурдака – 4,5 %, сорта Сен Пепин – 2,7 %.

Таблица – Изменение титруемой кислотности (ТК) и общего содержания растворимых сахаров (ОСРС) для исследуемых сортов винограда по годам

Сорт	ТК, г ВК/л		ОСРС, Брикс	
	2022	2023	2022	2023
Альфа	0,61 ± 0,051	0,708 ± 0,009*	10,35 ± 0,09	11,2 ± 0,27*
Валерия	0,74 ± 0,007	0,705 ± 0,005*	16,8 ± 0,17	17,5 ± 0,23*
Дарья	0,86 ± 0,006	0,882 ± 0,007*	18,8 ± 0,18	19,2 ± 0,2*
Минский розовый	1,07 ± 0,035	1,06 ± 0,037	16,3 ± 0,12	17,17 ± 0,25*
Рудик	0,729 ± 0,006	0,7 ± 0,007*	13,9 ± 0,1	14,5 ± 0,16*
Сенатор Бурдака	0,845 ± 0,003	0,782 ± 0,009*	13,2 ± 0,13	13,8 ± 0,19*
Сен Пепин	1,025 ± 0,002	0,981 ± 0,005*	21,9 ± 0,16	22,5 ± 0,18*

Примечание – * – Различия достоверны по годам в пределах сорта (t-критерий, при уровне значимости $p < 0,05$).

Полученные результаты изменения показателя ТК и ОСРС предположительно связаны с ростом среднемесячной температуры в 2023 г. по сравнению с температурными показателями 2022 г.: для сентября 2023 г. (для климатического региона г. Бреста – это самый важный месяц для накопления сахаров ягодами винограда) отмечается рост среднемесячной температуры на 37,3 % по сравнению с 2022 г. Положительная динамика в снижении показателей ТК и увеличении ОСРС находит свое отражение в естественном росте значений сахарокислотного индекса (рисунок 1).



Примечание – Отн. ед. – относительные единицы; * – различия достоверны по годам в пределах сорта (t-критерий, при уровне значимости $p < 0,05$); a, b, c, d, e – статистические различия между сортами (средние по годам, Tukey-тест, при $p < 0,05$).

Рисунок 1 – Изменение сахарокислотного индекса исследуемых сортов Vitis по годам

Таким образом, с учетом средних значений данного параметра за два года исследований сорта можно ранжировать следующим образом: Валерия (23,76) > Сен Пепин (22,15) > Дарья (21,8) > Рудик (19,89) > Сенатор Бурдака (16,63) $\approx$ Альфа (16,22) > Минский розовый (15,03). Статистически достоверные изменения сахарокислотного индекса отмечены для следующих сортов: Сен Пепин (в 2023 г. отмечен рост параметра на 6,85 % в сравнении с показателем 2022 г.), Валерия (на 9,3 %), Рудик (на 8,56 %), Минский розовый (на 12,4 %), Сенатор Бурдака (на 12,9 %). Для сортов Альфа и Дарья достоверные различия значений параметра не характерны, что связано с незначительным повышением ТК и ОСРС.

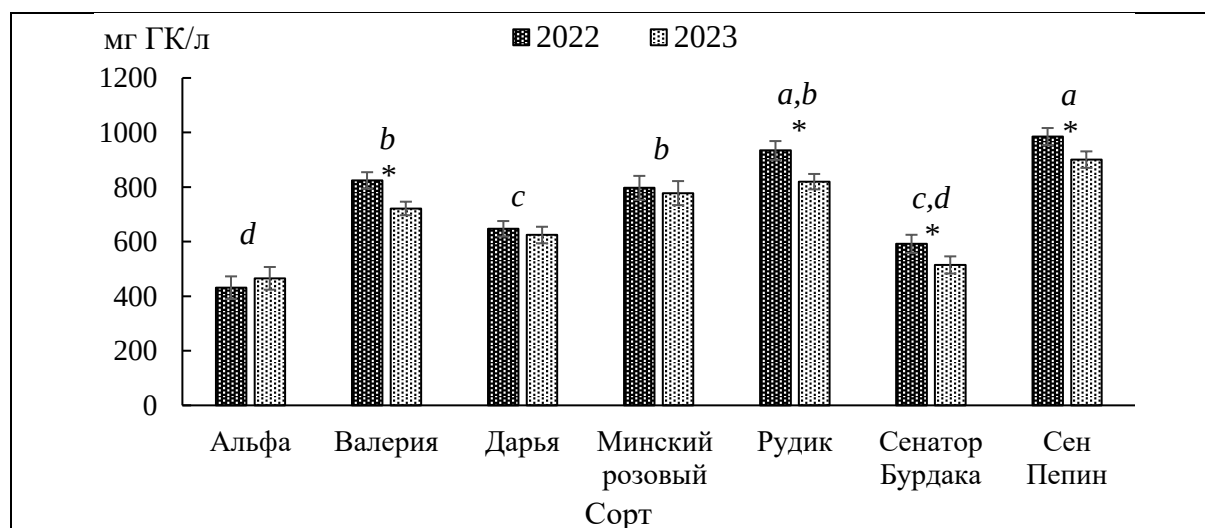
Для сочных плодов пищевого назначения отмечается снижение содержания ФС в процессе их созревания, что было показано на примере пяти сортов *V. vinifera*: Merlot, Cabernet Sauvignon, Sauvignon Blanc, Semillon [12] и Kishmish Chornyi [13].

В то же время регистрация фенольной спелости является важным показателем произведенного впоследствии вина и другой первичной продукции [13; 14].

В плодах винограда исследуемых сортов содержание ФС по годам варьировало незначительно и составило в мг ГК/л 431,16–985,14 в 2022 г. и 465,6–900,71 в 2023 г. (рисунок 2). С учетом средних значений данного параметра за два года исследований сорта можно ранжировать следующим образом: Сен Пепин (942,92) > Рудик (877,05) > Минский розовый (787,52) > Валерия (773,06) > Дарья (635,78) > Сенатор Бурдака (553,31) > Альфа (448,36).

Различие по годам было достоверно для четырех изученных сортов (рисунок 2). В 2023 г. отмечено снижение содержания ФС в соке плодов сорта Сенатор Бурдака на 15 %, Валерия – на 13,3 %, Рудик – на 12,2 % и Сен Пепин – на 8,6 %.

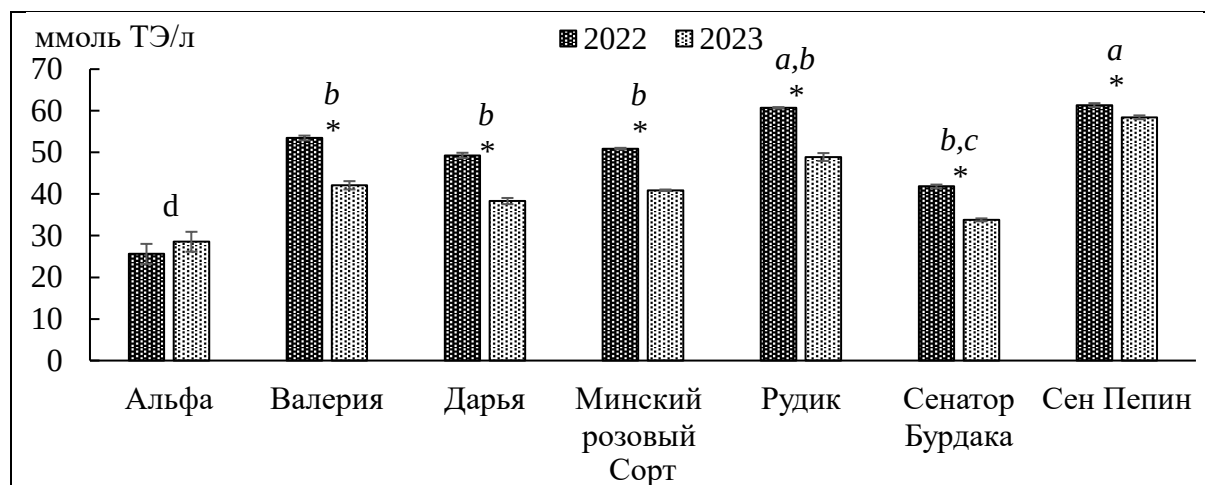
Известно, что синтез ФС в растениях связан с обменом углеводов (через шикиматный и ацетатно-малонатный пути) [15]. Нами установлена отрицательная корреляционная зависимость между ОСРС и содержанием ФС для трех сортов: Валерия ($R^2 = 0,669$, линейное распределение), Рудик ($R^2 = 0,628$, линейное) и Сенатор Бурдака ($R^2 = 0,660$, полиномиальное). Это указывает на то, что накопленные сахара далее не расходуются в шикиматном пути синтеза ФС [16].



Примечание – ГК – галловая кислота; * – различия достоверны по годам в пределах сорта (t-критерий, при уровне значимости $p < 0,05$); a, b, c, d – статистические различия между сортами (средние по годам, Tukey-тест, при $p < 0,05$).

Рисунок 2 – Содержание фенольных соединений в соке плодов *Vitis*, культивируемых в условиях г. Бреста

В 2022 г. значения АОА, оцененной методом *ABTS*, для исследуемых сортов варьировали от 25,64 до 61,36 ммоль ТЭ/л, а в 2023 г. – от 28,54 до 58,43 ммоль ТЭ/л (рисунок 3) и снижались в последовательности: Сен Пеппин (в среднем за два года значение параметра было 59,9 ммоль ТЭ/л) > Рудик (54,8) > Валерия (47,78) > Минский розовый (45,91) > Дарья (43,79) > Сенатор Бурдака (37,82) > Альфа (27,1).



Примечание – ТЭ – тролокс-эквивалент; * – различия достоверны по годам в пределах сорта (t-критерий, при уровне значимости $p < 0,05$); a, b, c, d – статистические различия между сортами (средние по годам, Tukey-тест, при $p < 0,05$).

Рисунок 3 – Антиоксидантная активность сока плодов *Vitis*, культивируемых в условиях г. Бреста [17; 18], АОА плодов винограда, а также продукции на их основе [19–21]

Полученные нами данные согласуются с литературными [19–21]. Винный сорт Альфа характеризуется минимальными значениями АОА, различия по годам у него не были статистически достоверными. Остальные изученные сорта продемонстрировали снижение этого параметра в 2023 г.: универсальный сорт Минский розовый на 24,4 %; столовые сорта: Дарья – на 28,7 %, Сенатор Бурдака – на 24,3 %, Рудик – на 24,2 %, Валерия – на 21,3 %; винный сорт Сен Пеппин показал снижение параметра на 4,77 %.

Для трех изученных столовых сортов винограда четко прослеживается прямая корреляционная зависимость между АОА и содержанием ФС: Валерия ($R^2 = 0,635$, линейное распределение), Рудик ($R^2 = 0,821$, линейное), Сенатор Бурдака ($R^2 = 0,871$ линейное). Невысокая корреляционная связь между параметрами характерна и для винного сорта Сен Пеппин ($R^2 = 0,586$, линейное распределение). Для сортов Альфа, Минский розовый и Дарья корреляционная связь между АОА сока и содержанием в них ФС не установлена.

Заклучение

При культивировании сортов *Vitis* в условиях г. Бреста индекс спелости плодов составил в среднем за два года исследований 15,03–23,76 относительных единиц и был наибольшим у столового сорта Валерия, а наименьшим у универсального сорта Минский розовый.

Содержание растворимых сахаров варьировало в среднем от 10,35 до 22,5 Брикс, титруемая кислотность – от 0,61 до 1,025 г ВК/л сока.

Среднее содержание ФС составило 448,36–942,92 мг ГК/л. Максимальные и минимальные значения были характерны для винных сортов Сен Пеппин и Альфа, которые являются межвидовыми гибридами, причем у первого в генотипе наибольшая доля принадлежит *V. vinifera*, а у второго – *V. labrusca*, при отсутствии *V. vinifera*. Отметим, что виноград сорта Альфа используется в качестве сырья в производственном процессе Пинского винодельческого завода, а также широко культивируется населением Беларуси. Среди столовых сортов наибольшим содержанием ФС характеризуется антоциан-содержащий сорт Рудик. Установлена прямая корреляционная зависимость между содержанием ФС и АОА виноградного сока столовых сортов Валерия, Рудик и Сенатор Бурдака, а также для винного сорта Сен Пеппин. АОА сока в среднем за два года исследований составила 27,1–59,9 ммоль ТЭ/л.

С учетом полученных нами результатов можно рекомендовать изученные столовые сорта Валерия, Дарья, Рудик, Сенатор Бурдака, винный сорт Сен Пеппин к включению в Государственный реестр и использованию в Брестской области. Сорта Сен Пеппин и Рудик могут быть рекомендованы в качестве исходных форм для создания новых сортов винограда с повышенным содержанием ФС и АОА сока их плодов технического и столового назначения соответственно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Леонович, И. С. История развития виноградарства и виноделия / И. С. Леонович, В. Н. Устинов // Плодоводство. – 2015. – Т. 27. – С. 421–436.
2. Генофонд плодовых и ягодных растений Беларуси: атлас сортов плодовых, ягодных, орехоплодных культур и винограда / З. А. Козловская [и др.]. – Мн. : Бел. навука, 2020 – 541 с.
3. Характеристика сортов, включенных в государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений с 2024 года. – URL: <http://sorttest.by/description/opisanie2024.pdf> (дата обращения: 10.01.2025).
4. Handbook of enology [Traité d'oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 2 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – 444 p.
5. Grape and Grape-Based Product Polyphenols: A Systematic Review of Health Properties, Bioavailability, and Gut Microbiota Interactions / P. Rodriguez-Lopez [et al.] // Horticulturae. – 2022. – Vol. 8, nr 7. – P. 583–608.
6. Виноград. Информация о сортах винограда. – URL: <https://vinograd.info/sorta/sorta-vinograda/> (дата обращения: 01.02.2025).
7. Соки фруктовые и овощные. Метод определения растворимых сухих веществ рефрактометром : СТБ ГОСТ Р 51433/ПР ; введ. 01.07.08. – Мн. : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2008. – 12 с.
8. Соки фруктовые и овощные. Метод определения титруемой кислотности : СТБ ГОСТ Р 51434-2006 ; введ. 01.06.07. – Мн. : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2007. – 12 с.
9. Kader, A. A. Fruit maturity, ripening, and quality relationships / A. A. Kader // Int. Symp. on Effect of Pre- and Post Harvest Factors on Storage of Fruit ; ed. L. Michalczyk. – Acta Hort. – 1999. – Nr 485. – P. 203–208.
10. Waterhouse, A. L. Determination of Total Phenolics / A. L. Waterhouse // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2002. – I1.1.1 – I1.1.8.
11. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re [et al.] // Free Radical Biology and Medicine. – 1999. – Vol. 26, Nr 9/10. – P. 1231–1237.
12. Antioxidant activity and phenolic composition in grape berries (*Vitis vinifera* L.) at different stages of maturation / N. Kolbas [et al.] // Symposium Viticulture and Oenologie «Wine Active Compounds», 24–26 March 2011, Beaune, France. – Bourgogne, 2011. – P. 307–308.
13. Doshi, P. Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chornyi (Sharad Seedless) during maturation / P. Doshi, P. Adsule, K. Banerjee // Intern. J. Food Sci. Technology. – 2006. – Vol. 41, suppl. 1. – P. 1–9.

14. Handbook of enology [Traité d'oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.] – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 2 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – 444 p.
15. Колбас, Н. Ю. Антоциановый комплекс и антиоксидантная активность плодов некоторых представителей семейства Розоцветные (Rosaceae Juss.) : моногр. / Н. Ю. Колбас ; науч. ред. В. Н. Решетников ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2019. – 173 с.
16. Dewick, P. M. Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach / P. M. Dewick. – 3-d ed. – Chichester : Wiley, 2009. – 539 p.
17. Shahidi, F. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects : a review / F. Shahidi, P. Ambigaipalan // Journal of Functional Foods. – 2015. – Vol. 18. – P. 820–897.
18. Взаимосвязь содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности растительных экстрактов / О. В. Карнаухова [и др.] // Химия растительного сырья. – 2019. – № 3. – С. 45–56.
19. Bioactive potential of *Vitis labrusca* L. grape juices from the Southern Region of Brazil : Phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects / I. M. Toaldo [et al.] // Food Chemistry. – 2015. – Vol. 173. – P. 527–535.
20. Cosme, F. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Grape Juices : A Chemical and Sensory View / F. Cosme, T. Pinto, A. Vilela // Beverages. – 2018. – Vol. 4, is. 22. – P. 1–14.
21. Polyphenolic Profile and Antioxidant Activity of Whole Grape Juices from *Vitis labrusca* and Brazilian Hybrid Grapes in Two Training Systems / F. J. Domingues Neto [et al.] // Antioxidants. – 2024. – Vol. 13, ID articl 1132. – P. 1–17.

REFERENCES

1. Leonovich, I. S. Istoriya razvitiya vinogradarstva i vinodeliya / I. S. Leonovich, V. N. Ustinov // Plodovodstvo. – 2015. – Т. 27. – С. 421–436.
2. Genofond plodovykh i yagodnykh rastenii Belarusi: atlas sortov plodovykh, yagodnykh, orekhoplodnykh kul'tur i vinograda / Z. A. Kozlovskaya [i dr.]. – Mn. : Bel. navuka, 2020 – 541 s.
3. Kharakteristika sortov, vkluchennykh v gosudarstvennyi reestr sortov sel'skokhozyaistvennykh rastenii s 2024 goda. – URL: <http://sorttest.by/description/opisanie2024.pdf> (data obrashcheniya: 10.01.2025).
4. Handbook of enology [Traité d'oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 2 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – 444 p.
5. Grape and Grape-Based Product Polyphenols: A Systematic Review of Health Properties, Bioavailability, and Gut Microbiota Interactions / P. Rodriguez-Lopez [et al.] // Horticulturae. – 2022. – Vol. 8, nr 7. – P. 583–608.
6. Vinograd. Informatsiya o sortakh vinograda. – URL: <https://vinograd.info/sorta/sorta-vinograda/> (data obrashcheniya: 01.02.2025).
7. Soki fruktovye i ovoshchnye. Metod opredeleniya rastvorimyykh sukhikh veshchestv refraktometrom : STB GOST R 51433/PR ; vved. 01.07.08. – Mn. : Gos. kom. po standartizatsii Resp. Belarus', 2008. – 12 s.
8. Soki fruktovye i ovoshchnye. Metod opredeleniya titruemoi kislotnosti : STB GOST R 51434-2006 ; vved. 01.06.07. – Mn. : Gos. kom. po standartizatsii Resp. Belarus', 2007. – 12 s.
9. Kader, A. A. Fruit maturity, ripening, and quality relationships / A. A. Kader // Int. Symp. on Effect of Pre- and Post Harvest Factors on Storage of Fruit ; ed. L. Michalcuk. – Acta Hort. – 1999. – Nr 485. – P. 203–208.
10. Waterhouse, A. L. Determination of Total Phenolics / A. L. Waterhouse // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2002. – II.1.1 – II.1.8.
11. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re [et al.] // Free Radical Biology and Medicine. – 1999. – Vol. 26, Nr 9/10. – P. 1231–1237.
12. Antioxidant activity and phenolic composition in grape berries (*Vitis vinifera* L.) at different stages of maturation / N. Kolbas [et al.] // Symposium Viticulture end Œnologie «Wine Active Componaunds», 24–26 March 2011, Beaune, France. – Bourgne, 2011. – P. 307–308.

13. Doshi, P. Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chornyi (Sharad Seedless) during maturation / P. Doshi, P. Adsule, K. Banerjee // Intern. J. Food Sci. Technology. – 2006. – Vol. 41, suppl. 1. – P. 1–9.
14. Handbook of enology [Traité d'oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.] – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 2 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – 444 p.
15. Kolbas, N. Yu. Antotsianovyi kompleks i antioksidantnaya aktivnost' plodov nekotorykh predstavitelei semeistva Rozotsvetnye (Rosaceae Juss.) : monogr. / N. Yu. Kolbas ; nauch. red. V. N. Reshetnikov ; Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina. – Brest : BrGU, 2019. – 173 s.
16. Dewick, P. M. Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach / P. M. Dewick. – 3-d ed. – Chichester : Wiley, 2009. – 539 p.
17. Shahidi, F. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects : a review / F. Shahidi, P. Ambigaipalan // Journal of Functional Foods. – 2015. – Vol. 18. – P. 820–897.
18. Vzaimosvyaz' sodержaniya fenol'nykh soedinenii i antioksidantnoi aktivnosti rastitel'nykh ekstraktov / O. V. Karnaukhova [i dr.] // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. – 2019. – № 3. – S. 45–56.
19. Bioactive potential of *Vitis labrusca* L. grape juices from the Southern Region of Brazil : Phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects / I. M. Toaldo [et al.] // Food Chemistry. – 2015. – Vol. 173. – P. 527–535.
20. Cosme, F. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Grape Juices : A Chemical and Sensory View / F. Cosme, T. Pinto, A. Vilela // Beverages. – 2018. – Vol. 4, is. 22. – P. 1–14.
21. Polyphenolic Profile and Antioxidant Activity of Whole Grape Juices from *Vitis labrusca* and Brazilian Hybrid Grapes in Two Training Systems / F. J. Domingues Neto [et al.] // Antioxidants. – 2024. – Vol. 13, ID artcl 1132. – P. 1–17.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 31.03.2025

УДК 582.29(476)

DOI 10.63874/2218-0311-2025-2-21-27

**Яна Константиновна Деменкова¹, Ангелина Сергеевна Кабаева²,
Ангелина Сергеевна Маркевич³, Андрей Геннадьевич Цурыков⁴**

^{1, 2, 3}студент 4-го курса биологического факультета

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

⁴д-р биол. наук, доц., проф. каф. биологии

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины,

проф. каф. общей и биоорганической химии

Гомельского государственного медицинского университета

Yana Demenkova¹, Anhelina Kabayeva², Anhelina Markevich³, Andrei Tsurukau⁴

^{1, 2, 3}4-th Year Student of the Faculty of Biology of Francisk Skaryna Gomel State University

⁴Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Biology
of Francisk Skorina Gomel State University,

Professor of the Department of General and Bioorganic Chemistry
of Gomel State Medical University

e-mail: ¹demenkova0803@gmail.com; ²angelina.kabaeva2004@gmail.com;

³angelymarkevich@yandex.by; ⁴tsurykau@gmail.com

ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ И ГОДОВОГО ПРИРОСТА ЛИШАЙНИКА XANTHORIA PARIETINA НА ТЕРРИТОРИИ Г. ГОМЕЛЯ

Представлена значимость лишайников как биоиндикаторов состояния окружающей среды, обозначены высокие аккумулятивные способности этих организмов, а также существующие в настоящее время ограничения возможностей применения методов лишайноиндикации и лишайномониторинга, что обосновывает актуальность настоящей работы. Целью исследования является оценка плотности популяции и годового прироста лишайника *Xanthoria parietina* на осине обыкновенной в г. Гомеле. Методология исследования включала измерение линейных размеров 270 слоевищ на 10 деревьях с последующей статистической обработкой результатов. Плотность популяции лишайника *Xanthoria parietina* варьирует от 113 до 779 слоевищ на 1 м² при среднем значении 408 слоевищ на 1 м² поверхности ствола форофита. Наибольшее число талломов лишайников приросло на 0,1 мм по высоте и на 0,2 мм по ширине за один год исследований. Данные результаты необходимо учитывать при разработке методики определения возраста популяции лишайников для проведения экологического мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова: *Xanthoria parietina*, эпифиты, годовой прирост, популяция, размерная структура.

Assessment of Population Density and Annual Growth of the Lichen XANTHORIA PARIETINA in the City of Gomel

The introduction presents the significance of lichens as bioindicators of environmental conditions, states the high accumulative capacity of these organisms, as well as the current limitations of the application of lichen indication and lichen monitoring methods, which justifies the relevance of the present work. The aim of the study is to assess the population density and annual growth of lichen *Xanthoria parietina* on aspen in the city of Gomel. The research methodology included measuring the linear dimensions of 270 thalli on 10 trees, followed by statistical analysis of the obtained results. The population density of the lichen *Xanthoria parietina* varies from 113 to 779 thalli per 1 m² with an average value of 408 thalli per 1 m² of the trunk surface of the phorophyte. The largest number of lichen thalli increased by 0,1 mm in height and 0,2 mm in width during a year. These results are crucial for developing a method for determining the age of the lichen population for environmental monitoring.

Key words: *Xanthoria parietina*, epiphytes, annual growth, population, size structure.

Введение

Лишайнометрия – биоиндикационный метод, позволяющий определить возраст субстратов на основании размеров слоевищ произрастающих на них лишайников. Метод лишайнометрического датирования основан на следующих предложениях: преимущественно обнаженные поверхности изначально не заселены лишайниками; инвазия (колонизация, сукцессия) первично обнаженного субстрата начинается в момент появления этого субстрата.

С момента инвазии рост лишайников подчиняется определенным закономерностям, позволяющим прогнозировать ход роста в условиях однородного макроклимата; рост является функцией времени, прошедшего с момента заселения [1; 2].

Лишайники очень чувствительны к загрязнению воздуха [3]. В условиях загрязненной атмосферы они накапливают тяжелые металлы и другие химические соединения, содержащиеся в атмосферных осадках, в гораздо больших концентрациях, чем высшие растения [4].

Это свойство делает их важными биоиндикаторами, позволяющими оценивать уровень загрязнения окружающей среды. Например, в районах с высоким уровнем загрязнения лишайники могут исчезать или значительно уменьшаться в численности, что служит сигналом о неблагоприятных условиях для экосистемы.

Благодаря этим особенностям они часто используются в изучении степени загрязнения антропогенного влияния на окружающую среду – лишеноиндикации и лишеномониторинге. Однако лишайники характеризуются крайне медленной скоростью роста. В литературе приводятся разные данные о скорости прироста отдельных видов, часто только пороговые значения для экстремальных условий произрастаний (от 0,01 мм в год для накипных до 100 мм в год для кустистых видов) [3].

Онтогенетическая структура и динамика прироста слоевищ кустистых и листоватых эпифитных лишайников к настоящему времени слабо изучены. Только для отдельных видов лишайников разработаны критерии выделения онтогенетических состояний слоевищ на основе морфологических признаков-маркеров (например, для *Evernia prunastri* (L.) Ach., *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *Parmelia sulcata* Taylor [5–7] и некоторых других), что является достаточно трудной задачей из-за вариабельности морфологических признаков многих лишайников в онтогенезе, а также ввиду огромного разнообразия жизненных форм лишайников [8].

Ввиду вышеуказанного к настоящему времени имеются лишь отрывочные сведения о структуре популяций, их динамике, размерах и распределении слоевищ указанных видов (а также *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.) на стволах различных видов форофитов в естественных и антропогенизированных фитоценозах [9–12].

Следует отметить, что в настоящее время методики оценки возраста слоевищ эпифитных листоватых лишайников, используемых в экологическом мониторинге, не разработаны [13], и остается острым вопрос, за какой период времени слоевища накопили выявленные количества загрязнителей.

В связи с этим оценка популяционной структуры, а также скорости и динамики прироста лишайника *Xanthoria parietina* представляется актуальной задачей.

Материал и методика исследований

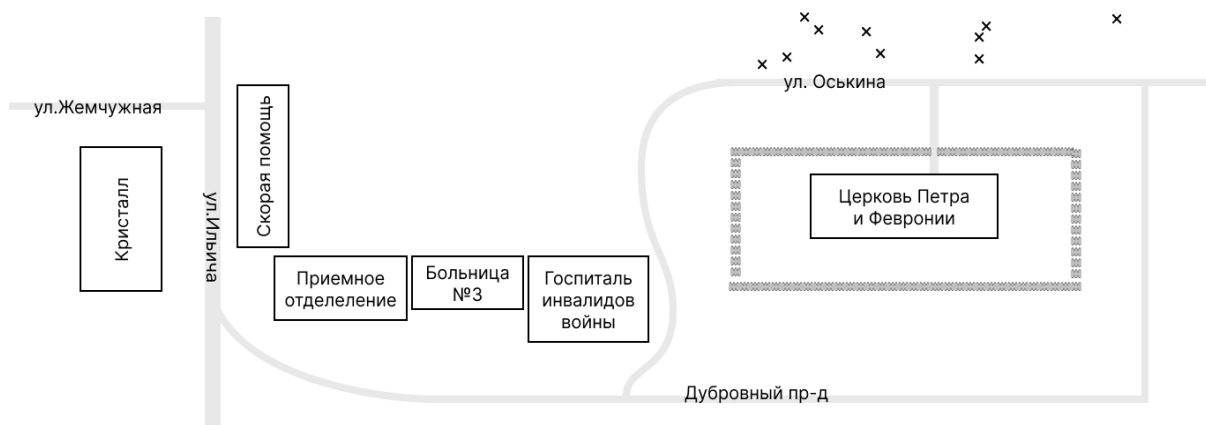
Исследования проводили на территории Новобелицкого района города Гомеля по ул. Оськина 24.08.2022 и 11.07.2024 (рисунок 1).

В качестве форофита была выбрана осина обыкновенная (*Populus tremula* L.). Всего нами было заложено 10 учетных площадок на 10 деревьях.

Для измерения линейных размеров использовали разметочный циркуль, который прикладывали к слоевищу по ширине и высоте и переносили на линейку.

Плотность популяции *Xanthoria parietina* оценивали как число слоевищ на обследуемой части дерева [9]. Общий объем материала составил 270 слоевищ.

Для оценки размерной структуры популяции *Xanthoria parietina* применяли методы описательной статистики, однофакторного дисперсионного анализа, а также корреляционного анализа.



**Рисунок 1 – Картосхема исследуемого участка
(X – расположение деревьев с учетными площадями)**

Погодные условия: температура – +29°C, малооблачно, ветер – 2,6 м/с, давление – 755 мм. рт. ст., влажность воздуха – 42%.

Погодные условия 11.07.2024: температура – +25°C, малооблачно, ветер – 1 м/с, давление – 753 мм. рт. ст., влажность воздуха – 45%.

Результаты исследований и их обсуждение

Плотность популяции *Xanthoria parietina* на осине обыкновенной варьирует от 113 до 779 слоевищ на 1 м² (рисунок 2).

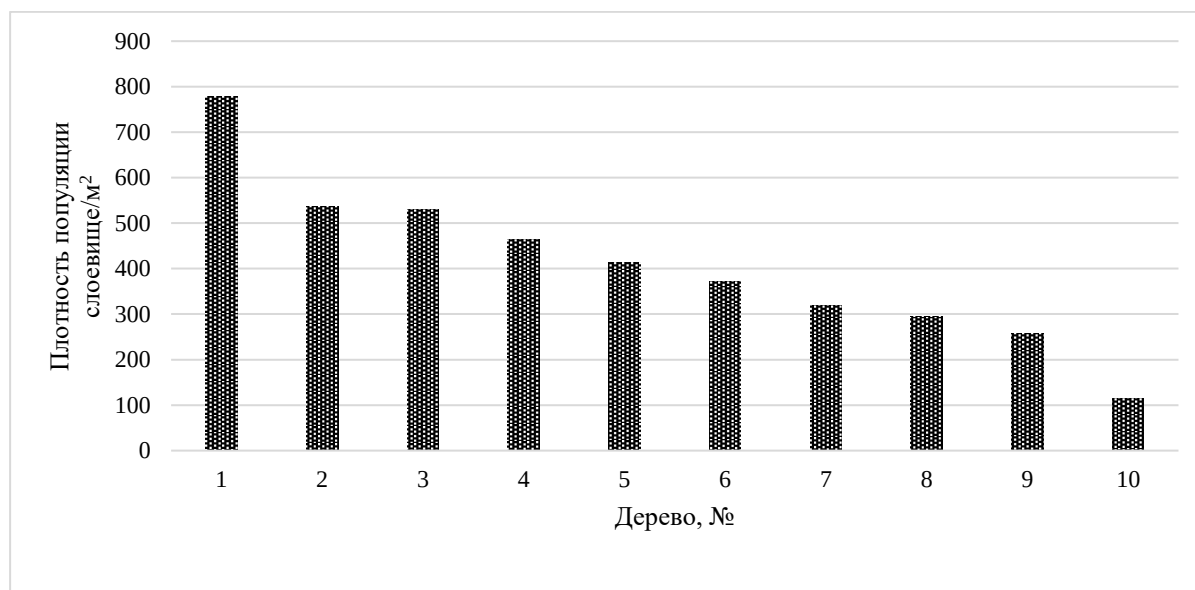
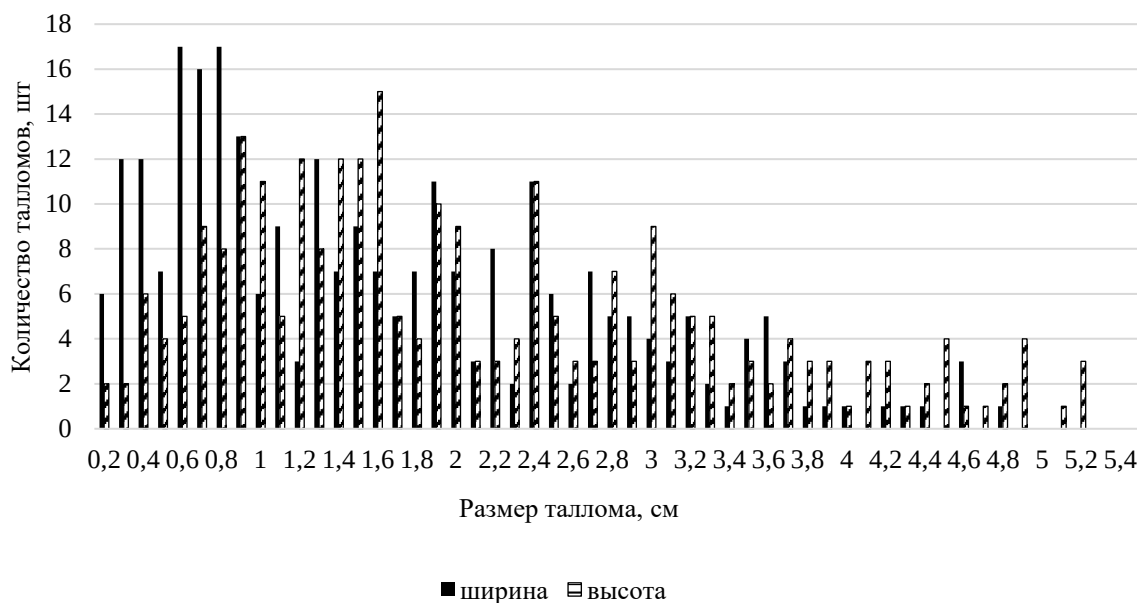


Рисунок 2 – Плотность популяции *Xanthoria parietina*

Полученные нами значения плотности популяции существенно превышают данные литературы.

В частности, для территории г. Йошкар-Олы Республики Марий Эл плотность популяции лишайника *Xanthoria parietina* составила 1,6–133 слоевищ на 1 м² субстрата произрастания [9]. Размерная структура популяции лишайника *Xanthoria parietina* показана на рисунке 3.

Рисунок 3 – Размерная структура популяции *Xanthoria parietina*

Наиболее часто были отмечены талломы *Xanthoria parietina*, размеры которых составляют 0,7–0,9 см. Размерная структура популяции *Xanthoria parietina* статистически отличается у разных деревьев (таблицы 1, 2). При сравнении высоты талломов лишайников *Xanthoria parietina* на различных стволах деревьев была выявлена группа форофитов (6 осин), для которой наиболее часто были отмечены талломы высотой 0,9–1,1 см (таблица 1).

Таблица 1 – Корреляция размерной структуры (высота таллома) популяции *Xanthoria parietina* исследованных деревьев

		Дерево №									
		1	10	8	3	7	6	2	9	4	5
Дерево №	1	–	0,68	0,57	0,56	0,46	0,47	0,32	0,57	0,22	–0,09
	10	0,68	–	0,60	0,62	0,68	0,27	0,38	0,49	0,35	–0,01
	8	0,57	0,60	–	0,47	0,76	0,38	0,44	0,07	0,29	–0,11
	3	0,56	0,62	0,47	–	0,37	0,70	0,16	0,73	0,15	–0,02
	7	0,46	0,68	0,76	0,37	–	0,32	0,75	0,08	0,60	0,14
	6	0,47	0,27	0,38	0,70	0,32	–	0,22	0,66	0,03	–0,03
	2	0,32	0,38	0,44	0,16	0,75	0,22	–	–0,08	0,54	0,47
	9	0,57	0,49	0,07	0,73	0,08	0,66	–0,08	–	–0,08	–0,09
	4	0,22	0,35	0,29	0,15	0,60	0,03	0,54	–0,08	–	0,14
	5	–0,09	–0,01	–0,11	–0,02	0,14	–0,03	0,47	–0,09	0,14	–

Примечание – Серым цветом выделены значения с $r \geq 0,70$.

При сравнении ширины талломы лишайников *Xanthoria parietina* на различных стволах деревьев была также выявлена группа форофитов, которую составили деревья с шириной талломы 0,6–0,7 см (таблица 2).

Таблица 2 – Корреляция размерной структуры (ширина таллома) популяции *Xanthoria parietina* исследованных деревьев (серым цветом выделены значения с $r \geq 0,70$)

		Дерево №									
		6	1	10	3	9	8	4	2	7	5
Дерево, №	6	–	0,54	0,57	0,65	0,55	0,38	0,19	0,58	0,49	0,03
	1	0,54	–	0,63	0,38	0,49	0,41	0,30	0,56	0,38	0,00
	10	0,57	0,63	–	0,60	0,73	0,48	0,27	0,42	0,33	–0,14
	3	0,65	0,38	0,60	–	0,74	0,77	0,38	0,66	0,26	–0,19
	9	0,55	0,49	0,73	0,74	–	0,75	0,50	0,61	0,33	–0,19
	8	0,38	0,41	0,48	0,77	0,75	–	0,70	0,66	0,10	–0,22
	4	0,19	0,30	0,27	0,38	0,50	0,70	–	0,37	0,26	–0,14
	2	0,58	0,56	0,42	0,66	0,61	0,66	0,37	–	0,24	–0,13
	7	0,49	0,38	0,33	0,26	0,33	0,10	0,26	0,24	–	0,28
	5	0,03	0,00	–0,14	–0,19	–0,19	–0,22	–0,14	–0,13	0,28	–

Примечание – Серым цветом выделены значения с $r \geq 0,70$.

Итак, размерная структура лишайника *Xanthoria parietina* на разных деревьях в пределах гомогенных насаждений *Populus tremula* неоднородна и статистически отличается. Для изучения динамики прироста слоевищ лишайника *Xanthoria parietina* нами были сопоставлены данные линейных размеров слоевищ за 2022 и 2024 гг. Средний прирост слоевищ лишайника *Xanthoria parietina* в изучаемых нами условиях за два года составил по высоте 0,04 см и по ширине 0,07 см. Наибольшее число талломов лишайников за два года приросло на 0,2 мм по высоте и на 0,1 мм по ширине (рисунок 4).

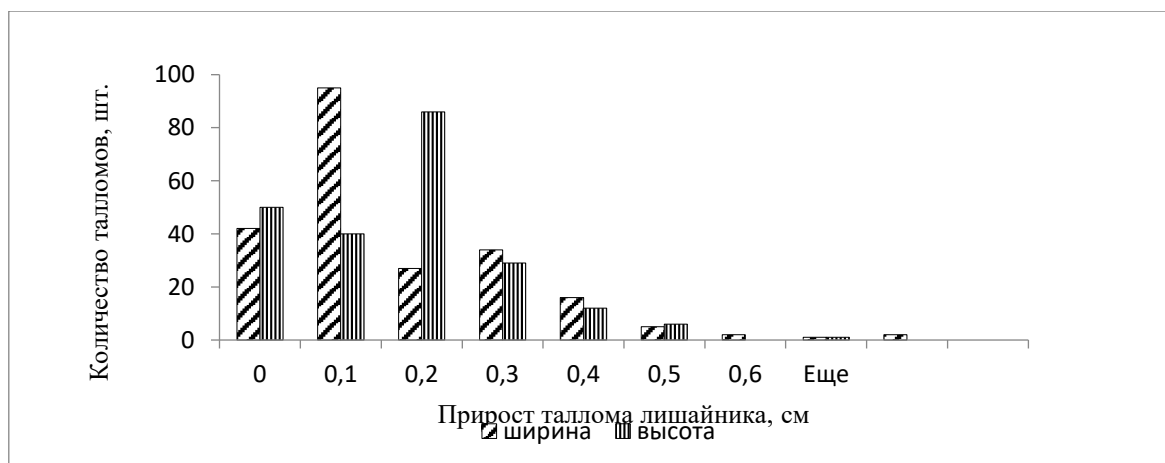


Рисунок 4 – Годовой прирост лишайника *Xanthoria parietina*

С учетом полученных данных были построены кривые роста как для высоты, так и для ширины талломов *Xanthoria parietina* (рисунок 5).

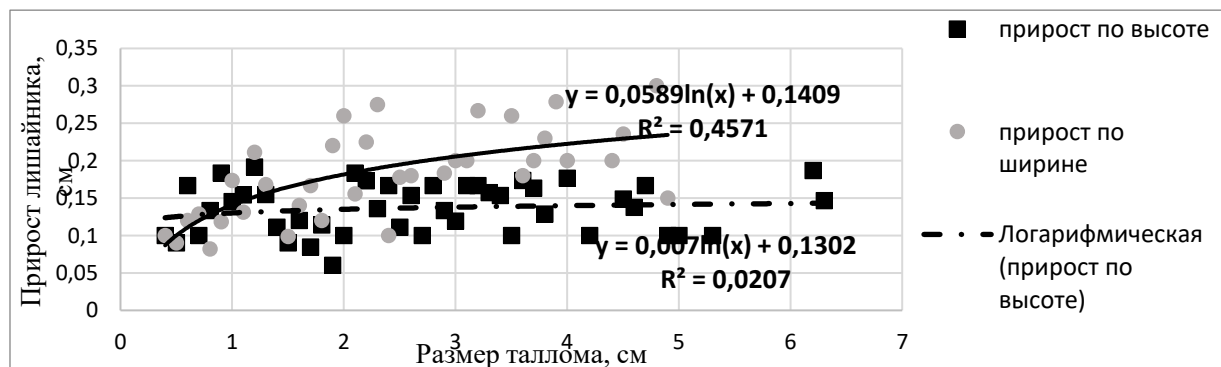


Рисунок 5 – Кривая роста талломов *Xanthoria parietina* (высота и ширина), см

Несмотря на то, что коэффициент аппроксимации не указывает на высокий уровень корреляции анализируемых данных, можно заключить, что в обоих именно логарифмическая функция в обоих случаях наиболее точно описывает распределение.

Это указывает на то, что прирост талломов лишайника *Xanthoria parietina* замедляется с возрастом, что характерно для многих биологических систем.

Заклучение

По результатам изучения статистических параметров лишайника *Xanthoria parietina* на осине обыкновенной (*Populus tremula*) по улице Оськина выявлено, что размерная структура популяции *Xanthoria parietina* на разных деревьях статистически отличается и плотность популяции лишайника составила от 113 до 779 слоевищ/м² при среднем значении $407,6 \pm 58,07$ слоевищ/м² поверхности ствола форофита.

Наиболее часто были отмечены талломы *Xanthoria parietina* высотой 0,8 и шириной 0,7 см при среднем значении $2,24 \pm 0,08$ см и $1,75 \pm 0,06$ см соответственно.

Выявлены группы форофитов, на которых преобладают лишайники с наибольшими (0,9–1,1 см) и наименьшими (0,6–0,7 см) талломами лишайников *Xanthoria parietina*.

Средний прирост слоевищ лишайника *Xanthoria parietina* в изучаемых нами условиях за два года составил по высоте 0,04 см и по ширине 0,07 см.

Полученные данные для *Xanthoria parietina* не соответствуют таковым, полученным для других лишайников на территории г. Гомеля (*Hypogymnia physodes*, *Phaeophyscia orbicularis*). Данные результаты необходимо учитывать при разработке методики определения возраста популяции лишайников для проведения экологического мониторинга окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Martin, J. Epilithic lichens community structure and applications in lichenometry / J. Martin. – Tallin : Euroacademy, 2010. – 137 с.
2. Галанин, А. А. Лихенометрические исследования на Северо-Востоке России / А. А. Галанин. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 1995. – 51 с.
3. Харитонов, Н. П. Лишайники и их изучение / Н. П. Харитонов // Исследователь. – 2009. – № 34. – С. 182–198.
4. Лиштва, А. В. Лихенология : учеб.-метод. пособие / А. В. Лиштва. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. – 121 с.
5. Суетина, Ю. Г. Онтогенез и возрастно-виталитетная структура популяции лишайника *Evernia prunastri* (L.) Ach. / Ю. Г. Суетина, Е. И. Ямбердова // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2010. – Вып. 3. – С. 44–52.
6. Суетина, Ю. Г. Изменчивость признаков в онтогенезе эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. / Ю. Г. Суетина, Н. В. Готов // Онтогенез. – 2014. – Т. 45, № 3. – С. 201–206.
7. Игнатенко, Р. В. Онтогенез лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в растительных сообществах бореальной зоны / Р. В. Игнатенко, В. Н. Тарасова, Е. Ф. Марковская // Онтогенез. – 2020. – Т. 51, № 2. – С. 132–142.
8. Цуриков, А. Г. Жизненные формы лишайников Беларуси / А. Г. Цуриков // Ботанический журнал. – 2020. – Т. 105, № 6. – С. 523–541.
9. Суетина, Ю. Г. Онтогенез и структура популяции *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. в различных экологических условиях / Ю. Г. Суетина // Экология. – 2001. – № 3. – С. 203–208.
10. Суетина, Ю. Г. Распределение талломов лишайника *Evernia prunastri* (L.) Ach. по стволу липы сердцелистной в пойменных и водораздельных липняках Республики Марий Эл / Ю. Г. Суетина // Самарский научный вестник. – 2021. – Т. 10, № 4. – С. 118–122.

11. Суєтина, Ю. Г. Сравнение структуры популяции и распределения слоевищ *Evernia prunastri* (L.) Ach. по стволу липы сердцелистной в затененном пойменном липняке за период 2008–2017 гг. / Ю. Г. Суєтина // Самарский научный вестник. – 2021. – Т. 10, № 2. – С. 99–103.
12. Суєтина, Ю. Г. Динамика структуры популяций эпифитных лишайников *Evernia prunastri* (L.) Ach. и *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. на липе сердцелистной в пойменном липняке реки Большая Кокшага / Ю. Г. Суєтина // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8, № 1. – С. 110–115.
13. Цуриков, А. Г. Листоватые и кустистые городские лишайники : атлас-определитель / А. Г. Цуриков, О. М. Храмченкова. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 123 с.

REFERENCES

1. Martin, J. Epilithic lichen community structure and applications in lichenometry / J. Martin. – Tallin : Euroacademy, 2010. – 137 с.
2. Galanin, A. A. Likhenometricheskie issledovaniya na Severo-Vostoke Rossii / A. A. Galanin. – Magadan : SVNTs DVO RAN, 1995. – 51 s.
3. Kharitonov, N. P. Lishainiki i ikh izuchenie / N. P. Kharitonov // Issledovatel'. – 2009. – № 34. – С. 182–198.
4. Lishtva, A. V. Likhenologiya : ucheb.-metod. posobie / A. V. Lishtva. – Irkutsk : Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2007. – 121 s.
5. Suetina, Yu. G. Ontogenez i vozrastno-vitalitnaya struktura populyatsii lishainika *Evernia prunastri* (L.) Ach. / Yu. G. Suetina, Eu. I. Yamberdova // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle. – 2010. – Vyp. 3. – С. 44–52.
6. Suetina, Yu. G. Izmenchivost' priznakov v ontogeneze epifitnogo lishainika *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. / Yu. G. Suetina, N. V. Glotov // Ontogenez. – 2014. – Т. 45, № 3. – С. 201–206.
7. Ignatenko, R. V. Ontogenez lishainika *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. v rastitel'nykh soobshchestvakh boreal'noi zony / R. V. Ignatenko, V. N. Tarasova, Ye. F. Markovskaya // Ontogenez. – 2020. – Т. 51, № 2. – С. 132–142.
8. Tsurikov, A. G. Zhiznennyye formy lishainikov Belarusi / A. G. Tsurikov // Botanicheskii zhurnal. – 2020. – Т. 105, № 6. – С. 523–541.
9. Suetina, Yu. G. Ontogenez i struktura populyatsii *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. v razlichnykh ekologicheskikh usloviyakh / Yu. G. Suetina // Ekologiya. – 2001. – № 3. – С. 203–208.
10. Suetina, Yu. G. Raspredelenie tallomov lishainika *Evernia prunastri* (L.) Ach. po stволу lipy serdtsel'istnoi v poimennykh i vodorazdel'nykh lipnyakakh Respubliki Mari El / Yu. G. Suetina // Samarskii nauchnyi vestnik. – 2021. – Т. 10, № 4. – С. 118–122.
11. Suetina, Yu. G. Sravnenie struktury populyatsii i raspredeleniya sloevishch *Evernia prunastri* (L.) Ach. po stволу lipy serdtsel'istnoi v zatenennom poimennom lipnyake za period 2008–2017 godov / Yu. G. Suetina // Samarskii nauchnyi vestnik. – 2021. – Т. 10, № 2. – С. 99–103.
12. Suetina, Yu. G. Dinamika struktury populyatsii epifitnykh lishainikov *Evernia prunastri* (L.) Ach. i *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. na lipе serdtsel'istnoi v poimennom lipnyake reki Bol'shaya Kokshaga / Yu. G. Suetina // Samarskii nauchnyi vestnik. – 2019. – Т. 8, № 1. – С. 110–115.
13. Tsurikov, A. G. Listovatyie i kustistyie gorodskie lishainiki : atlas-opredelitel' / A. G. Tsurikov, O. M. Khranchenkova. – Gornel' : GGU im. F. Skoriny, 2009. – 123 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 16.09.2025

УДК 597/599:574

DOI 10.63874/2218-0311-2025-2-28-37

Виктор Трофимович Демянчик¹, Виктор Викторович Демянчик²¹канд. биол. наук, доц., зав. лаб. оптимизации экосистем

Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси

²ст. науч. сотрудник лаб. биогеохимии

Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси

Viktar T. Dziamianchyk¹, Viktar V. Dziamianchyk²¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,Head of the Laboratory of Ecosystem Optimization of the Polesie Agrarian Ecological Institute
of National Academy of Sciences of Belarus²Senior Researcher of the Laboratory of Biogeochemistry

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

e-mail: ¹koktebel.by@mail.ru; ²koktebel.by@gmail.com

О ВЫВОДКОВЫХ КОЛОНИЯХ НЕТОПЫРЯ ЛЕСНОГО *PIPISTRELLUS NATHUSII* И НЕТОПЫРЯ МАЛОГО *PIPISTRELLUS PYGMAEUS* НА ФОНЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ВЕСЕННЕЙ ЗАСУХИ

Изучена экология выводковых колоний *Pipistrellus nathusii* и *P. pygmaeus* в 2023–2024 гг. в условиях нормального и засушливого весенне-летних сезонов на юго-западе Беларуси. Установлены существенные различия в фенологии и численности пяти многолетних смешанных выводковых колоний *P. nathusii* и *P. pygmaeus* на юго-западе и севере Брестской области. В период сильной весенне-летней засухи 2023 г. (по сравнению с нормальным сезоном 2024 г.) на севере отмечено снижение численности самок-рождениц на более чем 40 % и полное прекращение размножения, запаздывание срока массовых родов на не менее чем на 20 дней, прекращение размножения малочисленных выводковых колоний. Выявлены межвидовые и внутривидовые морфологические отличия и степень инвазированности эктопаразитами. Выявлена зависимость активности размножения самок *P. nathusii* и *P. pygmaeus* от обилия мелких насекомых Diptera и количества атмосферных осадков в мае.

Ключевые слова: засуха весной и летом, размножение, *Pipistrellus nathusii*, *Pipistrellus pygmaeus*, Беларусь, Брестская область.

About the Breeding Colonies of the *Pipistrellus Nathusii* and *Pipistrellus Pygmaeus* in Case of an Extreme Spring Drought

The ecology of breeding colonies of *Pipistrellus nathusii* and *P. pygmaeus* was studied in 2023–2024 under normal and dry spring-summer conditions in the south-west of Belarus. Significant differences in the phenology and abundance of 5 long-term mixed breeding colonies of *P. nathusii* and *P. pygmaeus* in the south-west and north of the Brest region were established. During the severe spring-summer drought of 2023, compared to the normal season of 2024, the following was observed in the north: a decrease in the number of female primiparous birds by more than 40 % and a complete cessation of reproduction; a delay of at least 20 days in the timing of mass births; and a cessation of reproduction in small brood colonies. Inter- and intra-species morphological differences and the degree of ectoparasitic infestation were identified. The reproductive activity of *P. nathusii* and *P. pygmaeus* females was found to depend on the abundance of small Diptera insects and the amount of precipitation in May.

Key words: Spring and summer drought, reproduction, *Pipistrellus nathusii*, *Pipistrellus pygmaeus*, Belarus, Brest Region.

Введение

Летучие мыши являются одной из наиболее высокоорганизованных и широко распространенных семейств млекопитающих юго-запада Беларуси. Вместе с тем известна повышенная чувствительность этих животных к различным проявлениям антропогенной трансформации окружающей среды [1]. В отличие от других млекопитающих Беларуси летучие мыши прямо (погибают при низких температурах) и косвенно (недоступность кормов при низких температурах) лимитированы погодными-климатическими условиями, и прежде всего в холодные сезоны года. Состоявшиеся в последние десяти-

летия климатические изменения отразились на разных группах и видах флоры и фауны Беларуси [2]. Конкретные реакции летучих мышей на метеоклиматические изменения в весенне-летние сезоны изучены недостаточно. Поэтому представляется актуальным оценить отклики репродуктивной биологии наиболее многочисленных видов летучих мышей юго-запада Беларуси и лесной зоны Европы на современные метеоклиматические изменения в связи с потеплением.

Цель статьи – оценка экологии многолетних выводковых колоний нетопыря лесного *Pipistrellus nathusii* и нетопыря малого, или пигмея *P. pygmaeus*, в обычный и засушливый сезоны на юго-западе Беларуси.

Исследования проведены в 2023–2024 гг., для сравнения использованы личные и литературные данные за 2010–2023 гг. Изучение колоний *Pipistrellus*, *sp* проводилось на двух постоянных площадках наблюдений (ППН) «Пятый форт» и «Цитадель» (станционар Брест) и двух ППН «Устье» и «Насосная» (станционар Выгонощи в Ивацевичском р-не Брестской обл.); расстояние между стационарами по прямой – 165 км.

Учеты летучих мышей на стационарах проводились в ходе обследования потенциальных и реальных убежищ в дневное время, регистрации видов и особей – ультразвуковыми детекторами Stags-electronic, D-200 и D-240 Peterson в вечерние и ночные часы. Целенаправленно проводился непосредственный учет численности особей летучих мышей в выводковых колониях и скоплениях в 2023–2024 гг. одновременно двумя–четырьмя специалистами на расстоянии трех–семи м от летков убежища. Для контрольных отловов были использованы паутинные сети площадью 10×2 и 5×3 м.

Для идентификации особей и оценки экологических особенностей видов летучих мышей использованы литературные источники [3–9; 13].

Обилие двукрылых и многообразие других потенциальных кормов оценивалось по методу «ловли на себе» и другими способами [10; 11]. Общая оценка эктопаразитов пойманных особей нетопырей проводилась по известным методикам [12].

Метеорологические показатели использованы по данным метеостанции Брест (Тересполь) и метеостанции Барановичи, расположенной северо-восточнее, в 50 км от стационара Выгонощи.

Основная часть

Многолетние колонии *P. nathusii* и *P. pygmaeus* на изученных ППН известны по меньшей мере с 2010 г. Площадь каждой из четырех ППН условно определена в 1 км². Результаты современной оценки особенностей ландшафтов и природопользования ППН показаны в наших недавних публикациях [14].

Сходство структуры всех четырех ППН заключается в следующих чертах: наличие лесных, луговых и водных биоценозов, рекреационной или историко-мемориальной застройки, искусственных водотоков и гидротехнических сооружений; отсутствие производственных объектов, типичной жилищной застройки; минимальное присутствие людей и техногенных шумов в темное время суток; многолетнее обитание колоний летучих мышей.

Современные климатические изменения на юго-западе Беларуси в теплые периоды года, как и на всей южной части страны, отличаются периодическими засухами [2]. Наиболее стабильная засуха на большей части региона наблюдалась в мае 2023 г. Но эта засуха не проявилась на стационаре Брест (83,6 мм осадков) (таблица 1).

Более критичная ситуация наблюдалась на северо-западе региона. По свидетельству старожилов, на стационаре Выгонощи за этот месяц не было ни одного дождя, и такая экстремальная майская засуха проявилась здесь впервые за 30 лет. Даже на ближайшей к Выгонощам метеостанции Барановичи майское количество осадков в 2023 г. составило всего 9 мм (таблица 1).

Таблица 1 – Метеорологические показатели на юго-западе и севере Брестской области в апреле–июле 2023 и 2024 гг.

Год	Месяц	Т, °С			Средняя относительная влажность, %	Количество осадков, мм/м ²
		средн.	мин.	макс.		
Метеостанция Брест						
2023	апрель	8,8	−3,2	21,2	71,19	43,5
	май	13,2	−0,5	25,5	62,39	83,6
	июнь	17,2	3,3	28,6	74,49	140,1
	июль	19,8	9,1	33	70,37	71,6
	3-я декада мая	16	4,9	25,5	60,89	44
	1-я декада июня	17,9	3,3	26,7	73,53	49,1
2024	апрель	10,9	−0,9	26,2	69,59	51
	май	16,1	0,1	27,5	58,4	32,7
	июнь	18,8	9,4	32,9	73,58	113
	июль	21,6	9,4	31,9	70,6	105,2
	3-я декада мая	19,5	8,4	27,5	61,47	10,1
	1-я декада июня	16,9	10,4	23,8	82,34	34,6
Метеостанция Барановичи						
2023	апрель	8,7	−3	21	68,83	44
	май	14,1	0	25	54,88	9
	июнь	18,9	4	28	62,3	116
	июль	19,3	9	32	67,1	71
	3-я декада мая	17,4	6	25	52,48	0
	1-я декада июня	17,9	4,1	27	50,79	0,8
2024	апрель	10,4	0	26	74,18	76
	май	17,9	2	28	55,66	27
	июнь	19,7	8	31	66,46	90
	июль	21,3	10	33	69,82	113
	3-я декада мая	22,3	10	31	61,43	4,7
	1-я декада июня	21,3	10	30	63,97	10,8

В 2023 г. выводковые колонии на ППН Бреста сформировались в обычные (для последних лет) сроки и массовые роды *Pipistrellus* прошли в первой – начале второй декады июня. В прошлые десятилетия массовые роды у *Pipistrellus* в Беларуси приходились значительно позднее «на конец июня – начало июля» [9, с. 85]. При этом колония на ППН «Пятый форт» в первых числах июня 2023 г. насчитывала более 340 самок, что является рекордной (по нашим и литературным данным) величиной для этого показателя в Беларуси [7; 9; 14].

Самки *Pipistrellus* на стационаре Брест имели достаточную упитанность, а по некоторым литературным данным [13] даже максимальный вес – 9 г (таблица 2). У шести обследованных беременных самок на наружных покровах вообще не найдено эктопаразитов (таблица 2). Известно, что основу корма *Pipistrellus* составляют мелкие двукрылые *Diptera* [3; 7; 9]. На обоих ППН Бреста в конце мая – начале июня 2023 г. отмечалось значительное обилие прежде всего *Diptera*: более шести особей за одну минуту на открытой руке (30 ос./5 мин.). Столь же успешно и в ранние сроки протекало формирование двух (трех?) выводковых колоний обоих видов *Pipistrellus* и на ППН «Цитадель» стационара Брест.

Таким образом, сезон 2023 г. для выводковых колоний *Pipistrellus* стационара Брест был весьма благоприятным, что совпадало с нормальной увлажненностью и обильной кормовой базой (таблицы 1, 2).

Таблица 2 – Вес (г), отдельные морфометрические показатели беременных на последней стадии самок *Pipistrellus pygmaeus* и *P. nathusii* на ППН «Пятый форт» стационара Брест от 08.06.2023, мм

Показатели (коды*)	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>			<i>P. nathusii</i>
	♀ № 1	♀ № 2	♀ № 3	♀ № 4
Вес	6,0	7,0	4,8	9,0
Предплечье (FA)	30,3	31,5	30,8	35,0
5-й палец (D5)	35,4	37,1	34,2	44,2
Травмы покровов и т. п.	нет	нет	нет	нет
Заклещевленность покровов	нет	нет	нет	нет

Примечание – * – Коды показателей приведены по [4].

Таблица 3 – Вес (г), морфометрия (мм), инвазированность эктопаразитами взрослых самок нетопыря лесного *Pipistrellus nathusii* на ППН «Устье» (стационар Выгонощи) в 2023 г. и 2024 г.

Показатели (коды*)	Год				x̄
	2023		2024		
	♀ ad № 1 беременная	♀ ad № 2 яловая (?)	♀ ad № 3 лактирован-ная	♀ ad № 4 лактирован-ная	
Вес	7,0	7,0	6,23	5,79	6,5
Предплечье (FA)	35,1	35,3	35,5	34,2	35,02
1-й палец (D1)	5,4	5,0	5,0	5,1	5,12
Коготь 1-го пальца	1,1	0,8	1,6	0,7	1,05
5-й палец (D5)	44,2	44,1	43,6	43,0	43,72
Длина тела (L)	50,0	46,0	52,0	44,0	48,0
Длина хвоста (C)	39,0	36,2	41,0	38,0	38,55
Длина крыла (D3)	63,8	62,2	66,1	64,3	64,1
Длина уха (ear L)	11,2	11,3	9,5	11,1	10,77
Ширина уха (ear W)	6,2	6,3	7,6	7,6	6,92
Длина козелка (trag L)	4,1	3,9	4,9	5,3	4,55
Ширина козелка (trag W)	1,2	1,1	1,6	2,2	1,52
Длина голени (Tib)	13,3	13,1	14,2	12,8	13,35
Длина ступни (Pl)	7,3	7,3	7,9	7,6	7,52
Ширина развернутой ступни	8,8	8,8	8,7	7,6	8,47
Размах крыльев	244	245	265	250	251
Травмы покровов и т. п.	Старый разрыв края и отверстие патагиума	Нет	Абберация ушей	нет	–
Заклещевленность покровов	Клещи на спине – 15 ос., на брюшке – 17 ос., блохи – 2 ос.	Клещи на спине – 32 ос., на брюшке – 55 ос.	Клещи на спине – 33 ос., на брюшке – 98 ос., блоха – 1 ос.	Клещи на спине – 20 ос., на брюшке – 12 ос.	71,25

Сезон выводковых колоний *Pipistrellus* на стационаре Выгонощи в 2023 г. отличался продолжительной засухой не только в мае, но и в начале лета. За 20 дней в конце мая – начале июня 2023 г. на ближайшей к Выгонощам метеостанции Барановичи выпало всего 0,8 мм осадков. В отличие от Бреста в зоне Выгонощ в мае–июне воздух был относительно сухой (таблица 1). В сезон 2023 г. у *P. nathusii* на ППН «Устье» колония была малочисленной (около 20 самок). Массовые роды у них начались почти на 20 дней позже брестских *P. nathusii* и примерно на столько же дней – по сравнению

с сезоном 2024 г. (таблицы 2–4). В последней декаде июня 2024 г. в этой же колонии на ППН «Устье» в массе отмечались хорошо летающие (28–30-дневные) молодые особи *P. nathusii* (таблицы 3, 4). В 2023 г. в эти сроки в немногочисленной колонии отмечены только беременные самки, часть из них, по-видимому, оставались яловыми (таблица 3). По сравнению с нормальными сезонами численность самок в 2023 г. на ППН «Устье» снизилась более чем на 40 %.

В засушливый сезон 2023 г. признаков размножения *Pipistrellus* на второй ППН стационара Выгонощи – «Насосная» – не установлено. На ППН «Насосная» в обычные годы обитает относительно немногочисленная колония *Pipistrellus*: 10–20 самок. Подобный «пропуск» в размножении *Pipistrellus* на «Насосная» отмечен впервые за последние 10 лет.

Низкая репродуктивная активность и запоздалые сроки родов самок *Pipistrellus* на стационаре Выгонощи в 2023 г. совпали с очень низким обилием двукрылых *Diptera*, обилие кровососов-двукрылых на 26.06.2023 составило 0,1 ос./5 мин, в то время как на стационаре Брест ППН «Пятый форт» 08.06.2023 обилие кровососов-двукрылых было очень высоким – 30 ос./5 мин.

В сезон 2024 г. относительная влажность воздуха и количество осадков на обоих стационарах почти выровнялось, при этом по температурам воздуха на более «северном» стационаре Выгонощи было теплее, чем в Бресте (таблица 1). Примерно одинаковым было и обилие кровососов-двукрылых.

На стационаре Брест (ППН «Пятый форт») – 24 ос./5 мин., 21.06.2024, на стационаре Выгонощи (ППН «Устье») – 26 ос./5 мин., 28.06.2024. Фенология начала – середины массовых родов *P. nathusii* и *P. rugmaeus* на модельных ППН Бреста («Пятый форт») и Выгонощ («Устье») также была почти одинаковой: в последнюю декаду июня 2024 г. в обеих колониях свыше 60 % отловленных особей составили хорошо летающие молодые зверьки (таблица 4). При этом в выводковой колонии *P. nathusii* на ППН «Насосная» сроки родов были сильно «растянутыми»: разница возраста детенышей составляла не менее 22 дней.

Сравнительно многочисленными выводковые колонии *Pipistrellus* в 2024 г. были на обоих стационарах. При этом выводковая колония ППН «Устье» в сезон 2024 г. была самой многочисленной за все годы наших наблюдений и 28.06.2024 насчитывала не менее 135 самок и молодых неполнорослых *P. nathusii* и *P. rugmaeus*. Следует подчеркнуть, что в благоприятный по погодным и кормовым условиям сезон в 9 км от Выгонощанского озера на окраине деревни Бобровичи зарегистрирована одна из крупнейших выводковых колоний *Pipistrellus* в регионе. 12.06.2013 в этой колонии было 208 самок [14].

Вес, морфометрия, заклещевленность лактирующих самок *P. rugmaeus* в стадии массового вылета подросших детенышей на самостоятельную кормежку показаны в таблице 5. В Австрии вес самок ($n = 24$) *P. rugmaeus* составлял 3–7 г [13]. На наших стационарах вес самок этого вида (перед вечерней кормежкой) составил 4–5,43 г, что объяснимо значительными энергетическими затратами в состоянии лактации (таблица 5). Беременная самка *P. rugmaeus* из колонии «Пятый форт» имела максимальный вес – 7 г (таблица 2).

Самки *P. rugmaeus* на стационаре Брест оказались несколько крупнее, чем на стационаре Выгонощи, по большинству морфометрических показателей (таблица 5). Вес изученных детенышей *P. nathusii* примерно соответствовал нормальным величинам. В условиях качественного кормления в искусственных условиях в возрасте 17 дней вес троих детенышей этого вида составлял 2,5–3,5 г [15], а на ППН «Насосная» вес изученного детеныша был 2,21 г (таблица 4).

Таблица 4 – Вес (г), морфометрия (мм), инвазированность эктопаразитами подсосных и неполнорослых молодых *Pipistrellus rufus* и *P. nathusii* на стационарах Брест и Выгоны, в 2024 г.

Показатели (коды*)	<i>Pipistrellus rufus</i> , ППН «Пятый форт», стационар Брест						<i>Pipistrellus nathusii</i> , стационар Выгоны, 28.06.2024		
	20.06.2024	25.06.2024				28.06.2024	ППН «Насосная»	ППН «Устье»	
	♂ №1, 1–2 дневн.	♀ №2, 18–20 дневн.	♂ №3, 19–21 дневн.	♂ №4, 20–22 дневн.	♂ №5, 22–24 дневн.	♂ №6, 21–23 дневн.	♂ №7, 18–20 дневн.	♀ №8, 1–3 дневн.	♀ №9, 17–22 дневн.
Вес		1,83	2,15	2,12	2,90	≥1,92	1,61	1,11	2,21
Предплечье (FA)	8,7	19,1	18,5	19,3	22,4	22,7	18,3	12,6	25,3
1-й палец (D1)	4,2	4,3	4,1	3,9	3,6	4,2	3,6	3,9	4,7
Коготь 1-го пальца	0,9	0,4	0,5	0,6	0,4	0,8	1,0	0,4	0,6
5-й палец (D5)		16,7	15,5	17,0	20,8	20,5	16,8	9,5	24,8
Длина тела (L)	20,8	31,8	32,4	32,7	35,6	34,8	30,6	28,4	38,0
Длина хвоста (C)	8,0	13,0	12,2	16,6	20,4	13,6	15,0	12,7	18,0
Длина крыла (D3)	11,1	20,7	22,2	24,0	29,0	28,0	23,1	14,7	35,0
Длина уха (ear L)		6,1	7,1	7,3	7,7	6,0	6,0	5,0	8,1
Ширина уха (ear W)		4,6	3,2	3,7	4,9	4,8	3,1	3,4	5,9
Длина козелка (trag L)		3,4	2,8	3,4	3,7	3,4	3,2	2,3	3,0
Ширина козелка (trag W)		1,1	1,4	1,3	1,1	1,1	1,7	1,1	1,1
Длина голени (Tib)	5,4	7,5	8,1	8,3	9,3	8,0	7,7	6,4	10,3
Длина ступни (Pl)	5,3	7,0	6,6	6,6	7,6	5,3	5,5	6,0	6,3
Ширина развернутой ступни		6,1	7,5	6,3	6,3	5,8	4,6	6,3	6,8
Размах крыльев		120	125	125	148	135	112	84	≥130
Заклепленность покровов	нет	нет	3 ос. клеща	6 ос. клещей	нет			нет	нет
									12 ос. клещей

Примечание – *Коды показателей приведены по [4].

Неполнорослый молодой, начинающий самостоятельно летать в возрасте 27–30 дней в естественных условиях ППН «Устье» имел вес 3,78 г, а три более взрослые (40 дней) в искусственных условиях весили значительно меньше 2,78–3,21 грамм (таблица 4) [15].

Паразитарный груз, приходящийся на инвазированных особей нетопырей, определялся крайне неравномерно и зависел от года исследований, местности, вида и возраста *Pipistrellus*. С учетом всех видов эктопаразитов общая зараженность взрослых самок в «нормальный» 2023 г. составила для ППН «Пятый форт» у *P. pygmaeus* и *P. nathusii* – 0 (таблица 2), а в «засушливый» (2024 г.) для этого стационара у *P. pygmaeus* составила 100 % (таблица 5). Но и в «засушливый» год на ППН «Пятый форт» количество эктопаразитов всех видов, одновременно находившихся на одной особи, было относительно небольшим и варьировало от 15 до 33 (таблица 5).

Таблица 5 – Вес (г), морфометрия (мм), инвазированность эктопаразитами взрослых самок нетопыря малого *Pipistrellus pygmaeus* на ППН «Устье» (стационар Выгонощи) и ППН «Пятый форт» (стационар Брест) в 2024 г.

Показатели (коды*)	28.06.2024, ППН «Устье»		21.06.2024, ППН «Пятый форт»			$\bar{x}$
	♀ ad № 1 лактир.	♀ ad № 2 лактир.	♀ ad № 3 лактир.	♀ ad № 4 лактир.	♀ ad № 5 лактир.	
Вес	4,14	5,43	5,26	4,78	4,0	4,72
Предплечье (FA)	30,4	29,3	31,6	31,5	32,0	30,96
1-й палец (D1)	4,0	4,9	4,3	4,0	3,8	4,2
Коготь 1-го пальца	0,9	0,6	0,3	0,4	0,5	0,54
5-й палец (D5)	35,9	36,0	37,5	36,1	37,0	36,5
Длина тела (L)	43,0	42,0	42,1	42,0	43,1	42,44
Длина хвоста (C)	31,0	32,0	33,6	32,0	32,0	32,12
Длина крыла (D3)	53,2	52,5	53,9	54,3	53,0	53,38
Длина уха (ear L)	9,9	10,4	11,1	10,4	9,8	10,32
Ширина уха (ear W)	5,2	6,2	6,2	4,5	5,3	5,48
Длина козелка (trag L)	4,8	4,5	4,2	5,4	4,3	4,64
Ширина козелка (trag W)	1,3	1,4	1,7	1,5	1,5	1,48
Длина голени (Tib)	11,8	11,0	11,4	11,2	12,2	11,52
Длина ступни (Pl)	6,8	6,7	5,5	6,5	6,2	6,34
Ширина развернутой ступни	5,3	6,7	8,1	7,5	6,3	6,78
Размах крыльев	216	210	225	224	226	220,2
Травмы покровов и т. п.	нет	нет	нет	нет	4 мелких отверстия на патаги- уме	–
Заклецовленность покровов	7 клещей на туло- вище	1 клещ на туловище	7 клещей на туло- вище, 8 клещей на патагиуме	11 клещей на туло- вище, 22 клещей на патагиуме	6 клещей на туло- вище, 11 клещей на патагиуме	14,6

На ППН «Устье» общая зараженность изученных самок *Pipistrellus* и в 2023, и в 2024 г. составляла 100 %. Общее количество эктопаразитов у самки *P. nathusii* в 2024 г. составило значительную величину – 132 (таблица 3). Известно, что даже у более крупных летучих мышей, например, максимальное количество эктопаразитов на одной особи у вечерницы рыжей *Nyctalus noctula* составило 100 [12]. В результате контаминации паразитов в разной мере зараженными оказывались и неполнорослые молодые *Pipistrellus* (таблица 4).

Самки *P. pygmaeus* из ППН «Пятый форт» в 2024 г. оказались в большей мере инвазированы эктопаразитами по сравнению с ППН «Устье», все три особи этой выборки по числу собранных нами клещей превышали среднюю величину (14,6 ос.) (таблица 5). Превышение заклещевленности самок *P. pygmaeus* ППН «Пятый форт» по сравнению с ППН «Устье», вероятно, обусловлено большей просторностью микрорастений (большое здание) на ППН «Устье».

Инвазированность эктопаразитами у *P. nathusii* по сравнению с *P. pygmaeus* оказалась значительно выше и доходила до 131 клеща и 1 насекомого-паразита на одной самке (таблица 3). Самки нетопырей в поздних стадиях беременности отличались минимальной заклещевленностью.

В таблицах 2–5 показаны значения и других показателей морфометрии взрослых самок и молодых особей, статистический анализ которых предполагает больший статистический материал.

Заключение

Таким образом, установлены существенные различия в фенологии и численности пяти многолетних смешанных выводковых колоний *P. nathusii* и *P. pygmaeus* на юго-западе и севере Брестской области. В период сильной весенне-летней засухи 2023 г. (по сравнению с нормальным сезоном 2024 г.) на севере отмечено: снижение численности самок-рожиц на более чем 40 % и полное прекращение размножения; запаздывание срока массовых родов на не менее, чем 20 дней; прекращение размножения малочисленных выводковых колоний. Выявлены межвидовые и внутривидовые морфологические отличия и степень инвазированности эктопаразитами.

Отмечена общая зависимость активности размножения самок *P. nathusii* и *P. pygmaeus* от обилия мелких насекомых *Diptera*. Определена зависимость конкретного влияния атмосферных засух на относительно многочисленные виды летучих мышей Беларуси *P. nathusii* и *P. pygmaeus*. При снижении субрегионального количества атмосферных осадков в мае до 10–15 мм и ниже в многолетних многочисленных колониях происходило сокращение числа размножающихся самок *Pipistrellus* sp. на 40 % и больше, в многолетних малочисленных колониях *P. nathusii* самки к размножению не приступали.

В ходе полевых исследований неоценимая помощь оказана М. Г. Демянчик, В. П. Рабчуком, Д. А. Кунаховец, О. С. Гродой и другими помощниками, за что им выражаем искреннюю благодарность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных. – 4-е изд. / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь ; редкол.: В. В. Андриевич (гл. ред.) [и др.]. – Мн. : БелЭн, 2015. – 320 с.
2. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Мн. : Энциклопедикс, 2020. – С. 122.
3. Görner, M. Säugetiere Europas / M. Görner, H. Hackethal. – Leipzig ; Radebeul : Neumann, 1987. – 371 s.

4. Dietz, C. Illustrated identification key to the bats of Europe / 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).
5. Демянчик, В. В. Синантропный экологический комплекс и структура населения позвоночных на селитебных территориях Белорусского Полесья / В. В. Демянчик, М. Е. Никифоров // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2017. – Ч. 3. – С. 7–18.
6. 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.
7. Демянчик, В. Т. Рукокрылые Беларуси : справ.-определитель / В. Т. Демянчик, М. Г. Демянчик. – Брест : С. Б. Лавров, 2000. – 216 с.
8. Lesiński, G. Charakterystyka miejskiego zgrupowania nietoperzy Warszawy / G. Lesiński, E. Fuszara, M. Kowalski // Nietoperze. – 2001. – Vol. 2, nr 1. – S. 3–17.
9. Курсков, А. Н. Рукокрылые Белоруссии / А. Н. Курсков. – Мн. : Наука и техника, 1981. – 135 с.
10. Логинов, Д. Н. Нападающий комплекс кровососущих комаров (Diptera: Culicidae) на территории Белорусского Полесья / Д. Н. Логинов, Т. В. Волкова // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2019. – № 6 (117). – С. 56–60.
11. Сбор, учет и подготовка к лабораторному исследованию кровососущих членистоногих в природных очагах опасных инфекционных болезней : метод. указания / Роспотребнадзор ; ред.: Л. С. Кучурова. – М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 55 с.
12. Малявина, М. С. Структура сообществ эктопаразитов рукокрылых рода *Nyctalus* (Chiroptera: Vespertilionidae) Жигулевского государственного заповедника и Национального парка «Самарская Лука» (Европейская Россия) / М. С. Малявина, Д. Г. Смирнов // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2024. – № 9 (2). – С. 1–23.
13. 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.
14. Демянчик, М. Г. Формирование выводковых колоний в ЛОХ «Выгоновское» / М. Г. Демянчик // Беловежская пушта : исслед. – Брест, 2017. – Вып. 15. – С. 174–180.
15. Новичкова, В. И. Опыт успешного выращивания троих детенышей самкой лесного нетопыря (*Pipistrellus nathusii*) / В. И. Новичкова, О. Г. Ильченко // Млекопитающие в меняющемся мире: актуальные проблемы териологии : материалы конф. с междунар. участием «XI съезд териологического общества при РАН», Москва, 14–18 марта 2022 г. – М. : КМК, 2022. – С. 254.

REFERENCES

1. Krasnaya kniga Respubliki Belarus'. Zhivotnye: redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya vidy dikikh zhivotnykh. – 4-e izd. / M-vo prirod. resursov i okhrany okruzhayushchei sredy Resp. Belarus' ; redkol.: V. V. Andrievich (gl. red.) [i dr.]. – Mn.: BeLEn, 2015. – 320 s.
2. Loginov, V. F. Izmenenie klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya / V. F. Loginov, S. A. Lysenko, V. I. Mel'nik. – Mn. : Entsiklopediks, 2020. – S. 122.
3. Görner, M. Säugetiere Europas / M. Görner, H. Hackethal. – Leipzig ; Radebeul : Neumann, 1987. – 371 s.
4. Dietz, C. Illustrated identification key to the bats of Europe / 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).
5. Demyanchik, V. V. Sinantropnyi ekologicheskii kompleks i struktura naseleniya pozvochnykh na selitebnykh territoriyakh Belorusskogo Poles'ya / V. V. Demyanchik, M. Ye. Nikiforov // Vestsi Natsyyanal'nai akadehmii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk. – 2017. – Ch. 3. – S. 7–18.

6. Kripticheskii vidovoi kompleks rukokrylykh *Plecotus auritus* / *austriacus* v Belarusi: vidovaya identifikatsiya i filogeograficheskie patterny / A. V. Shpak, Ye. E. Kheidorova, A. I. Larchenko [i dr.] // Molekulyarnaya i prikladnaya genetika. – 2020. – T. 29. – S. 59–69.
7. Demyanchik, V. T. Rukokrylye Belarusi : sprav.-opredelitel' / V. T. Demyanchik, M. G. Demyanchik. – Brest : S. B. Lavrov, 2000. – 216 s.
8. Lesiński, G. Charakterystyka miejskiego zgrupowania nietoperzy Warszawy / G. Lesiński, E. Fuszara, M. Kowalski // Nietoperze. – 2001. – Vol. 2, nr 1. – S. 3–17.
9. Kurskov, A. N. Rukokrylye Belorussii / A. N. Kurskov. – Mn. : Nauka i tekhnika, 1981. – 135 s.
10. Loginov, D. N. Napadayushchii kompleks krovososushchikh komarov (Diptera: Culicidae) na territorii Belorusskogo Poles'ya / D. N. Loginov, T. V. Volkova // Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny. – 2019. – № 6 (117). – S. 56–60.
11. Sbor, uchet i podgotovka k laboratornomu issledovaniyu krovososushchikh chlenistonogikh v prirodnykh ochagakh opasnykh infektsionnykh boleznei : metod. ukazaniya / Rospotrebnadzor ; red.: L. S. Kuchurova. – M. : Feder. tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2011. – 55 s.
12. Malyavina, M. S. Struktura soobshchestv ektoparazitov rukokrylykh roda *Nyctalus* (Chiroptera: Vespertilionidae) Zhigulevskogo gosudarstvennogo zapovednika i Natsional'nogo parka «Samarskaya Luka» (Evropeiskaya Rossiya) / M. S. Malyavina, D. G. Smirnov // Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka. – 2024. – № 9 (2). – S. 1–23.
13. 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.
14. Demyanchik, M. G. Formirovanie vyvodkovykh kolonii v LOKh «Vygonovskoe» / M. G. Demyanchik // Belovezhskaya pushcha : issled. – Brest, 2017. – Vyp. 15. – S. 174–180.
15. Novichkova, V. I. Opyt uspehnogo vyrashchivaniya troikh detenyshei samkoi lesnogo netopyrya (*Pipistrellus nathusii*) / V. I. Novikova, O. G. Il'chenko // Mlekopitayushchie v menyayushchemsya mire: aktual'nye problemy teriologii : materialy konf. s mezhdunar. uchastiem «XI syezd teriologicheskogo obshchestva pri RAN», Moskva, 14–18 marta 2022 g. – M. : KMK, 2022. – S. 254.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 14.10.2025

**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; ²schkuratova_n@tut.by; ³chi-riki@yandex.by

О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ГУМУСА И ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ СПОСОБНОСТЬЮ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ*

Рассмотрена сопряженность показателей гумусового состояния некоторых урбанизированных территорий юго-западной части Беларуси с их целлюлозолитической способностью. Показано, что связь между показателями носит преимущественно нелинейный характер и зависит от вида урбанизированной территории. Наиболее тесные взаимосвязи выявлены в почвах рекреационных территорий. В условиях более мощного техногенного и антропогенного воздействия теснота связей между признаками ослабевает.

Ключевые слова: гумус, почвы, урбанизированные территории, гуминовые кислоты, фульвокислоты, качество гумуса, разложение целлюлозы, биологическая активность почв, урбоэкология.

On the Relationship between Humus Indices and Cellulolytic Capacity of Some Soils of Urbanized Territories

The correlation of indicators of the humus state of some urbanized territories of the southwestern part of Belarus with their cellulolytic capacity is considered. It is shown that the relationship between the indicators is mainly nonlinear and depends on the type of urbanized area. The closest relationships have been identified in the soils of recreational areas. In conditions of more powerful man-made and anthropogenic impacts, the closeness of the links between the signs weakens.

Key words: humus, soils, urbanized territories, humic acids, fulvic acids, humus quality, cellulose decomposition, biological activity of soils, urban ecology.

Введение

Под влиянием урбанизации происходит значительная трансформация природных экосистем. Подвергаются изменению и почвы урбанизированных территорий, что влечет нарушение естественного почвообразовательного процесса [1]. Замещение естественных фитоценозов на искусственные, как правило монодоминантные, особенно на придорожных территориях, а также регулярное изъятие древесного опада и скошенной травы, обусловленное правилами содержания озелененных территорий [2], приводит к нарушению биогеохимического цикла питательных элементов.

**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 госрегистрации 20211453 от 20.05.2021).*

Особенностью почв урбанизированных территорий также является то, что верхняя, наиболее гумусированная, часть почвенного профиля почв урбанизированных территорий часто имеет искусственное происхождение, что особенно характерно для районов новой застройки, а также для реконструированных объектов. Основой для вновь создаваемой верхней части почвенного профиля часто служат органические материалы, сформировавшиеся в экологических условиях, резко отличающихся от условий городской среды, что находит отражение как в гумусированности почв данных территорий, так и их биологической активности. Снижение же объема биомассы, поступающей на поверхность почв урбанизированных территорий, может приводить не только к снижению гумусированности почв, механизмов и скоростей трансформации растительных остатков в почвах [1], но и к деградации почвенных микробценозов, в том числе и отвечающих за разложение органических веществ [3]. В работах А. Е. Ивановой [4] показано, что пул целлюлозолитических микроорганизмов, в том числе грибов, в урбаноземе находится в неактивном состоянии, тогда как увеличение опада приводит к увеличению биологической активности почв, но только на период разложения растительных остатков.

Также в ряде работ различных авторов указывается, что гумусовые вещества могут выступать как «депо» питательных веществ для почвенной микрофлоры. Соприженность активности почвенного целлюлозолитического комплекса с обеспеченностью почв гумусом часто упоминается в литературе, однако конкретные модели данного взаимодействия если и рассматриваются, то лишь в почвах сельскохозяйственного назначения, как, например, в работе В. В. Козловой [5]. Вопрос же сохранения связи гумусированности почв с их целлюлозолитической способностью в условиях урбанизированных территорий в литературе и вовсе не рассмотрен.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования выступили почвы урбанизированных территорий юго-западной части Беларуси с различным техногенным воздействием. Отбор почвенных образцов осуществлялся в период весна – осень 2021–2023 гг. Нами было проанализировано 46 смешанных почвенных образца, относящихся к придорожным территориям, – 22 образца, территориям, прилегающим к железнодорожному полотну (ЖД), – четыре образца, рекреационным территориям (парки, лесной массив, дворовые территории) – 10 образцов, территориям техногенных объектов (производственные предприятия, АЗС, котельная, автомойки) – 9 образцов, агрозем культурный (огородная почва), выступающая в качестве контроля – одна образец. Поскольку почвенные образцы отбирались в разное время, то для достижения равных показателей при определении целлюлозолитической способности почв они предварительно выдерживались в течение 30 дней в лабораторных условиях при постоянном достаточном поливе.

Метод эксперимента – аппликационный с использованием льняных пластинок [6]. Образцы почв урбанизированных территорий помещали в балконные цветочные горшки 60 × 15 × 20 см. Подготовленную льняную пластинку помещали вертикально в почвенный образец и плотно прижимали полотно, придавливая почвой, место разреза засыпали, так, чтобы льняная пластинка была полностью покрыта почвой. Время аппликации составило 30 дней. По убыли в весе судили об интенсивности процесса разрушения целлюлозы. В качестве контроля использовали скорость разложения льняной пластинки в почве агрозема культурного.

Ввиду большого объема материала определение целлюлозолитической способности исследуемых почв проводили поэтапно. В связи с этим прямое сравнение результатов, полученных на каждом из этапов работы, было бы нецелесообразно

[illegible]

Следует отметить, что снижение способности почв разлагать целлюлозу обычно проявляется в почвах с более высокой кислотностью, что, вероятнее всего, и приводит к угнетению данной способности почв. Также прослеживается тенденция на снижение интенсивности разложения органических веществ при повышении доли экстрагируемых фракций гумуса.

Применение регрессионного анализа выявило множественные нелинейные связи между фракционно-групповым составом гумуса и интенсивностью разложения целлюлозы. За приемлемые модели мы принимали модели с коэффициентом детерминации более 0,5.

Так, наиболее тесная связь выявлена между ЦЛС и содержанием фракции ГК-1, и графически она имела вид параболы (рисунок 1).

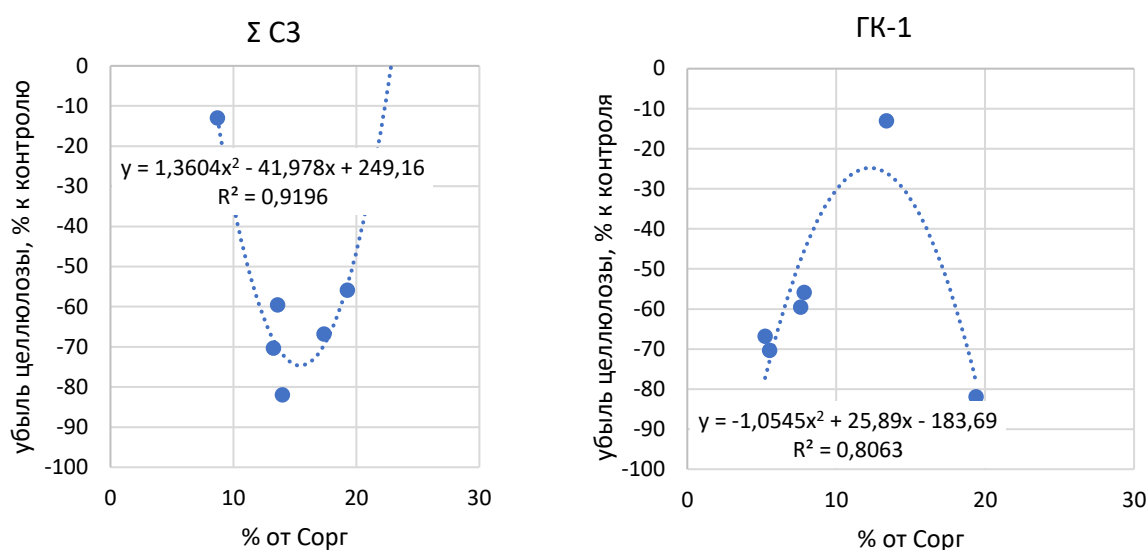


Рисунок 1 – Наиболее приемлемые регрессионные модели связей показателей гумуса и целлюлозолитической способности почв рекреационных и дворовых территорий

Средняя связь показателя целлюлозолитической активности почвы выявлена с содержанием подвижных фракций гумусовых веществ фульватной природы – ФК-1 и ФК-1а, а также с фракцией ГК-3 и показателем качества гумуса (Сгк/Сфк) и описывалась полиномиальной функцией (таблица 1). Связь между интенсивностью разложения целлюлозы и показателями суммы фульватных фракций гумуса, а также показателем Σ СЗ также была средней, а удовлетворительная корреляционная модель описывалась уже степенной функцией.

Также следует отметить слабую связь между валовым содержанием органического вещества в почве и активностью целлюлозолитического почвенного комплекса, что может свидетельствовать о нарушении экологических связей в почвах исследуемых рекреационных и дворовых территорий.

В почвах, прилегающих к железнодорожному полотну, обращает на себя внимание довольно высокая обеспеченность гумусом (5,33 %), что было наиболее высоким значением среди всех исследованных почв, а целлюлозолитическая способность этих почв была сильная – всего на 26,5 % ниже, чем в контроле.

Однако корреляционный анализ имеющихся данных снова не выявил значимой связи между показателем целлюлозолитической активности данных почв с их гумусированностью ($r = 0,35$).

Как следствие слабой связи отмечается, что почвенному образцу с наиболее высоким содержанием гумуса (6,12 %) соответствовала наиболее слабая способность данных почв к разложению органического вещества (51,9 %), и в то же время в почвенном образце, в котором отмечено наиболее полное разложение льняной пластинки (71 %), выявлено сопоставимо высокое содержание гумуса (6,09 %), что может свидетельствовать о значительном варьировании условий, влияющих на разложение целлюлозы.

Корреляционный анализ показателей почв, расположенных вдоль железнодорожного полотна, выявил наибольшее количество связей среди всех прочих вариантов исследуемых территорий (таблица 2).

Так, отмечается тесная отрицательная связь целлюлозолитической способности почв с почвенной кислотностью ($r = -0,81$), при этом следует учитывать, что диапазон варьирования кислотности данных почв был очень узким (рН 6,88–7,58). Также установлено рост показателя целлюлозолитической способности почв данной группы с повышением доли гумусовых веществ гуминовой группы в целом ($r = 0,85$).

На функциональное состояние целлюлозолитического комплекса организмов положительно сказывается и повышение доли отдельных фракций гуминовых веществ: ГК-1 ($r = 0,91$) и ГК-3 ($r = 0,96$).

Любопытно, что увеличение в составе гумуса доли фракции, связанной с кальцием, в почвах возле железных дорог приводит к ингибированию процесса разложения целлюлозы – $r_{\text{ФК-2}} = -0,98$, что в целом согласуется с обратной зависимостью ЦЛС и рН, поскольку нейтрализация почвенной кислотности происходит за счет накопления зольных элементов, в том числе закрепляемых во второй группе фракций.

В связи с тем, что фракционно-групповой состав гумуса почв железнодорожных объектов был установлен всего для трех почвенных образцов, проведение регрессионного анализа было нецелесообразным.

Регрессионный анализ был проведен лишь в отношении таких показателей, как реакция почвенной среды и валовое содержание гумуса.

Таким образом, была выявлена средняя связь между кислотностью изучаемых почв и интенсивностью разложения целлюлозы, тогда как связь показателя биологической активности изучаемых почв с их гумусированностью отсутствовала (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание и состав гумуса (X) почв, расположенных вдоль железнодорожного полотна, сопряженность с показателями целлюлозолитической активности почв (Y)

ЦЛС	рН	Сорг	ГК				ФК					НО	ГК/ФК	Σ C1	Σ C2	Σ C3
			1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ					
-26,5	7,43	3,09	4,03	4,41	8,4	16,84	0,83	3,97	2,17	6,86	13,84	69,32	1,33	8,83	6,58	15,26
$\pm 5,22$	$\pm 0,08$	$\pm 0,26$	$\pm 0,71$	$\pm 0,85$	$\pm 2,27$	$\pm 3,47$	$\pm 0,46$	$\pm 1,22$	$\pm 0,26$	$\pm 2,16$	$\pm 3,73$	$\pm 6,72$	$\pm 0,24$	$\pm 2,21$	$\pm 0,9$	$\pm 3,9$
$r_{\text{ЦЛС}}$	-0,81	0,35	0,91	0,17	0,96	0,85	–	0,57	-0,98	0,28	0,28	-0,60	0,21	0,61	-0,12	0,71
R^2_{XY}	0,61	0,13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
f	Пн	Пн	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Территории техногенных объектов были очень разнообразны по своему функциональному назначению.

Сюда мы относили почвы, прилегающие к автомойкам, автозаправочным станциям, котельной, заводским территориям строительной, энергетической, радиотехнической и др. направленности, а также прилегающей к месту складирования свинцовой золы. Разнообразие условий почв техногенных объектов способствовало значительному варьированию регистрируемых показателей, о чем свидетельствуют значения ошибок средних арифметических (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание и состав гумуса (X) почв территорий техногенных объектов, сопряженность с показателями целлюлозолитической активности почв (Y)

ЦЛС	рН	Сорг	ГК				ФК					НО	ГК/ФК	Σ С1	Σ С2	Σ С3
			1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ					
-41,47	7,85	1,71	7,58	5,52	8,01	21,11	3,3	7,24	4,5	9,8	24,83	54,06	0,94	18,12	10,02	17,8
$\pm 10,25$	$\pm 0,14$	$\pm 0,41$	$\pm 1,18$	$\pm 0,94$	$\pm 0,95$	$\pm 2,08$	$\pm 0,76$	$\pm 1,42$	$\pm 1,06$	$\pm 1,04$	$\pm 2,3$	$\pm 3,46$	$\pm 0,10$	$\pm 2,19$	$\pm 1,17$	$\pm 1,18$
$r_{цлс}$	0,36	0,12	0,06	0,47	0,30	0,34	0,15	0,34	0,08	0,44	0,47	-0,53	-0,2	0,32	0,38	0,58
R^2_{xy}	0,61	0,47	0,39	0,25	0,20	0,24	0,09	0,17	0,06	0,71	0,23	0,30	0,06	0,27	0,32	0,53
f	Пн	Пн	Пн	Лг	Пн	Пн	Лг	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн

Как следствие значительного варьирования регистрируемых показателей изучаемых почв техногенных объектов выявлено отсутствие тесной корреляционной связи между их целлюлозолитической способностью и гумусовыми показателями. Так, наиболее тесная связь была выявлена между ЦЛС и суммой фракций наиболее прочно связанной с минеральной основой почвы: $r = 0,58$, а корреляционная связь между ЦЛС и валовым содержанием гумуса и вовсе была одной из наиболее слабых: $r = 0,12$.

Варьирование значений регистрируемых показателей почв техногенных объектов также не позволило построить и приемлемые регрессионные модели. Наиболее приемлемыми были лишь две: описывающие нелинейную связь между интенсивностью разложения целлюлозы в почве и показателями содержания прочно связанных фракций гумуса (рисунок 2).

Умеренная связь целлюлозолитической активности почвы была выявлена также и с кислотностью изучаемых почв – $R^2 = 0,61$, которая описывалась следующим уравнением регрессии: $y = 197,72x^2 - 3078,8x + 11939$.

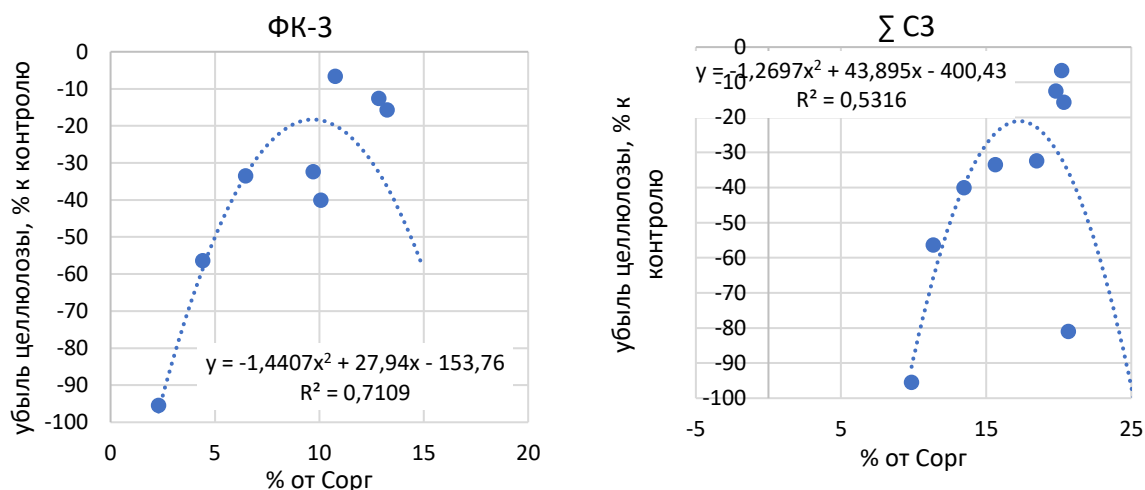


Рисунок 2 – Наиболее приемлемые регрессионные модели связей показателей гумуса и целлюлозолитической способности почв территорий техногенных объектов

Почвы придорожных территорий преимущественно характеризуются сложно диагностируемым генезисом, т. к. основой для них чаще всего является привнесённый материал, сформировавшийся в экологических условиях, резко отличающихся от условий городской среды. Значительное варьирование интенсивности техногенной и антропогенной нагрузки на фоне сложного генезиса данных почв не позволило выявить четкую корреляционную связь между гумусовыми показателями и интенсивностью разложения целлюлозы почв придорожных территорий. Следует отметить лишь

тенденции повышения их биологической активности при увеличении суммы гуминовых веществ в целом и фракции, прочно связанной с минеральной основой почв: ГК-3 ($r = 0,56$ и $r = 0,62$ соответственно), а также суммы прочно связанных гумусовых веществ: С3 ($r = 0,61$).

Прочие гумусовые характеристики существенного влияния в регулировании деятельности целлюлозолитического пула организмов не имели (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание и состав гумуса (X) почв придорожных территорий, сопряженность с показателями целлюлозолитической активности почв (Y)

ЦЛС	рН	Сорг	ГК				ФК					НО	ГК/ФК	Σ С1	Σ С2	Σ С3
			1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ					
-49,61	7,33	1,44	6,53	3,72	8,24	18,49	3,43	5,36	4,42	9,58	22,8	58,71	0,95	15,33	8,14	17,82
$\pm 6,79$	$\pm 0,08$	$\pm 0,18$	$\pm 0,74$	$\pm 0,62$	$\pm 1,1$	$\pm 1,56$	$\pm 0,76$	$\pm 0,56$	$\pm 1,12$	$\pm 1,28$	$\pm 2,12$	$\pm 2,46$	$\pm 0,12$	$\pm 1,3$	$\pm 1,39$	$\pm 1,89$
$r_{ЦЛС}$	-0,26	0,33	0,09	0,2	0,62	0,56	-0,46	0,33	-0,26	0,38	0,02	-0,33	0,03	-0,1	-0,12	0,61
R^2_{XY}	0,08	0,38	0,22	0,06	0,54	0,72	0,27	0,21	0,09	0,47	0,43	0,43	0,44	0,43	0,32	0,61
f	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн

Использование методов регрессионного анализа позволило выявить более тесные связи, имеющие нелинейный характер, а приемлемые регрессионные модели описывались полиномиальными уравнениями третьей степени, а коэффициент детерминации не превышал 0,72 (таблица 4, рисунок 3). Данные модели описывали связь между целлюлозолитической способностью почв придорожных территорий и содержанием суммы гумусовых веществ гуминовой природы (Σ ГК), а также суммарным содержанием прочносвязанных фракций гумуса (Σ С3).

Наличие в почвах придорожных территорий связей, имеющих сложный нелинейный характер, приводит к сложным режимам функционирования систем, определяет их способность к самоорганизации и обуславливает устойчивость и гибкую реакцию на внешние воздействия [12; 13].

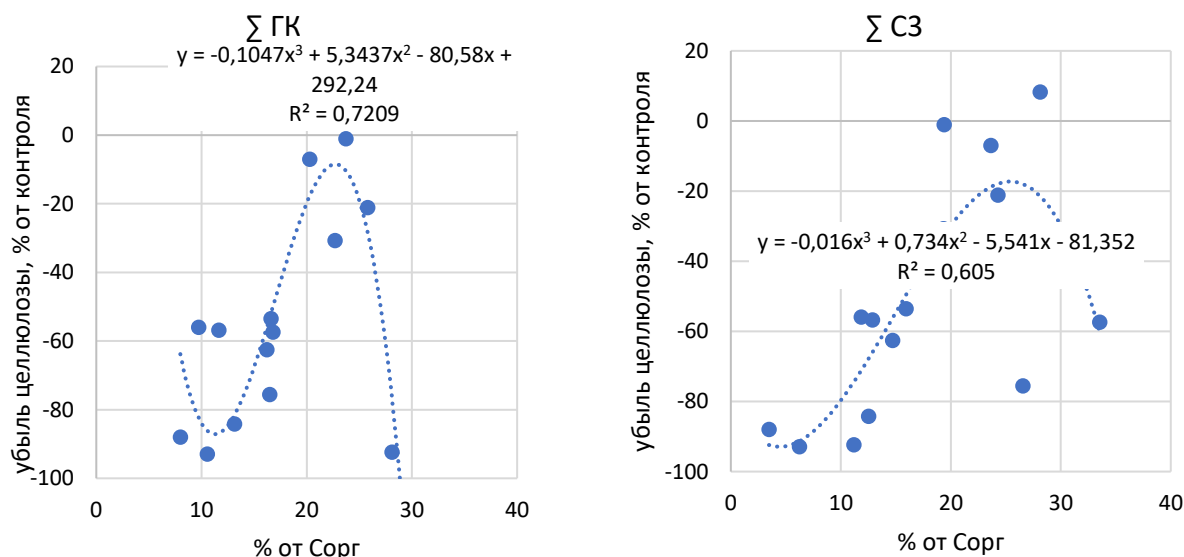


Рисунок 3 – Наиболее приемлемые регрессионные модели связей показателей гумуса и целлюлозолитической способности почв придорожных территорий

В то же время корреляционно-регрессионный анализ при оценке общего массива имеющихся данных без учета вида урбанизированных территорий тесных связей между изучаемыми признаками не выявил. Установлена умеренная связь между цел-

люлозолитической способностью почв и суммой прочносвязанных фракций гумуса и описывалась полиномиальным уравнением третьей степени (рисунок 4). Связь между изучаемыми признаками носила преимущественно характер тенденций.

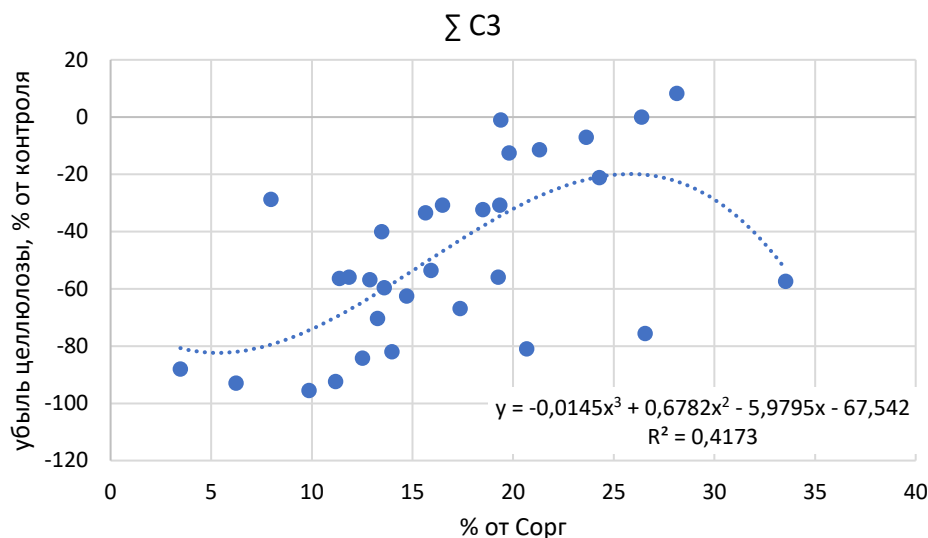


Рисунок 4 – Наиболее приемлемая регрессионная модель связи показателей гумуса и целлюлозолитической способности почв без учета вида урбанизированных территорий

Анализируя данные, сгруппированные по видам урбанизированных территорий, и учитывая рекреационные и дворовые территории отдельно, включив в анализ данные почвенного образца, используемого в качестве контроля, целлюлозолитическую способность которого принимали за ноль, было выявлено, что показатель способности почв к разложению органических веществ тесно связан не только с показателем валового содержания гумуса в почве, но и с целым рядом показателей фракционно-группового состава гумуса (таблица 5).

Таблица 5 – Коэффициенты корреляции и детерминации между гумусовыми показателями (X) почв урбанизированных территорий и показателями их целлюлозолитической активности (Y)

	рН	Сорг					ГК					ФК					НО	ГК/ФК	ΣC1	ΣC2	ΣC3
			1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ										
$r_{\text{цлс}}$	0,65	0,87	-0,81	-0,40	0,39	-0,87	-0,71	-0,87	-0,55	-0,27	-0,93	0,93	0,94	-0,83	-0,59	-0,13					
$R^2_{\text{ху}}$	0,42	0,77	0,78	0,18	0,54	0,83	0,59	0,86	0,41	0,10	0,87	0,87	0,95	0,80	0,53	0,67					
f	Лн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Лг	Пн	Пн	Пн	Лн	Лн	Пн	Пн	Пн	Пн					

Так, наиболее тесная корреляционная связь показателя ЦЛС отмечается с показателем качества гумуса: Сгк/Сфк ($r = 0,94$), долей негидролизующего остатка ($r = 0,93$) и общим содержанием фульвокислот. При этом рост доли фульвокислот в составе гумуса способствовал снижению показателя ЦЛС ($r = -0,93$). Способность почвы к разложению целлюлозы снижалась и при повышении экстрагируемости гумусовых веществ.

Повышение активности пула целлюлозолитических микроорганизмов отмечалось в почвенных образцах с более качественным составом гумуса. При этом повышение доли как отдельных фракций подвижных гумусовых веществ в составе гумуса (ГК-1, ФК-1, ФК-1a), так и их суммы (C1), что, как правило, было связано с ингибированием процесса разложения целлюлозы в почве.

Применение регрессионного анализа подтвердило наличие связи биологической активности почв с большинством гумусовых показателей (таблица 5). Анализ полученных данных свидетельствует о снижении биологической активности почв урбанизированных территорий по мере повышения экстрагируемости гумусовых веществ и увеличении доли подвижных фракций в составе гумуса.

Заклучение

Связь между целлюлозолитической способностью почв, содержанием и фракционно-групповым составом гумуса в исследованных почвах урбанизированных территорий юго-западной части Беларуси носит преимущественно нелинейный характер и зависит от вида урбанизированной территории.

Наиболее тесные связи выявлены в наименее трансформированных и подверженных техногенному и антропогенному воздействию почвах, формирующихся на основе зональных почв, – в почвах рекреационных территорий. С ростом техногенного и антропогенного влияния на почвенный покров урбанизированных территорий отмечается нарушение связи между гумусовыми показателями почв урбанизированных территорий и их способностью к разложению целлюлозы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смагин, А. В. Городские почвы / А. В. Смагин // Природа. – 2010. – № 7. – С. 16–23.
2. Об утверждении Правил содержания озелененных территорий // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Мн., 2020. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22035636> (дата обращения: 15.07.2025).
3. Лысак, Л. В. Бактериальные сообщества городских почв : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.03 / Лысак Людмила Вячеславовна. – М., 2010. – 304 л.
4. Иванова, А. Е. Изменение целлюлозолитической активности городских почв в связи с изъятием растительного опада (на примере Москвы) / А. Е. Иванова, В. В. Николаева, О. Е. Марфенина // Почвоведение. – 2015. – № 5. – С. 562–570.
5. Козлова, В. В. Влияние доз азотного удобрения и содержания гумуса на целлюлозо-разлагающую активность почвы в посевах озимой пшеницы / В. В. Козлова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3. – С. 104–107.
6. Мишустин, Е. Н. Определение биологической активности почвы / Е. Н. Мишустин, А. Н. Петрова // Микробиология. – 1963. – Т. 31, № 3. – С. 479–483.
7. Практикум по агрохимии : учеб. пособие / О. А. Амелянчик [и др.] ; под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
8. Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 272 с.
9. Домась, А. С. Оценка способности некоторых придорожных почв г. Бреста к разложению целлюлозы / А. С. Домась, М. Г. Рахуба, М. А. Колядич // Эволюция и деградация почвенного покрова : сб. науч. ст. по материалам VI Междунар. науч. конф., Ставрополь, 19–22 сент. 2022 года. – Ставрополь : СЕКВОЙЯ, 2022. – С. 178–181.
10. Домась, А. С. Целлюлозолитическая способность почв некоторых рекреационных территорий г. Бреста / А. С. Домась, М. Г. Рахуба, М. А. Колядич // Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение : материалы междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 60-летию НИЛ экологии ландшафта фак. географии и геоинформатики БГУ, Минск, 9–11 нояб. 2022 г. ; редкол.: Д. С. Воробьев (отв. ред.) [и др.]. – Мн. : БГУ, 2022. – С. 73–76.
11. Домась, А. С. Гумусовое состояние почв г. Бреста / А. С. Домась, Н. В. Шкуратова, И. Д. Лукьянчик // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 41–49.
12. Моделирование динамики органического вещества почв / А. В. Смагин [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 120 с.

13. Шеин, Е. В. Математическое моделирование в почвоведении / Е. В. Шеин, И. М. Рыжова. – М. : ИП Маракушев А. Б., 2016. – 377 с.

REFERENCES

1. Smagin, A. V. Gorodskie pochvy / A. V. Smagin // Priroda. – 2010. – № 7. – S. 16–23.
2. Ob utverzhdenii Pravil sodержaniya ozelenennykh territorii // Natsional'nyi pravovoi Internet-portal Respubliki Belarus'. – Mn., 2020. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=-12551&p0=W22035636> (data obrashcheniya: 15.07.2025).
3. Lysak, L. V. Bakterial'nye soobshchestva gorodskikh pochv : dis. ... d-ra biol. nauk : 03.02.03 / Lysak Lyudmila Vyacheslavovna. – M., 2010. – 304 l.
4. Ivanova, A. Ye. Izmenenie tsellyulozoliticheskoi aktivnosti gorodskikh pochv v svyazi s iz'yatiem rastitel'nogo opada (na primere Moskvy) / A. Ye. Ivanova, V. V. Nikolaeva, O. Ye. Marfenina // Pochvovedenie. – 2015. – № 5. – S. 562–570.
5. Kozlova, V. V. Vliyanie doz azotnogo udobreniya i sodержaniya gumusa na tsellyulozorazlagayushchuyu aktivnost' pochvy v posevakh ozimoi pshenitsy / V. V. Kozlova // Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2019. – № 3. – S. 104–107.
6. Mishustin, Ye. N. Opredelenie biologicheskoi aktivnosti pochvy / Ye. N. Mishustin, A. N. Petrova // Mikrobiologiya. – 1963. – T. 31, № 3. – S. 479–483.
7. Praktikum po agrokhimii : ucheb. posobie / O. A. Amel'yanchik [i dr.] ; pod red. V. G. Mineeva. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Izd-vo MGU, 2001. – 689 s.
8. Orlov, D. S. Praktikum po khimii gumusa / D. S. Orlov, L. A. Grishina. – M. : Izd-vo Mosk. un-ta, 1981. – 272 s.
9. Domas', A. S. Otsenka sposobnosti nekotorykh pridorozhnykh pochv g. Bresta k razlozheniyu tsellyulozy / A. S. Domas', M. G. Rakhuba, M. A. Kolyadich // Evolyutsiya i degradatsiya pochvennogo pokrova : sb. nauch. st. po materialov VI Mezhdunar. nauch. konf., Stavropol', 19–22 sent. 2022 goda. – Stavropol' : SEKVOIYA, 2022. – S. 178–181.
10. Domas', A. S. Tsellyulozoliticheskaya sposobnost' pochv nekotorykh rekreatsionnykh territorii g. Bresta / A. S. Domas', M. G. Rakhuba, M. A. Kolyadich // Aktual'nye voprosy ustoichivogo prirodopol'zovaniya: nauchno-metodicheskoe obespechenie i prakticheskoe reshenie : materialy mezhdunar. nauch.-praktich. konf., posvyashch. 60-letiyu NIL ekologii landshafta fak. geografii i geoinformatiki BGU, Minsk, 9–11 noyab. 2022 g. ; redkol.: D. S. Vorob'ev (otv. red.) [i dr.]. – Mn. : BGU, 2022. – S. 73–76.
11. Domas', A. S. Gumusovoe sostoyanie pochv g. Bresta / A. S. Domas', N. V. Shkuratova, I. D. Luk'yanchik // Vesnik Brestskaga universiteta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 41–49.
12. Modelirovanie dinamiki organicheskogo veshchestva pochv / A. V. Smagin [i dr.]. – M. : Izd-vo MGU, 2001. – 120 s.
13. Shein, Ye. V. Matematicheskoe modelirovanie v pochvovedenii / Ye. V. Shein, I. M. Ryzhova. – M. : IP Marakushev A. B., 2016. – 377 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 24.07.2025

Сергей Эдвардович Кароза¹, Анастасия Валентиновна Швайко²

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

²лаборант каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Sergey Karoza¹, Anastasia Shvaiko²

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

²Laboratory Assistant of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: ¹karoza01@yandex.by; ²verytsarenat@gmail.com

ВЛИЯНИЕ КОНЬЮГАТОВ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА С ОРГАНИЧЕСКИМИ КИСЛОТАМИ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ (FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH.) СОРТА ВЛАДА*

Изучено влияние конъюгатов 24-эпикастастерона с индолилуксусной, салициловой и янтарной кислотами на начальные этапы роста гречихи посевной сорта Влада и содержание фотосинтетических пигментов в ее листьях в лабораторном эксперименте. Установлено положительное влияние конъюгатов на морфометрические показатели в дозах 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М, более выраженное при выращивании рулонным методом, чем в вегетационном эксперименте с использованием почвогрунта. Влияние на содержание хлорофилла и каротиноидов было сходно с действием эпикастастерона, но отличалось у разных конъюгатов.

Ключевые слова: гречиха, 24-эпикастастерон, конъюгаты 24-эпикастастерона, рострегулирующая активность, энергия прорастания, всхожесть, хлорофилл, каротиноиды.

The Effect of Conjugates with Organic Acids 24-Epicasterone on Morphometric and Biochemical Indicators in Buckwheat (Fagopyrum Esculentum Moench.) of Vlada Variety

The effect of conjugates of 24-epicasterone with indolylacetic, salicylic, and succinic acids on the initial stages of growth of buckwheat of the Vlada variety and the content of photosynthetic pigments in its leaves was studied in a laboratory experiment. The positive effect of conjugates on morphometric parameters at doses of 10^{-10} , 10^{-9} and 10^{-8} M has been established, which is more pronounced when grown by the roll method than in the vegetative experiment using soil. The effect on the content of chlorophyll and carotenoids was similar to the effect of epicasterone, but it differed for each conjugates.

Key words: buckwheat, 24-epicasterone, conjugates 24-epicasterone, growth-regulating activity, germination energy, germination tin, chlorophyll, carotenoids.

Введение

Приоритетными задачами сельскохозяйственного производства являются обеспечение потребности населения продукцией растениеводства и животноводства, а также улучшение ее потребительских свойств за счет увеличения содержания полезных для здоровья компонентов и снижения количества потенциально опасных веществ. Первая задача может быть реализована путем увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур, в т. ч. за счет повышения их устойчивости к неблаго-

*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. (№ госрегистрации 20211450 от 20.05.2021).

приятным экологическим факторам различной природы, как абиотическим (климатическим, загрязнение среды потенциально токсичными химическими элементами), так и биотическим (грибковым, бактериальным и вирусным патогенам, вредителям различных таксонов).

Экстенсивный путь решения этой задачи, основанный на усиленном применении удобрений, гербицидов, инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и т. д., в настоящее время неактуален прежде всего из-за своей неэкологичности, т. к. он может привести к ухудшению качества продукции. С помощью селекции можно решить как первую, так и вторую задачу, но выведение соответствующих новым потребностям сортов даже при современных методах требует много времени по причине длительного сортоиспытания. Для получения «чистой» продукции представители «зеленых» предлагают использовать только «органическое» земледелие, но переход к нему в промышленном масштабе в настоящее время невозможен, т. к. это ведет не только к резкому снижению урожайности, но в определенной мере и к ухудшению товарных качеств полученной таким путем продукции. Частичному решению обеих задач одновременно может помочь использование препаратов с рострегулирующими и протекторными свойствами. Такие препараты были получены на основе стероидных соединений, первоначально выделенных из некоторых растений – брассиностероидов. После их открытия и начального исследования биологических свойств во второй половине XX в. они были выделены в отдельный класс фитогормонов, которые способны координировать взаимодействие между другими гормонами [1; 2].

Влияние этих соединений на растения изучено в многочисленных исследованиях, и их результаты были обобщены в монографии, но уже сравнительно давно [3]. Брассиностероиды оказались очень перспективными веществами для создания эффективных экологически безопасных регуляторов роста и развития, повышающих урожайность растений как в нормальных, так и в экстремальных условиях, поэтому они стали активно синтезироваться в разных странах, а затем и внедряться в сельскохозяйственное производство. В Институте биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси был разработан метод синтеза эпибрассинолида, гомообрассинолида и других соединений, позволивший наладить их производство и создание препаратов для сельского хозяйства [4]. Исследования их влияния на различные сельскохозяйственные культуры и декоративные растения производилось и в Брестском государственном университете имени А. С. Пушкина, а их результаты приведены в [5].

Но применение препаратов брассиностероидной природы на растениях имеет свои недостатки: они не поступают через корневую систему, а результаты зависят от очень многих факторов: погодных условий, сорта и состояния растений и т. д. [5]. В ходе исследований был выявлен синергизм брассиностероидов с другими гормонами растений, например индолилуксусной кислотой [6]. Поэтому для изменения физико-химических свойств и создания потенциально перспективных для сельского хозяйства препаратов в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси были синтезированы конъюгаты брассиностероидов, содержащие дополнительную активную составляющую в виде остатков органических кислот, которые сами обладают высокой биологической активностью. Одними из таких соединений стали моносалицилаты 24-эпибрассинолида и 24-эпикастастерона, проявившие как ростостимулирующую активность, так и стресс-протекторные свойства по отношению ко многим неблагоприятным факторам на просе и арадобидопсисе, более высокие, чем свойства их компоненты по отдельности или в простой смеси [7–9]. Кроме того, было установлено повышение устойчивости ячменя к гельминтоспориозу, не связанное с прямым фунгицидным действием, но сильно зависящее от конкретного препарата и его дозы [10]. Сходные свойства проявили и конъюгаты брассиностерои-

дов с янтарной кислотой на растениях ячменя и рапса, в т. ч. в условиях солевого стресса [11; 12].

Но исследований в этом направлении пока все же мало, т. к. эти соединения синтезированы сравнительно недавно и в небольших количествах. Сейчас исследование биологической активности конъюгатов 24-эпикастестерона с кислотами проводится на факультете естествознания в БрГУ имени А. С. Пушкина, и уже получены обнадеживающие результаты на некоторых культурах [13–15]. Таким образом, уже выявлено положительное влияние конъюгатов брассиностероидов на некоторые сельскохозяйственные культуры, но продолжение исследований необходимо для увеличения как перечня таких культур, так и этих соединений, а также для выявления механизма их действия на растения.

Цель исследования – сравнительный анализ влияния конъюгатов 24-эпикастестерона с органическими кислотами на начальные этапы роста и содержание фотосинтетических пигментов в растениях гречихи посевной.

Материалы и методы

Объекты исследований – 24-эпикастестерон (ЭК) и его конъюгаты с индолилуксусной, салициловой и янтарной кислотами (2-моноосалицилат (S23), тетраиндолилацетат (S31) и тетрасукцинат (S439) соответственно), предоставленные сотрудниками лаборатории химии стероидов ИБОХ НАН Беларуси в виде спиртовых растворов с концентрацией 10^{-4} М.

Тест-объект – гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench.) диплоидного сорта Влада, включенная в Государственный реестр сортов в 2008 г. (регистрационный номер 2005128, оригинатор – Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию) и районированная для всех областей Республики Беларусь [16]. Это среднеспелый детерминантный сорт прямостоячего типа с выровненным стеблестоем, хорошим ветвлением, дружным цветением и плодообразованием. Вегетационный период – в среднем 83 дня. Сорт устойчив к полеганию и среднеустойчив к осыпанию семян. Средняя урожайность за 2005–2007 гг. испытания – 16,5 ц/га. Выравненность зерна 90,4 %. Выход крупы – 75,6 %, крупного ядра – 61,8 %. Масса 1000 семян – в среднем 29,5 г. [17].

Методика проведения лабораторных исследований рулонным методом. Лабораторный эксперимент по оценке влияния конъюгатов 24-эпикастестерона на основные показатели, характеризующие рост и развитие гречихи посевной, проводился по стандартной методике проращивания в рулонах фильтровальной бумаги по ГОСТ 12038–84) [17]. Семена гречихи замачивали на пять часов в растворах исследуемых соединений в концентрациях от 10^{-11} до 10^{-7} М с шагом в единицу, а затем проращивали в рулонах, помещаемых в стаканы с дистиллированной водой.

В ходе исследования определяли энергию прорастания, всхожесть, высоту проростков, длину корней, а также массу этих органов. Срок определения энергии прорастания – 4-е сутки, а всхожести – 7-е сутки.

Методика проведения вегетационного эксперимента. В вегетационном эксперименте с использованием почвогрунта семена гречихи посевной также замачивали на пять часов в растворах исследуемых соединений в ранее определенных наиболее оптимальных концентрациях от 10^{-10} до 10^{-8} М, затем проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге до наклевывания. Проклюнувшиеся семена высаживали в вегетационные сосуды (пластиковые контейнеры) в подготовленный почвогрунт. В каждую емкость помещали по пять семян, на каждый вариант использовали четыре сосуда, распределенные рендомизированно. Гречиху выращивали до начала цветения. По завершении эксперимента проводили определение высоты побегов, длины корней и массы растений, а также содержания в листьях хлорофилла и каротиноидов.

Для экстракции пигментов использовали высечки диаметром 1 см из средней части листьев, взятых со всех растений каждого варианта. Для уменьшения разброса данных для каждой пробы делали 10 высечек, объединяли их вместе и устанавливали массу навески. Из каждого вегетационного сосуда отбирали две пробы, чтобы повторность опыта была восьмикратной. Экстракцию пигментов производили 10 мл 100 %-го ацетона. Оптическую плотность экстракта определяли на спектрофотометре SOLAR CM2203 при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения определяемых пигментов в данном растворителе: $\lambda = 662, 644$ и $440,5$ нм [19]. Содержание пигментов рассчитывали по формулам Веттштейна. Затем проводили расчет концентрации пигментов и их содержания в пересчете на массу. Статистическую обработку всех результатов осуществляли с помощью таблиц Excel с определением степени достоверности по критерию Стьюдента [20]. Подробнее все методики описаны в [21].

Результаты и их обсуждение

Лабораторный эксперимент. Результаты эксперимента показали, что исследуемые соединения оказали неоднозначное влияние на анализируемые показатели в зависимости от применяемой концентрации. Эпикастастерон повышал энергию прорастания по сравнению с контролем во всех концентрациях, кроме самой максимальной, при этом наиболее существенно – при дозах 10^{-9} и 10^{-10} М (+13 и 15,4 % к контролю) (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние ЭК и его конъюгатов на энергию прорастания и всхожесть гречи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

Концентрация, М	Энергия прорастания		Всхожесть	
	%	% к контролю	%	% к контролю
24-эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	61,5 ± 2,22	100,0	78,0 ± 2,58	100,0
10^{-11}	62,0 ± 4,32	100,8	80,0 ± 5,56	100,6
10^{-10}	69,5 ± 2,22*	113,0	81,5 ± 2,45	102,6
10^{-9}	71,0 ± 1,29**	115,4	80,5 ± 2,06	104,5
10^{-8}	66,0 ± 2,16	107,3	77,0 ± 2,50	103,2
10^{-7}	59,5 ± 1,71	96,7	75,0 ± 3,42	98,7
2-моносалицлат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	62,5 ± 2,99	100,0	75,0 ± 1,73	100,0
10^{-11}	60,0 ± 2,58	96,0	74,5 ± 3,59	99,3
10^{-10}	64,0 ± 2,16	102,4	75,5 ± 3,03	100,7
10^{-9}	67,0 ± 3,42	107,2	76,8 ± 1,89	102,4
10^{-8}	71,0 ± 2,65*	113,6	79,0 ± 1,73	105,3
10^{-7}	60,5 ± 2,22	96,8	73,5 ± 1,31	98,0
тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	62,0 ± 1,87	100,0	76,5 ± 1,56	100,0
10^{-11}	61,0 ± 1,71	98,4	76,5 ± 2,22	100,0
10^{-10}	66,8 ± 1,71	107,7	77,8 ± 1,03	103,1
10^{-9}	69,0 ± 2,87*	111,3	79,1 ± 0,71	98,4
10^{-8}	68,5 ± 1,29	110,5	79,8 ± 1,93	96,0
10^{-7}	60,0 ± 1,92	96,8	75,3 ± 2,13	98,0
тетрасукцинат 24-эпикастастерона (S439)				
Контроль	40,5 ± 2,20	100,0	81,8 ± 2,02	100,0
10^{-11}	40,0 ± 2,56	98,8	82,5 ± 2,67	100,9
10^{-10}	57,5 ± 4,88**	141,98	85,0 ± 1,81	103,9
10^{-9}	53,0 ± 9,14*	130,9	88,5 ± 2,20*	108,2
10^{-8}	67,8 ± 4,35***	167,4	88,0 ± 1,85*	107,6
10^{-7}	48,5 ± 4,07	119,8	78,5 ± 3,70	95,97

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

Сходное, но менее выраженное влияние ЭК оказал и на всхожесть, но этот показатель всегда более стабилен.

Моносалицилат понижал энергию прорастания в самой минимальной и максимальной концентрациях, но повышал ее при использовании раствора с концентрациями 10^{-8} и 10^{-9} М. На показатель всхожести максимальное стимулирующее влияние, оказал раствор в концентрации 10^{-8} М. Тетраиндолилацетат оказал на энергию прорастания более слабое влияние, чем сам ЭК и S23, но положительный эффект наблюдался в трех средних используемых дозах, и ни одна концентрация не оказала отрицательного влияния на всхожесть. Положительное влияние S31 на нее было выражено чуть сильнее, чем у S23, и наблюдалось в тех же трех средних дозах, при этом максимально – при концентрациях 10^{-9} и 10^{-8} М. Из-за четырехкратной повторности эксперимента разница с контролем во многих вариантах была недостоверной. Только в вариантах с использованием растворов ЭК с концентрациями 10^{-9} и 10^{-10} М и S31 с концентрацией 10^{-9} М отличия были достоверными. Таким образом, можно говорить о тенденции к повышению энергии прорастания и всхожести у трех первых стероидных препаратов, но влияние конъюгатов сильно не отличалась от действия самого брассиностероида.

Наиболее значимые положительные результаты были получены при замачивании семян гречихи в растворах тетрасукцината ЭК (таблица 1). На энергию прорастания раствор в минимальной концентрации (10^{-11} М) оказал слабое подавляющее влияние ($-1,2\%$) по сравнению с контролем. В максимальной дозе (10^{-7} М) S439 вызвал ее повышение почти на 20% , но из-за относительно большой погрешности отличие от контроля было недостоверным. Растворы в трех средних используемых дозах (10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М) вызвали очень сильное и достоверное увеличение энергии прорастания на 42 , $30,9$ и $67,4\%$ соответственно, и при этом максимальная разница и максимальная достоверность наблюдалась в варианте с раствором в концентрации 10^{-8} М ($+67,4\%$ по сравнению с контролем), а влияние S439 на всхожесть было подробно рассмотрено ранее [21].

Анализ влияния исследуемых препаратов на высоту побегов показал, что использование ЭК приводило к очень значительному и достоверному повышению этого показателя во всех концентрациях, кроме максимальной, которая не оказала влияния на рост надземной части гречихи (таблица 2). Использование раствора в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-10} М усиливало рост практически в $1,5$ раза ($+51,3$ и $56,3\%$ к контролю), и достоверность различий с контролем была максимальной. На длину корешков действие ЭК оказалось менее выраженным: в основном наблюдалось ее уменьшение, но достоверное только в варианте с минимальной используемой концентрацией 10^{-8} М. Раствор с концентрацией 10^{-8} М достоверно стимулировал рост корней ($+17,9\%$ к контролю), при использовании остальных доз ЭК разница с контролем была недостоверной.

Моносалицилат оказал более слабое действие на рост надземной части по сравнению с самим ЭК. Две минимальные концентрации незначительно (примерно на 6%) подавляли его, но разница с контролем была недостоверной, использование раствора с концентрацией 10^{-8} М достоверно стимулировало рост на $8,9\%$, а с концентрацией 10^{-7} М достоверно ингибировало его также на $8,9\%$ (таблица 2). Большую активность S23 проявил в отношении подземной части гречихи. Его раствор с концентрациями 10^{-8} и 10^{-9} М с высокой степенью достоверности усиливал рост корней на $16,9$ и $27,3\%$, а 10^{-7} М также достоверно подавлял на 9% . Растворы в двух минимальных концентрациях статистически значимого влияния не оказали, снижая этот показатель примерно на 5% (таблица 2).

Тетраиндолилацетат оказал на рост побегов влияние, схожее с ЭК. Его растворы во всех концентрациях, кроме максимальной, достоверно увеличивали высоту побегов, а в трех концентрациях – более чем на 20% (таблица 2). Максимальное стиму-

лирующее влияние оказала доза 10^{-9} М (+37,5 % к контролю). На длину корней это соединение статистически значимого ингибирующего влияния, как ЭК, не оказало, и только доза 10^{-11} М снижала ее на 4,2 %. Обработка семян его растворами в концентрациях 10^{-8} и 10^{-9} М привела к достоверному увеличению этого показателя на 8,2 и 15,5 % соответственно. Тетрасукцинат на высоту проростков оказал более слабое влияние, чем на энергию прорастания, но более сильное, чем на всхожесть.

При использовании минимальной дозы препарата она недостоверно понизилась на 5,3 %, а в остальных вариантах проявилось положительное, но выраженное в разной степени действие. Максимальный положительный эффект с максимально достоверным отличием от контроля вызвала обработка семян растворами S439 с концентрациями 10^{-9} и 10^{-8} М, которая привела к увеличению высоты проростков по сравнению с контролем на 13,7 и 14,3 % соответственно (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние ЭК и его конъюгатов на высоту проростков и длину корешков гречихи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

Концентрация, М	Высота проростка		Длина корешка	
	мм	% к контролю	мм	% к контролю
24-эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	68,4 ± 2,78	100,0	64,9 ± 1,44	100,0
10^{-11}	86,0 ± 4,25**	125,7	60,4 ± 1,54*	93,1
10^{-10}	103,5 ± 4,10***	151,3	61,5 ± 1,23	94,7
10^{-9}	106,9 ± 4,25***	156,3	63,9 ± 1,14	98,4
10^{-8}	90,8 ± 3,82**	132,7	76,6 ± 1,71**	117,9
10^{-7}	68,1 ± 3,23	99,6	64,5 ± 1,07	99,6
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	104,7 ± 3,22	100,0	65,9 ± 1,00	100,0
10^{-11}	98,5 ± 3,18	94,1	62,0 ± 1,89	94,1
10^{-10}	98,6 ± 2,58	94,2	62,7 ± 1,83	95,2
10^{-9}	111,1 ± 2,08	106,0	77,0 ± 1,67**	116,9
10^{-8}	114,0 ± 2,77*	108,9	83,8 ± 1,48***	127,3
10^{-7}	84,7 ± 2,71**	81,1	60,0 ± 1,24*	91,0
тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	80,6 ± 2,73	100,0	45,6 ± 1,12	100,0
10^{-11}	88,4 ± 2,57*	109,6	43,7 ± 0,76	95,8
10^{-10}	110,8 ± 2,76***	137,5	46,6 ± 1,58	102,1
10^{-9}	99,4 ± 3,16***	123,4	49,4 ± 1,30*	108,2
10^{-8}	97,5 ± 2,97**	121,0	52,7 ± 2,28**	115,5
10^{-7}	83,0 ± 3,73	102,9	46,6 ± 0,94	102,8
тетрасукцинат 24-эпикастастерона (S439)				
Контроль	71,4 ± 1,68	100,0	76,72 ± 1,11	100,0
10^{-11}	67,6 ± 1,71	94,7	78,40 ± 1,24	102,2
10^{-10}	77,9 ± 2,05*	109,1	76,69 ± 0,94	99,96
10^{-9}	81,2 ± 2,01***	113,7	76,83 ± 1,04	100,1
10^{-8}	81,6 ± 2,03***	114,3	73,23 ± 1,16*	95,5
10^{-7}	77,5 ± 1,74**	108,5	70,10 ± 1,23**	91,4

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

На длину корешков S439 в целом оказал отрицательное влияние, вызвав ингибирование их роста, особенно при использовании концентраций 10^{-8} и 10^{-9} М, где показатель достоверно уменьшился на 4,5 и 8,6 % соответственно, что подробнее описано ранее [21].

Влияние исследуемых препаратов на массу побегов не совпадало с влиянием на их высоту (таблица 3). ЭК достаточно сильно увеличивал ее в концентрациях 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М (на 64,8, 59,8 и 27,7 % соответственно). Максимальная доза уменьшала ее на 3,0 %, но различия с контролем были недостоверными. Массу корней ЭК во всех концентрациях, кроме максимальной, где наблюдалось незначительное инги-

бирование на 9,6 %, увеличивал, но достоверными различия были только при использовании растворов в концентрациях 10^{-8} и 10^{-9} М (+ 36,7 и 66,1 %), особенно выраженные в последнем случае. Моносалицилат вызывал незначительное увеличение массы побегов в трех концентрациях и уменьшение в двух (максимальная и минимальная дозы), но все отличия от контроля были недостоверными. Сходное влияние оказало это соединение и на корни. Их масса повышалась при использовании растворов с концентрацией 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М на 2,0, 7,0 и 22,5 %, но достоверно только в последнем варианте (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние ЭК и его конъюгатов на массу проростков и корешков гречихи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

Концентрация, М	Масса 10 побегов		Масса 10 корешков	
	г	% к контролю	г	% к контролю
24-эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	1,24 ± 0,015	100,0	0,194 ± 0,012	100,0
10^{-11}	1,29 ± 0,142	104,2	0,215 ± 0,005	111,1
10^{-10}	2,04 ± 0,161***	164,8	0,223 ± 0,024	115,2
10^{-9}	1,98 ± 0,210**	159,8	0,265 ± 0,021*	136,7
10^{-8}	1,58 ± 0,162*	127,7	0,322 ± 0,021***	166,1
10^{-7}	1,20 ± 0,084	97,0	0,175 ± 0,024	90,4
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	1,80 ± 0,049	100,0	0,306 ± 0,021	100,0
10^{-11}	1,68 ± 0,162	93,4	0,294 ± 0,022	96,2
10^{-10}	1,81 ± 0,104	100,6	0,312 ± 0,037	102,0
10^{-9}	1,96 ± 0,093	109,0	0,327 ± 0,013	107,0
10^{-8}	1,89 ± 0,134	104,7	0,374 ± 0,021*	122,5
10^{-7}	1,75 ± 0,143	97,2	0,293 ± 0,043	95,9
тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	1,49 ± 0,026	100,0	0,183 ± 0,021	100,0
10^{-11}	1,46 ± 0,111	98,0	0,176 ± 0,010	94,4
10^{-10}	1,50 ± 0,091	101,2	0,179 ± 0,017	97,8
10^{-9}	1,59 ± 0,043*	107,2	0,215 ± 0,020	117,4
10^{-8}	1,51 ± 0,018	101,3	0,207 ± 0,014	113,3
10^{-7}	1,43 ± 0,084	94,3	0,140 ± 0,011	76,7
тетрасукцинат 24-эпикастастерона (S439)				
Контроль	1,42 ± 0,06	100,0	0,31 ± 0,03	100,0
10^{-11}	1,37 ± 0,08	96,5	0,30 ± 0,03	96,8
10^{-10}	1,42 ± 0,06	100,0	0,37 ± 0,02*	119,4
10^{-9}	1,52 ± 0,05	107,04	0,38 ± 0,02*	122,6
10^{-8}	1,55 ± 0,05	109,2	0,35 ± 0,02	112,9
10^{-7}	1,48 ± 0,05	104,2	0,25 ± 0,01*	80,7

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

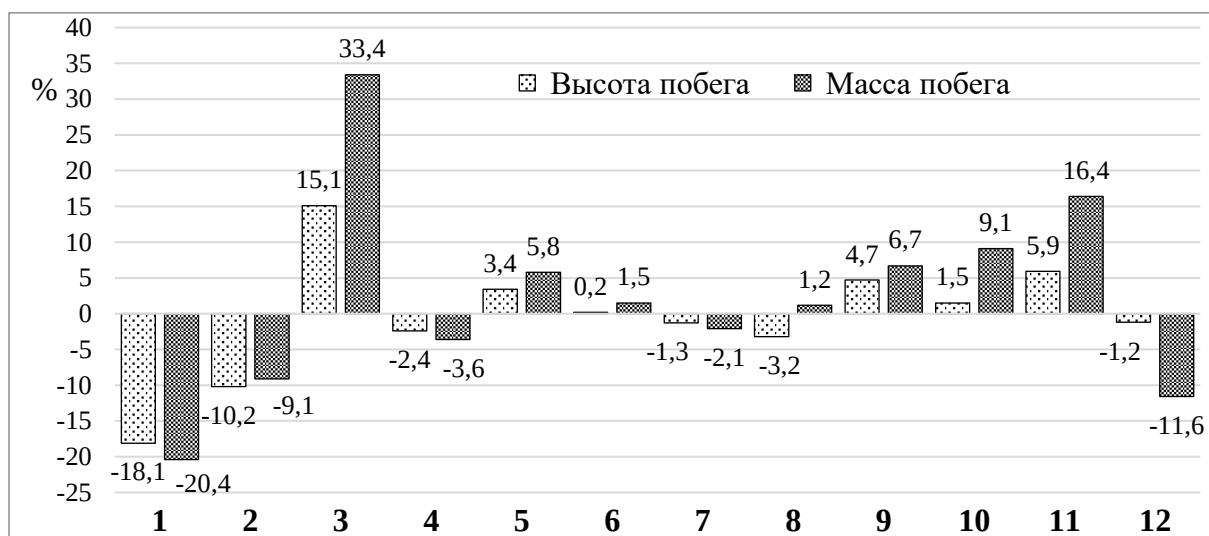
Тетраиндолилацетат на массу побегов повлиял слабее, чем на высоту. Достоверное положительное влияние на этот показатель оказал только раствор в концентрации 10^{-9} М (+7,2 %), а другие дозы статистически значимого действия на этот показатель не оказали. Массу корней увеличивало применение S31 в концентрациях 10^{-9} и 10^{-8} М (+17,4 и 13,3 %), а уменьшало на 23,3 % при концентрации 10^{-7} М, но отличия от контроля были недостоверными.

Влияние растворов тетрасукцината на массу проростков было аналогичным влиянию на их высоту, но количественно результаты отличались. Масса увеличилась во всех вариантах, кроме варианта с концентрацией 10^{-11} М (снижение на 3,5 %) (таблица 3). Повышение этого показателя наблюдалось не в четырех, как для высоты, а только в трех вариантах с дозами S439 10^{-9} , 10^{-8} и 10^{-7} М, где оно составило 7, 9,2 и 4,2 % по отношению к контролю соответственно, но во всех случаях отличия от контроля не были достоверными. Влияние S439 на массу корней не совпадало

с влиянием на их длину. Так, применение растворов с концентрациями 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М привело к ее повышению на 19,4, 22,6 и 12,9 %, и для первых двух вариантов различия с контролем были достоверными. Использование доз 10^{-11} и 10^{-7} М вызвало снижение массы корней на 3,2 и 19,3 % соответственно.

Проведенный анализ всех морфометрических показателей позволил сделать вывод, что обработка семян гречихи посевной растворами ЭК и его конъюгатов вызвала (в зависимости от дозы) эффекты с различным знаком. Значительные стимулирующие свойства проявил сам ЭК, его конъюгаты действовали слабее, хотя общая закономерность при этом сохранялась. Наименее выраженную ростстимулирующую активность показал моносалицилат ЭК. По показателям энергии прорастания и всхожести тетраасукцинат превзошел ЭК, но по влиянию на размеры и массу проростков и корней из конъюгатов максимальное положительное влияние, близкое к ЭК, оказал тетраиндолилацетат. Для дальнейших исследований влияния ЭК и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры гречихи посевной в вегетационном опыте было решено оставить три дозы: 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М.

Вегетационный эксперимент. Результаты анализа морфометрических параметров вегетационного опыта показали, что все препараты оказали на них, как и в рулонном эксперименте, неоднозначное влияние, при этом не всегда совпадающее с результатами предыдущего эксперимента (рисунок 1). Так, раствор ЭК, вопреки ожиданиям, в концентрации 10^{-10} М с максимальной степенью достоверности уменьшил высоту проростков на 18,1 %, а их массу – на 20,4 %, но в последнем случае различие с контролем было недостоверным. В средней используемой дозе (10^{-9} М) наблюдалось более слабое подавление – на 10,2 и 9,1 % соответственно, достоверное только для высоты побегов. Только применение раствора с концентрацией 10^{-8} М приводило к значительному и достоверному увеличению обоих показателей на 15,1 и 33,4 % соответственно.



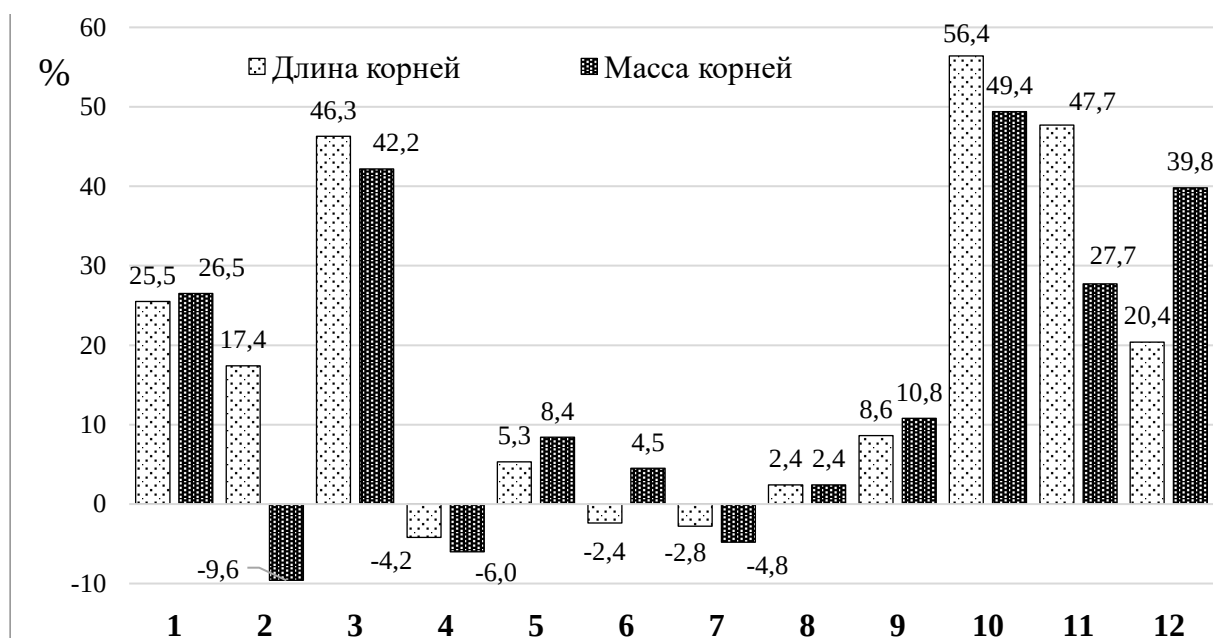
1–3 – ЭК, 10^{-10} – 10^{-8} М; 4–6 – S23, 10^{-10} – 10^{-8} М; 7–9 – S31, 10^{-10} – 10^{-8} М, 9–2 – S439; 10^{-10} – 10^{-8} М

Рисунок 1 – Влияние ЭК и его конъюгатов на высоту и массу проростков гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте, % относительно контроля

Раствор моносалицилата, как и в предыдущем эксперименте, оказал на высоту проростков незначительное влияние, достоверно повысив ее на 3,4 % только при использовании раствора с концентрацией 10^{-9} М. Масса надземной части в этом варианте увеличилась немного больше – на 5,8 %, но отличия от контроля были недостоверными. Раствор тетраиндолилацетата ЭК действовал эффективнее, оказав при дозе 10^{-8} М достоверное положительное влияние и на высоту проростков, и на их массу,

увеличив эти показатели на 4,7 и 6,7 % соответственно. В остальных вариантах достоверных отличий от контроля не наблюдалось. Раствор тетраэтиксукцината ЭК в минимальной дозе (10^{-10} М) вызвал незначительное и недостоверное повышение показателей (на 1,5 и 9,1 % соответственно). Более выраженное стимулирующее влияние оказала средняя доза (10^{-9} М), при которой наблюдалось достоверное увеличение обоих показателей на 5,9 и 16,4 % соответственно. Раствор с концентрацией 10^{-8} М, наоборот, уменьшил значение обоих показателей на 1,2 и 11,6 % соответственно; при этом разница с контролем была недостоверной.

В целом более выраженное влияние исследуемых препаратов проявилось при их действии на корневую систему. Так, растворы ЭК увеличили длину корней во всех вариантах, но наиболее значимо с $P \leq 0,01$ при дозе 10^{-8} М (на 46,3 % по отношению к контролю с водой) (рисунок 2). На близкое значение (42,2 %) с такой же достоверностью увеличилась и их масса. Раствор с минимальной концентрацией ЭК действовал примерно наполовину слабее: повышение показателей составило 25,5 и 26,5 % соответственно. Доза 10^{-9} М вызывала увеличение длины корней на 17,4 %, но уменьшение массы составило 9,6 %, и в обоих случаях разница с контролем была недостоверной.



1–3 – ЭК, 10^{-10} – 10^{-8} М; 4–6 – S23, 10^{-10} – 10^{-8} М; 7–9 – S31, 10^{-10} – 10^{-8} М, 9–2 – S439; 10^{-10} – 10^{-8} М

Рисунок 2 – Влияние ЭК и его конъюгатов на длину и массу корней гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте, % относительно контроля

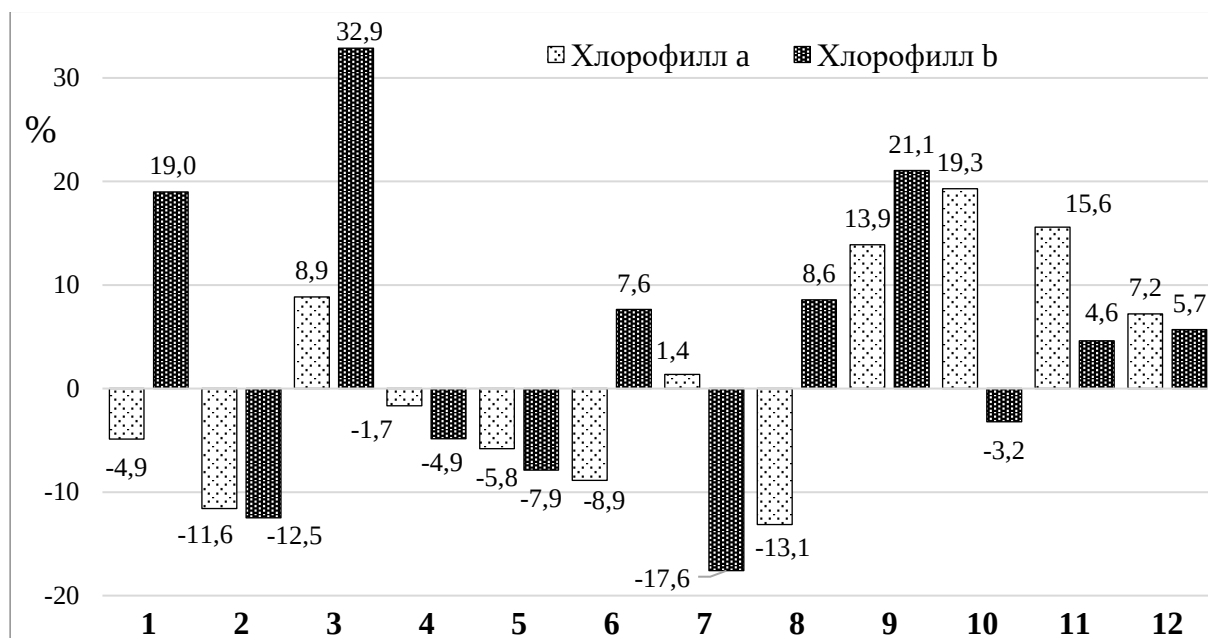
Моносапидилат ЭК достоверно значимого влияния на рост корней не оказал ни в одном из вариантов. Повышение как длины, так и массы корней на 5,3 и 8,4 % соответственно наблюдалось только при использовании раствора с концентрацией 10^{-9} М, но отличия от контроля были недостоверными. Остальные концентрации S23 вызвали незначительное уменьшение длины корней. Их массу минимальная используемая доза незначительно повышала, а максимальная, наоборот, незначительно понижала (рисунок 2).

Тетраиндолилацетат ЭК при применении раствора с концентрацией 10^{-10} М незначительно уменьшал оба показателя, в более высокой дозе 10^{-9} М – слабо увеличивал их. Только использование самой высокой дозы 10^{-8} М достоверно увеличивало длину и массу корешков на 8,6 и 10,8 % соответственно.

Раствор тетраэуктината проявил максимальное стимулирующее и достоверное действие на оба показателя в минимальной дозе 10^{-10} М, увеличив длину и массу корней на 56,4 и 49,4 % соответственно, но максимальная достоверность наблюдалась только для длины корешков. При применении средней концентрации S439 действие ослабевало и значения уменьшались до 47,4 и 27,7 % соответственно, и отличие от контроля также было достоверным только для длины корней. Раствор с концентрацией 10^{-8} М достоверно увеличивал оба показателя на 20,4 и 39,8 % соответственно (рисунок 2).

Влияние ЭК и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях гречихи посевной в вегетационном эксперименте. Так как эксперимент проводился в два этапа и на обоих для сравнения использовался ЭК, то для него были получены два набора несколько отличающихся данных, но на диаграмме они приведены только для первого эксперимента.

Содержание хлорофилла *a* в расчете на сырую массу при действии ЭК в обоих экспериментах было ниже контроля при использовании доз 10^{-10} и 10^{-9} М, но отличия от контроля все же были недостоверными (рисунок 3).



1–3 – ЭК, 10^{-10} – 10^{-8} М; 4–6 – S23, 10^{-10} – 10^{-8} М; 7–9 – S31, 10^{-10} – 10^{-8} М; 9–2 – S439, 10^{-10} – 10^{-8} М

Рисунок 3 – Влияние ЭК и его конъюгатов на содержание хлорофилла *a* и *b* в листьях гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте, % относительно контроля

Использование раствора с концентрацией 10^{-8} М приводило к увеличению этого показателя на 8,9 % в первом эксперименте и на 16,3 % во втором, и в последнем случае отклонение от контроля было достоверным.

Содержание хлорофилла *b* отличалось: в первом эксперименте оно уменьшалось на 12,5 % при дозе ЭК 10^{-9} М, хотя обычно мы наблюдали снижение содержания хлорофилла *b* при снижении содержания хлорофилла *a*. При использовании растворов с концентрациями 10^{-10} и 10^{-8} М в первом опыте этот показатель достоверно увеличился на 19 и 32,9 % соответственно.

Во втором эксперименте содержание хлорофилла *b* незначительно и недостоверно увеличивалось при повышении концентрации ЭК от 10^{-10} до 10^{-8} М на 6,2, 8,1 и 9 % соответственно.

Таким образом, в обоих экспериментах максимальное содержание хлорофилла *b* соответствовало применению максимальной дозы ЭК, когда было повышено и содержание хлорофилла *a* (рисунок 3).

Моносалицилат оказал на содержание хлорофилла *a* слабо выраженное подавляющее влияние: дозы 10^{-10} и 10^{-9} М недостоверно уменьшили этот показатель на 1,7 и 3,8 % соответственно, а доза 10^{-8} М оказала достоверное влияние, уменьшив его на 8,9 %. В последнем варианте наблюдалось и недостоверное повышение содержания хлорофилла *b* на 7,6 %, а в остальных вариантах – такое же недостоверное понижение.

Тетраиндолилацетат при применении раствора с концентрацией 10^{-9} М достоверно понижал содержание хлорофилла *a* на 13,1 %, а при 10^{-8} М – повышал на 13,9 %.

Доза ЭК 10^{-10} М на этот показатель влияния практически не оказала, одновременно снизив содержание хлорофилла *b* на 17,6 %.

Доза 10^{-8} М максимально и достоверно повысила последний показатель на 21,1 %, а доза 10^{-9} М – недостоверно увеличила его на 8,6 % (рисунок 3).

Максимальное и достоверное (с $P \leq 0,01$) повышение содержания хлорофилла *a* (на 19,3 %) наблюдалось в варианте с использованием раствора тетрасукцината в концентрации 10^{-10} М, но при этом количество хлорофилла *b* незначительно и недостоверно уменьшилось (на 3,2 %).

Средняя доза (10^{-9} М) S439 повышала содержание обоих исследуемых пигментов на 15,6 и 4,6 % соответственно, но достоверной разницы с контролем была только для хлорофилла *a*.

Максимальная доза также оказывала положительное, но более слабое и недостоверное по сравнению с контролем влияние на оба показателя (+7,2 и 5,7 % соответственно).

Влияние конъюгатов ЭК на суммарное содержание хлорофилла в большей степени коррелировало с содержанием хлорофилла *a*, т. к. он количественно преобладал.

Для ЭК подтвердилась выявленная закономерность: в обоих экспериментах максимальное содержание хлорофилла с достоверным отличием от контроля наблюдалось при использовании для замачивания семян раствора с концентрацией 10^{-8} М.

Содержание каротиноидов при использовании максимальной дозы ЭК достоверно уменьшалось на 23,6 % в первом эксперименте и на 12,2 % во втором.

Эти результаты вполне объяснимы, т. к. при увеличении количества хлорофилла потребность в каротиноидах снижается.

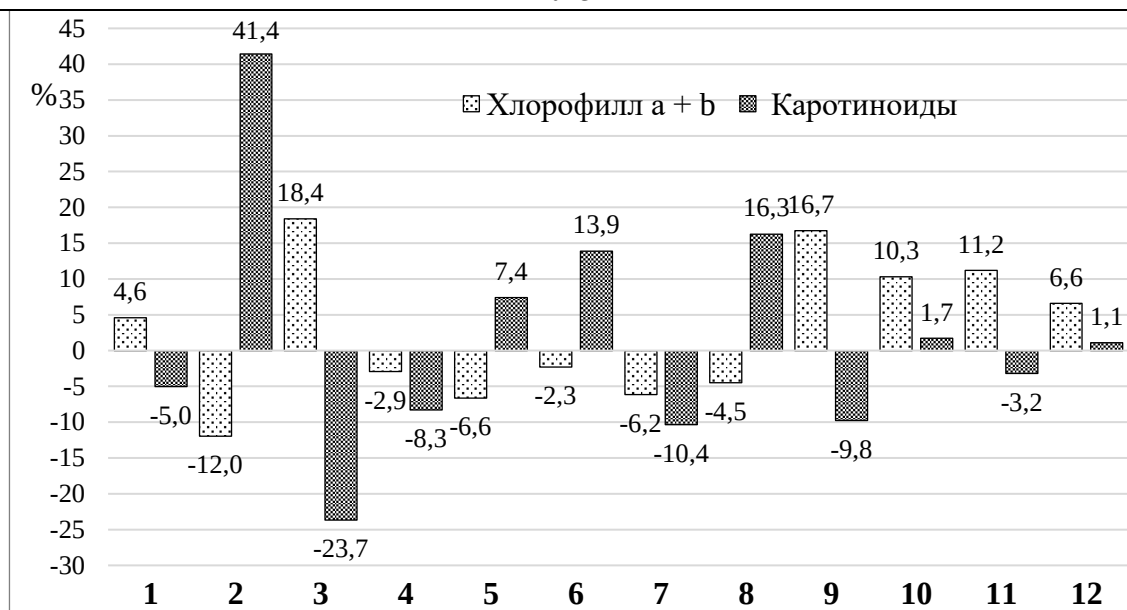
И, наоборот, при снижении содержания хлорофилла количество каротиноидов увеличивается, что четко проявилось при использовании дозы ЭК 10^{-9} М в первом эксперименте, где содержание каротиноидов достоверно увеличилось на 41,5 % при уменьшении содержания хлорофилла на 12 % (рисунок 4).

Моносалицилат недостоверно уменьшал суммарное содержание хлорофилла во всех вариантах, но количество каротиноидов увеличивалось только при использовании доз 10^{-9} и 10^{-8} М, а доза 10^{-10} М вызывала недостоверное уменьшение содержания каротиноидов на 8,1 %.

Тетраиндолилацетат ЭК оказывал влияние, сходное с действием самого брассиностероида: при применении максимальной дозы содержание хлорофилла достоверно повышалось на 16,7 %, а каротиноидов – недостоверно снижалось на 9,6 %.

Однако максимальное увеличение количества каротиноидов на 16,3 % наблюдалось в варианте с дозой S31 10^{-9} М, где содержание хлорофилла было ниже контроля всего на 4,5 %.

При применении дозы 10^{-10} М одновременно недостоверно снижалось (на 6,2 %) содержание и хлорофилла, и (на 10,4 %) каротиноидов, что не соответствует ранее описанной закономерности (рисунок 4).



1–3 – ЭК, 10^{-10} – 10^{-8} М; 4–6 – S23, 10^{-10} – 10^{-8} М; 7–9 – S31, 10^{-10} – 10^{-8} М; 9–2 – S439, 10^{-10} – 10^{-8} М

Рисунок 4 – Влияние ЭК и его конъюгатов на суммарное содержание хлорофилла в листьях гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте, % относительно контроля

Тетрасукцинат во всех вариантах увеличил содержание зеленых пигментов, причем значения при использовании растворов в концентрациях 10^{-10} и 10^{-9} М были достаточно близки: 10,3 и 11,2 % соответственно, но достоверными были различия только в варианте с большей дозой препарата. Влияние на содержание каротиноидов достоверно от контроля не отличалось: при концентрации 10^{-10} М оно было на 1,7 % выше, а при 10^{-9} М – на 3,2 % ниже уровня контроля. При максимальной дозе (10^{-8} М) конъюгат действовал достаточно слабо, недостоверно увеличив содержание хлорофилла на 6,6 %, а каротиноидов – на 1,1 %. Результаты проведенного этапа исследований показали отсутствие четко выраженной положительной корреляции между морфометрическими показателями и содержанием фотосинтетических пигментов. В одних вариантах максимальное содержание хлорофилла совпадало с наиболее положительным влиянием на энергию прорастания, всхожесть и рост растений в начальной фазе. В других вариантах этого соответствия не наблюдалось, что, возможно, связано с тем, что при более быстром развитии растений происходит и более быстрое старение одинаковых пар листьев.

Заключение

Проведенный анализ всех морфометрических и биохимических показателей позволил прийти к следующему общему выводу: по всем исследованным показателям максимальные стимулирующие свойства проявили сам 24-эпикастастерон, его тетраиндолилацетат и тетрасукцинат, а моносалицилат действовал намного слабее, хотя определенная общая закономерность в действии конъюгатов все же наблюдалась. Результаты вегетационного эксперимента не позволили выявить одну оптимальную концентрацию для каждого препарата, т. к. по одним показателям наиболее перспективной была максимальная концентрация, а по другим – средняя. Поэтому с учетом результатов лабораторного и вегетационного экспериментов для полевого опыта были отобраны три дозы всех препаратов: 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дерфлинг, К. Н. Гормоны растений / К. Н. Дерфлинг. – М. : Наука, 1989. – 351 с.
2. Hayat, S. Brassinosteroids: A Class of Plant Hormones / S. Hayat, A. Ahmad. – Dordrecht : Springer, 2011. – 462 p.
3. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Мн. : Навука і тэхніка, 1993. – 287 с.
4. Kripach, V. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plants hormones warrant better crops for the XXI century / V. Kripach, V. Zhabinskii, A. de Groot // *Annals Bot.* – 2000. – Vol. 86. – P. 441–447.
5. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы. – Брест : БрГУ, 2020. – 260 с.
6. Brassinosteroids interact with auxin to promote lateral root development in *Arabidopsis* / F. Bao [et al.] // *Plant Physiology.* – 2004. – Vol. 134. – P. 1624–1631.
7. Divi, U. K. Brassinosteroid-mediated stress tolerance in *Arabidopsis* shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways / U. K. Divi, T. Rahman, P. Krishna // *BMC Plant Biology.* – 2010. – Vol. 10, nr 51.
8. Синтез и стресс-протекторное действие на растения конъюгатов брассиностероидов с салициловой кислотой / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Химия природных соединений.* – 2016. – № 3. – С. 394–398.
9. Effect of 24-Epicastasterone and Its Monosalicylate on Wheat Seedlings in Hyperthermia / R. P. Litvinovskaya [et al.] // *Applied Biochemistry and Microbiology.* – 2021. – Vol. 57, nr 6. – P. 770–777.
10. Защитное действие салицилатов брассиностероидов на растения ярового ячменя, подвергнутых биотическому стрессу / Н. Е. Манжелесова [и др.] // *Доклады НАН Беларуси.* – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 304–311.
11. Синтез тетрагемисукцинатов брассиностероидов и их влияние на начальный рост растений ярового ячменя / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Биоорганическая химия.* – 2022. – Т. 48, № 3. – С. 352–356.
12. Effect of 24-epibrassinolide and its conjugate with succinic acid on the resistance of rape-seed plants to chloride salinity / L.V. Kolomeichuk [et al.] // *Doklady Biological Sciences.* – 2025. – Vol. 521. – P. 111–116.
13. Коваленко, В. В. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2022. – № 1. – С. 22–30.
14. Артемук, Е. Г. Рострегулирующее и антистрессовое действие эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на *Trifolium pratense* L. в условиях влияния ионов свинца / Е. Г. Артемук // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2023. – № 1. – С. 5–15.
15. Тарасюк, А. Н. Протекторные свойства эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами по отношению к токсическому действию ионов свинца и кадмия на клетки корневой меристемы сельскохозяйственных культур / А. Н. Тарасюк // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2023. – № 1. – С. 60–69.
16. Государственный реестр сортов Республики Беларусь. – URL: <http://sorttest.by/gosudarstvennyu-reyestr-sortov-2023> (дата обращения: 29.11.2023).
17. Гречиha сорта Влада. – URL: <https://www.http://sorttest.by/grechiha.pdf> (дата обращения: 03.02.2021).
18. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038-84 ; введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
19. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.
20. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Мн., 1973. – 320 с.
21. Кароза, С. Э. Влияние тетрагемисукцината 24-эпикастастерона на морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов у гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / С. Э. Кароза, А. В. Швайко // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2024. – № 2. – С. 51–66.

1. Derfling, K. N. Gormony rastenii / K. N. Derfling. – M. : Nauka, 1989. – 351 s.
2. Hayat, S. Brassinosteroids: A Class of Plant Hormones / S. Hayat, A. Ahmad. – Dordrecht : Springer, 2011. – 462 p.
3. Khripach, V. A. Brassinosteroidy / V. A. Khripach, F. A. Lakhvich, V. N. Zhabinskii. – Mn. : Navuka i tehkhnika, 1993. – 287 s.
4. Kripach, V. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plants hormones warrant better crops for the XXI century / V. Kripach, V. Zhabinskii, A. de Groot // *Annals Bot.* – 2000. – Vol. 86. – P. 441–447.
5. Biologicheskaya aktivnost' brassinosteroidov i steroidnykh glikozidov / S. E. Karoza [i dr.] ; pod obshch. red. S. E. Karozy. – Brest : BrGU, 2020. – 260 s.
6. Brassinosteroids interact with auxin to promote lateral root development in *Arabidopsis* / F. Bao [et al.] // *Plant Physiology.* – 2004. – Vol. 134. – P. 1624–1631.
7. Divi, U. K. Brassinosteroid-mediated stress tolerance in *Arabidopsis* shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways / U. K. Divi, T. Rahman, P. Krishna // *BMC Plant Biology.* – 2010. – Vol. 10, nr 51.
8. Sintez i stress-protektornoe deistvie na rasteniya konjugatov brassinosteroidov s salitsilovoi kislotoi / R. P. Litvinovskaya [i dr.] // *Khimiya prirodnikh soedinenii.* – 2016. – № 3. – S. 394–398.
9. Effect of 24-Epicastasterone and Its Monosalicylate on Wheat Seedlings in Hyperthermia / R. P. Litvinovskaya [et al.] // *Applied Biochemistry and Microbiology.* – 2021. – Vol. 57, nr 6. – P. 770–777.
10. Zashchitnoe deistvie salitsilatov brassinosteroidov na rasteniya yarovogo yachmenya, podvergnutykh bioticheskomu stressu / N. Ye. Manzhelesova [i dr.] // *Doklady NAN Belarusi.* – 2019. – T. 63, № 3. – S. 304–311.
11. Sintez tetragemisuktsinatov brassinosteroidov i ikh vliyanie na nachal'nyi rost rastenii yarovogo yachmenya / R. P. Litvinovskaya [i dr.] // *Bioorganicheskaya khimiya.* – 2022. – T. 48, № 3. – S. 352–356.
12. Effect of 24-epibrassinolide and its conjugate with succinic acid on the resistance of rape-seed plants to chloride salinity / L.V. Kolomeichuk [et al.] // *Doklady Biological Sciences.* – 2025. – Vol. 521. – P. 111–116.
13. Kovalenko, V. V. Vliyanie epikastasterona i ego konjugatov na morfometricheskie i fiziologo-biokhimicheskie parametry timofeevki lugovoi (*Phleum pratense* L.) / V. V. Kovalenko // *Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli.* – 2022. – № 1. – S. 22–30.
14. Artemuk, Ye. G. Rostreguliruyushchee i antistressovoe deistvie epikastasterona i ego konjugatov s kislotami na *Trifolium pratense* L. v usloviyakh vliyaniya ionov svintsa / Ye. G. Artemuk // *Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli.* – 2023. – № 1. – S. 5–15.
15. Tarasyuk, A. N. Protektornye svoistva epikastasterona i ego konjugatov s kislotami po ot-nosheniyu k toksicheskomu deistviyu ionov svintsa i kadmiya na kletki kornevoi meristemy sel'sko-khozyaistvennykh kul'tur / A. N. Tarasyuk // *Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli.* – 2023. – № 1. – S. 60–69.
16. Gosudarstvennyi reestr sortov Respubliki Belarus'. – URL: <http://sorttest.by/gosudarstvennyy-reyestr-sortov-2023> (data obrashcheniya: 29.11.2023).
17. Grechikha sorta Vlada. – URL: <https://www.http://sorttest.by/grechikha.pdf> (data obrashcheniya: 03.02.2021).
18. Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti : GOST 12038-84 ; vved. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.
19. Gavrilenko, V. F. Bol'shoi praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova ; pod red. I. P. Yermakova – M. : Akademiya, 2003. – 256 s.
20. Rokitskii, P. F. Biologicheskaya statistika / P. F. Rokitskii. – Mn., 1973. – 320 s.
21. Karoza, S. E. Vliyanie tetrasuktsinata 24-epikastasterona na morfometricheskie pokazateli i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov u grechikhi posevnoi (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / S. E. Karoza, A. V. Shvaiko // *Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli.* – 2024. – № 2. – S. 51–66.

**Дар'я Віктаровна Копылева¹, Максим Иосифович Потапович²,
Владимир Антонович Прокулевич³**

¹аспірант 2-го года обучения, мл. науч. сотрудник
научно-исследовательской лаб. биотехнологии каф. микробиологии
Белорусского государственного университета

²зав. науч.-исслед. лаб. биотехнологии каф. микробиологии
Белорусского государственного университета

³д-р биол. наук, проф., гл. науч. сотрудник
науч.-исслед. лаб. биотехнологии каф. микробиологии
Белорусского государственного университета

Darya Kopyleva¹, Maksim Patapovich², Uladzimir Prakulevich³

¹2-nd Year Postgraduate Student, Junior Researcher
of the Laboratory of Biotechnology of the Department of Microbiology
of Belarusian State University

²Head of the Laboratory of Biotechnology of the Department of Microbiology
of Belarusian State University

³Doctor of Biological Science, Professor, Chief Researcher
of the Laboratory of Biotechnology of the Department of Microbiology
of Belarusian State University

e-mail: ¹kopyleva.d@gmail.com; ²mipatapovich@gmail.com; ³prokulevich@mail.ru

СЛИЯНИЕ С ФЬЮЖН-ПАРТНЕРОМ КАК СТРАТЕГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСТВОРИМОЙ ФОРМЫ РЕКОМБИНАНТНОГО ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕРЛЕЙКИНА-4 В КЛЕТКАХ БАКТЕРИЙ *ESCHERICHIA COLI*

Описаны этапы оптимизации для экспрессии в клетках бактерий *E. coli* кодирующей структурной части нуклеотидной последовательности человеческого гена интерлейкина-4 и клонирования в составе вектора pET24b(+) под контролем промотора бактериофага T7. Осуществлена индукция биосинтеза цитокина в клетках бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3), определено преимущественное накопление нерастворимой формы целевого белка. Представлена схема слияния интерлейкина-4 с фьюжн-партнером SUMO, задетектирован низкий биосинтетический потенциал клеток штамма *E. coli* BL21-Gold (DE3), несущих фьюжн-конструкты, и отсутствие увеличения выхода растворимой формы ИЛ-4.

Ключевые слова: *Escherichia coli*, интерлейкин-4, клонирование, тельца включения, фьюжн-партнер, SUMO, индукция биосинтеза, экспрессия.

Fusion Partner Linkage as a Strategy for Obtaining a Soluble Form of Recombinant Human Interleukin-4 in Escherichia Coli Cells

The article describes the stages of optimization for the expression of the coding sequence of the human interleukin-4 gene in *E. coli* cells and its cloning into the pET24b(+) vector under the control of the bacteriophage T7 promoter. Cytokine biosynthesis was induced in *E. coli* BL21-Gold (DE3) bacterial cells. The target protein was found to accumulate predominantly in the insoluble form. A strategy for interleukin-4 linkage with the fusion partner SUMO is presented. A low biosynthetic potential of *E. coli* BL21-Gold (DE3) cells carrying fusion constructs was detected, along with the absence of an increase in the yield of the soluble form of IL-4.

Key words: *Escherichia coli*, interleukin-4, cloning, inclusion bodies, fusion partner, SUMO, induction of biosynthesis, expression.

Введение

Интерлейкин-4 (ИЛ-4) является цитокином плеiotропного действия, оказывающим регуляторное влияние на врожденную и адаптивную иммунную систему. Начиная с 1982 г. количество связанных с ним исследований неуклонно растет.

Роль ИЛ-4 неоспорима при контроле выработки иммуноглобулинов, в реакциях воспаления, аллергии, отмечается его противоопухолевая активность.

По последним данным, лечебно-профилактический потенциал цитокина связывают с лечением ожирения, последствий инфаркта миокарда, ожоговых поражений, тяжелых воспалений. Вместе с тем ИЛ-4 незаменим в процессах конструирования биомедицинских клеточных продуктов, применение которых в индивидуальной терапии расширяется с каждым днем [1–5].

Потребность в субстанции ИЛ-4 постоянно растет, что обуславливает рост ее производства, необходимого для поддержания и дальнейшего развития отечественной медицины.

Наиболее эффективным способом производства активных белковых субстанций является биотехнологическое получение целевого продукта с применением генноинженерных технологий. Для получения рекомбинантных белков используют различные экспрессионные системы, включающие бактерии, дрожжи, клетки млекопитающих, растений и насекомых [6].

Бактериальные клетки имеют ряд преимуществ перед другими объектами: выращивание продуцента на дешевых питательных средах, простота в управлении процессом ферментации, высокая скорость накопления биомассы, что обеспечивает достаточно эффективное масштабирование производства. Вместе с тем наиболее высокий выход продукта в бактериальных клетках сопряжен преимущественно с внутриклеточной агрегацией белковых молекул, которые становятся неактивными, образуя тельца включения (ТВ) [7;8].

Тельца включения могут быть препятствием при получении растворимого активного белка. Тем не менее образование ТВ часто является предпочтительным, поскольку они устойчивы к протеолизу, легко концентрируются центрифугированием, минимально контаминированы клеточными белками.

Недостатком в производстве, требующим дополнительных затрат и приводящим к потерям продукта, является необходимость проведения процедур восстановления нативной формы получаемого белка, т. е. осуществление рефолдинга с образованием функционально активных белковых форм, который не всегда удается разработать и осуществить.

Накопление гетерологичных рекомбинантных белков в растворимой форме имеет преимущество в том, что появляется возможность прямого получения целевого продукта, обладающего биологической активностью, и отсутствует необходимость разработки протоколов рефолдинга, что обеспечивает минимальные потери в производстве [9; 10].

Значительный прогресс в биосинтезе растворимых гетерологичных белков достигнут при использовании слияния целевого белка с фьюжн-партнером, обеспечивающим стабилизацию синтезированной конструкции и способствующим правильному фолдингу.

Известно, что убиквитин, имеющий высокогидрофобное ядро, является быстро фолдирующимся белком, а фьюжн-конструкции на его основе, к которым относится малый убиквитин-подобный модификатор дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (SUMO), часто способствуют получению растворимого рекомбинантного белка.

Стоит заметить, что для получения активной формы целевого белка такая стратегия зачастую требует этапа отщепления фьюжн-партнера специфической протеазой [11; 12].

Цель исследования – сравнить выход растворимой формы белка при независимом клонировании нуклеотидной последовательности человеческого интерлейкина-4 и при ее слиянии с фьюжн-партнером SUMO.

Материалы и методы исследования

В работе использовали следующие бактериальные штаммы, плазмиды, генные конструкции и праймеры: *E. coli* XL-1Blue (*E. coli endA1 gyrA96(Nal^r) lac hsdR17(rk⁻mk⁺) recA1 relA1 supE44 thi-1 F' [lacI^q lacZAM15 proAB⁺ Tn10(Tet^r)*]), *E. coli* BL21-Gold (DE3) (*E. coli B F⁻ ompT hsdS(r_B⁻m_B⁻) dcm⁺ Tet^r gal λ(DE3) endA Hte*); плазида рЕТ24b(+), («Novagen», Великобритания); синтетическая оптимизированная для экспрессии в клетках *E. coli* структурная часть человеческого гена ИЛ-4 в составе вектора pIDTSmart («Integrated DNA Technologies», США), синтетическая последовательность SUMO в виде gBlock («Integrated DNA Technologies», США); праймеры PCV 1/2-R (gggacagcagttgaggagtagcat), PCV 1-1620 (tttcggcgccatctgtaacggttc), T7Promoter (taatacgaactcactataggg), T7Terminator (gctagtattgctcagcgg).

ПЦР, кальциевую трансформацию, электрофорез ДНК в 1 %-м агарозном геле осуществляли в соответствии с общепринятыми протоколами [13]; рестрикцию, лигирование, дефосфорилирование и амплификацию фрагментов ДНК осуществляли с помощью ферментов и соответствующих им буферных систем компании «Thermo Scientific» (США) по инструкции производителя.

Процедуры выделения плазмидной ДНК из клеток (GeneJET Plasmid Miniprep Kit) и агарозного геля, а также очистку ампликонов от компонентов смеси ПЦР (GeneJET Gel Extraction Kit) проводили при помощи готовых наборов фирмы «Thermo Scientific» (США).

Секвенирование по Сэнгеру [14] проводили в Институте биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси с использованием праймеров T7Promoter и T7Terminator на генетическом анализаторе 3500xL (Applied Biosystems, США) с использованием набора для секвенирования BrilliantDye Terminator v.3.1 Cycle Sequencing Kit («NimaGen», Нидерланды).

Для индукции биосинтеза целевого белка ночные культуры бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3), несущие целевые конструкции, разводили в 20 раз и культивировали в колбах с 10 мл LB-бульона (лизогенная среда) и канамицином (30 мкг/мл) при 37 °C в условиях качалочной аэрации при 160 об./мин. до оптической плотности 0,8 при 600 нм. Индукцию экспрессии рекомбинантного гена осуществляли путем добавления в среду культивирования синтетического аналога лактозы – изопропил-β-D-тиогалактопиранозид (ИПТГ) в конечной концентрации 0,5 ммоль/л.

Образцы бактериальных культур, выровненные по оптической плотности, анализировали электрофоретически после четырех часов инкубации в присутствии индуктора.

Анализ белковых профилей осуществляли с помощью электрофореза в 16 %-м полиакриламидном геле (ПААГ) в денатурирующих условиях с добавлением додецилсульфата натрия (ДСН) по методу Laemmli [15]. Визуализировали месторасположение белковых полос в геле раствором Кумасси синего R-250.

При выделении рекомбинантного белка клетки бактерий разрушали с использованием набора B-PER Bacterial Protein Extraction Reagent («Thermo Scientific», США) по инструкции производителя. Осадочные фракции дополнительно промывали дистиллированной водой с целью избавления от растворимых белковых примесей в соотношении 1 : 10 (на 100 мг осадка 1 мл воды).

Молекулярные массы аминокислотных последовательностей белков рассчитывали на биоинформационном портале ExPASy [16]. Полный транскрипт мРНК человеческого ИЛ-4 взят из базы данных GenBank, код доступа NM_000589.4. Оптимизацию нуклеотидной последовательности осуществляли с использованием пакета программ DNASTAR [17].

Результаты и их обсуждение

Таким образом, сохранили меньше половины нативной последовательности – 43,4 %. Рассчитанный индекс CAI для синтетической последовательности составил 1,0 (рисунок 1).

[illegible]

**Рисунок 1 – Последовательности ДНК структурной части гена
и белка человеческого ИЛ-4**

С целью встраивания синтетической структурной части человеческого гена ИЛ-4 в полилинкер рЕТ24b(+) нуклеотидную последовательность дополнительно фланкировали сайтами узнавания рестриктазами *EcoRI* и *NdeI* (старт-кодон ATG в сайте рестрикции *NdeI*). Также вводили тандем стоп-кодонов TAA.

Амплификацию синтетического гена проводили путем полимеразной цепной реакции. На основе оптимизированной нуклеотидной последовательности разработали праймеры (таблица).

Таблица – Характеристика разработанных праймеров для рчИЛ-4

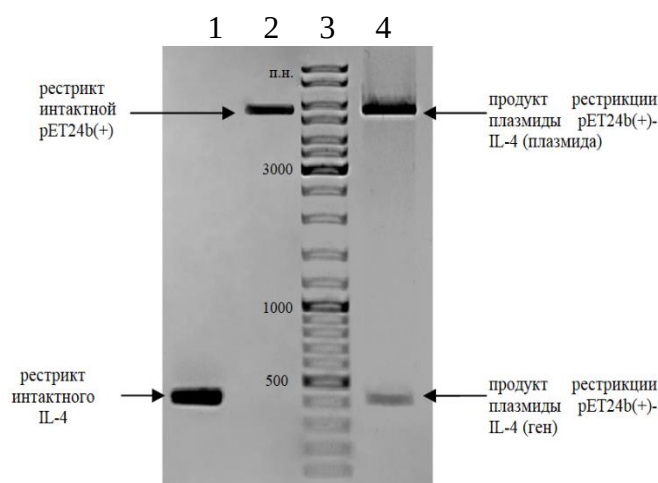
Праймер	Последовательность, 5'→3'	Длина, н.	gc, %
IL-4 F	cgccatatgcacaaatgcgacatca	25	48
IL-4 R	gcggaattcttattaagaagagcat	25	36

Продукт амплификации анализировали электрофоретически в 1 %-м агарозном геле, очищали от компонентов смеси ПЦР и обрабатывали рестриктазами *NdeI* и *EcoRI*. Параллельно данными рестриктазами обрабатывали вектор экспрессии рЕТ24b(+).

После электрофоретического анализа полученные рестрикты с липкими концами лигировали с использованием ДНК-лигазы бактериофага Т4.

Лигазной смесью трансформировали клетки штамма *E.coli* XL-1 Blue и выращивали на селективной среде LB, содержащей канамицин.

Дополнительно наличие в клонах рекомбинантных плазмид с генной вставкой (обозначенные как рЕТ24b(+):IL-4) определяли с помощью ПЦР и обработки выделенных рЕТ24b(+):IL-4 рестриктазами *NdeI* и *EcoRI* (рисунок 2). Отсутствие ошибок в созданной конструкции подтверждали секвенированием.

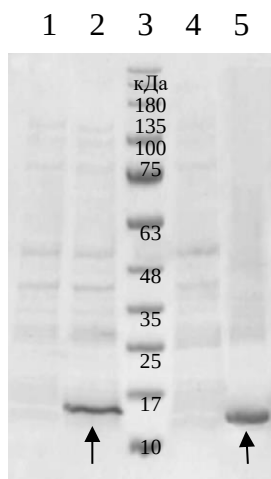


- 1 – продукт амплификации гена IL-4, обработанный рестриктазами *NdeI* и *EcoRI*;
- 2 – плазмида рЕТ24b(+), обработанная рестриктазами *NdeI* и *EcoRI*;
- 3 – маркер молекулярного веса SM0333 («Thermo Scientific», США);
- 4 – рЕТ24b(+):IL-4, обработанная рестриктазами *NdeI* и *EcoRI*, выделенная из клона штамма *E. coli* XL-1 Blue

Рисунок 2 – Электрофореграмма результатов рестрикционного анализа плазмиды рЕТ24b(+):IL-4.

Полученными конструкциями ДНК трансформировали бактерии штамма *E.coli* BL21-Gold (DE3). Трансформантов выборочно проверяли на наличие вставки целевого гена ИЛ-4 методом ПЦР.

Клоны, содержащие рЕТ24b(+):IL-4, отбирали и индуцировали экспрессию гена ИЛ-4 с помощью ИПТГ в конечной концентрации 0,5 ммоль/л (рисунок 3).



Стрелками обозначен ИЛ-4;

- 1 – белковый профиль бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3) без индукции ИПТГ (контроль);
- 2 – белковый профиль бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3) после четырех часов инкубации в присутствии ИПТГ;
- 3 – маркер молекулярного веса Prestained Protein Ladder (10–180 кДа, «neoFroxx», Германия);
- 4 – растворимая фракция белков бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3) после четырех часов инкубации в присутствии ИПТГ;
- 5 – нерастворимая фракция белков бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3) после четырех часов инкубации в присутствии ИПТГ

Рисунок 3 – ДСН-ПААГ электрофорез клеточных белков бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3), содержащих рЕТ24b(+):IL-4.

Появление характерных полос на геле в области 15 кДа свидетельствует об индуцируемом синтезе нового для клетки белка по молекулярной массе соответствующего ожидаемому – целевому.

По данным денситометрического анализа фотографии полиакриламидного геля, выход ИЛ-4 составил $44,63 \pm 0,55$ % от общего белка клетки.

Высокий выход цитокина характеризует сконструированный штамм как потенциально эффективный продуцент, пригодный для промышленного производства соответствующей субстанции рекомбинантного человеческого ИЛ-4.

Вместе с тем установлено, что белок накапливается в нерастворимой форме с образованием телец включения (рисунок 3, дорожка 5), что требует разработки дополнительных протоколов солюбилизации ТВ и рефолдинга и тем самым усложняет общую схему получения цитокина. Выход растворимой формы денситометрически не детектировался.

При попытке получить растворимую форму целевого белка использовали слияние с фьюжн-партнером SUMO, способствовавшего увеличению выхода растворимых форм для некоторых белков [21].

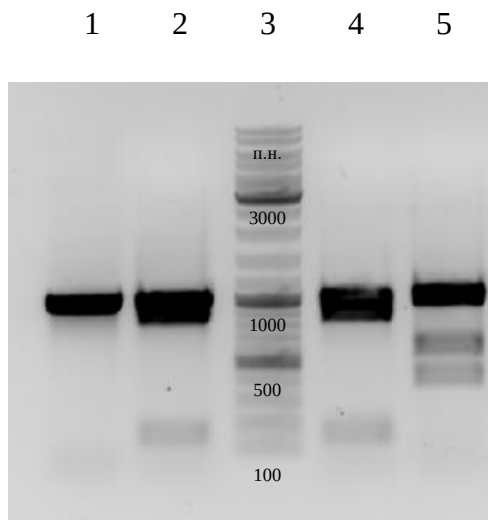
Для получения гибридных конструкций рЕТ24b(+):IL-4-SUMO нуклеотидную последовательность SUMO амплифицировали сетом праймеров PCV 1/2-R и PCV

1-1620 встраивали в плазмиду рЕТ24b(+):IL-4, обработанную фосфатазой, по сайту рестрикции *NdeI* и трансформировали клетки *E. coli* XL-1 Blue.

Трансформантов проверяли ПЦР с использованием праймеров T7Promoter и T7Terminator для полилинкерной последовательности рЕТ24b(+).

В результате анализа получены ампликоны, соответствующие по размеру ожидаемым 994 п. н.

Правильность ориентации SUMO определяли рестрикционным анализом полученных ампликонов по сайту рестрикции *NheI*, уникальному для последовательности SUMO (рисунок 4).



- 1 – ампликон IL-4-SUMO;
2, 4 – ампликоны с правильной ориентацией вставки, обработанные рестриктазой *NheI*;
3 – маркер молекулярного веса SM0333 («Thermo Scientific», США);
5 – ампликон с неправильной ориентацией вставки, обработанный рестриктазой *NheI*

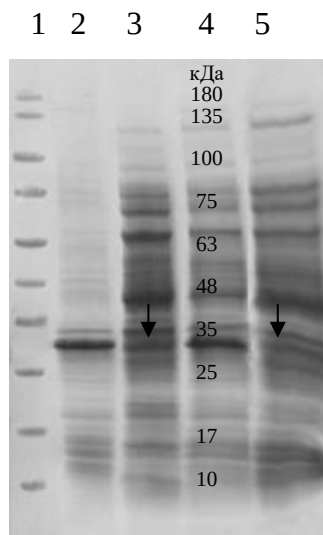
Рисунок 4 – Электрофореграмма рестрикционного анализа ампликонов IL-4-SUMO, полученных в ходе ПЦР трансформантов *E. coli* XL-1 Blue, содержащих рЕТ24b(+):IL-4-SUMO

При правильной ориентации вставки в результате рестрикции *NheI* образуются продукты размером 150 п. н. и 844 п. н., в то время как наличие продуктов размером 411 п. н. и 583 п. н. свидетельствует об обратной ориентации SUMO.

На следующем этапе конструкциями с правильной ориентацией вставки трансформировали бактерии штамма *E. coli* BL21-Gold (DE3) и индуцировали биосинтез белка, как было описано ранее (рисунок 5).

Присутствие на электрофореграмме продуктов размером около 30 кДа свидетельствует об успешной экспрессии фьюжн-конструкта рЕТ24b(+):IL-4-SUMO.

Наличие растворимой формы гибридного белка не удалось детектировать денситометрически, при этом выход продукта составил $18,62 \pm 0,78$ % от общего клеточного белка, что, по-видимому, связано с затруднением биосинтеза удлиненной формы гетерологичного белка.



Стрелками обозначен ИЛ-4-SUMO

- 1 – маркер молекулярного веса Prestained Protein Ladder (10–180 кДа, «neoFroxx», Германия);
 2 – нерастворимая фракция белков бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3), несущих pET24b(+):IL-4-SUMO, после четырех часов инкубации в присутствии ИПТГ;
 3 – растворимая фракция белков бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3), несущих pET24b(+):IL-4-SUMO, после четырех часов инкубации в присутствии ИПТГ;
 4 – белковый профиль бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3), несущих pET24b(+):IL-4-SUMO, после четырех часов инкубации в присутствии ИПТГ;
 5 – белковый профиль бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3), несущих pET24b(+):IL-4-SUMO, без индукции ИПТГ (контроль)

Рисунок 5 – ДСН-ПААГ электрофорез клеточных белков бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3), содержащих pET24b(+):IL-4-SUMO

Заключение

В результате исследования сконструирована оптимизированная для экспрессии в клетках бактерий *E. coli* последовательность структурной части человеческого гена интерлейкина-4 и разработаны праймеры для ее амплификации. Целевая последовательность клонирована в составе вектора pET24b(+) и экспрессирована в клетках бактерий *E. coli* BL21-Gold (DE3). Обнаружен высокий биосинтетический потенциал штамма, выраженный в способности накапливать целевой белок в количестве, превышающем 40 % от общего белка клетки. Установлена неспособность клеток штамма *E. coli* BL21-Gold (DE3) продуцировать ИЛ-4 в растворимой форме.

Слияние гена ИЛ-4 с фьюжн-партнером SUMO не привело к ожидаемому накоплению продукта в растворимой форме; кроме того, общий выход целевого белка уступает таковому при индукции отдельного гена.

С учетом терапевтического потенциала интерлейкина-4 планируется разработка протоколов выделения цитокина из телец включения, синтезируемых в клетках штамма *E. coli* BL21-Gold (DE3), несущего pET24b(+):IL-4, характеризующегося достаточно высоким выходом целевого белка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

1. Keegan, A. D. Recent advances in understanding the role of IL-4 signaling / A. D. Keegan, W. J. Leonard, J. Zhu // *Fac Rev.* – 2021. – Vol. 10 – P. 71.
2. IL-4 as a Repurposed Biological Drug for Myocardial Infarction through Augmentation of Reparative Cardiac Macrophages: Proof-of-Concept Data in Mice / Y. Shintani, T. Ito, L. Fields [et al.] // *Sci Rep.* – 2017. – Vol. 7, nr 1. – P. 68–77.

3. Interleukin-4 Treatment Restores Cellular Immunity After Ethanol Exposure and Burn Injury / K. A. N. Messingham, S. A. Heinrich, E. M. Schilling, E. J. Kovacs // *Alcoholism Clin Exp Res.* – 2002. – Vol. 26, nr 4. – P. 519–526.
4. Fabrication of Interleukin-4 Encapsulated Bioactive Microdroplets for Regulating Inflammation and Promoting Osteogenesis / Y. Zhang, J. Cao, M. Jian [et al.] // *IJN.* – 2023. – Vol. 18 – P. 2019–2035.
5. Advanced therapy medicinal products: current and future perspectives / E. Hanna, C. Rémuzat, P. Auquier, M. Toumi // *J Mark Access Health Policy.* – 2016. – Vol. 4. – P. 103–113.
6. Schmidt, F. R. Recombinant expression systems in the pharmaceutical industry / F. R. Schmidt // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 2004. – Vol. 65, nr 4. – P. 363–372.
7. Jia, B. High-throughput recombinant protein expression in *Escherichia coli*: current status and future perspectives / B. Jia, C. O. Jeon // *Open Biol.* – 2016. – Vol. 6, nr 8. – P. 160–196.
8. Overton, T. W. Recombinant protein production in bacterial hosts / T. W. Overton // *Drug Discovery Today.* – 2014. – Vol. 19, nr 5. – P. 590–601.
9. Baneyx, F. Recombinant protein folding and misfolding in *Escherichia coli* / F. Baneyx, M. Mujacic // *Nat Biotechnol.* – 2004. – Vol. 22, nr 11. – P. 1399–1408.
10. Brondyk, W. H. Chapter 11 Selecting an Appropriate Method for Expressing a Recombinant Protein / W. H. Brondyk // *Methods in Enzymology* // Elsevier, 2009. – Vol. 463. – P. 131–147.
11. SUMO fusion technology for difficult-to-express proteins / T. R. Butt, S. C. Edavettal, J. P. Hall, M. R. Mattern // *Protein Expr Purif.* – 2005. – Vol. 43, nr 1. – P. 1–9.
12. Comparison of SUMO fusion technology with traditional gene fusion systems: Enhanced expression and solubility with SUMO / J. G. Marblestone, S. C. Edavettal, Y. Lim [et al.] // *Protein Sci.* – 2006. – Vol. 15, nr 1. – P. 182–189.
13. Current protocols in molecular biology // ed. by F. M. Ausubel. – New York : Wiley, 1987. – Vol. 1.
14. Sanger, F. DNA sequencing with chain-terminating inhibitors / F. Sanger, S. Nicklen, A. R. Coulson // *Proc Natl Acad Sci U S A.* – 1977. – Vol. 74, nr 12. – P. 5463–5467.
15. Laemmli, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly the head of bacteriophage T4 / U. K. Laemmli // *Nature.* – 1970. – Vol. 227. – P. 680–685.
16. Protein Identification and Analysis Tools on the ExPASy Server / E. Gasteiger, C. Hoogland, A. Gattiker [et al.] // *The Proteomics Protocols Handbook.* – New Jersey : Humana Press, 2005. – P. 571–607.
17. Burland, T. G. DNASTAR's Lasergene Sequence Analysis Software / T. G. Burland // *Bioinformatics Methods and Protocols.* – New Jersey : Humana Press, 1999. – Vol. 132. – P. 71–91.
18. Quantifying Western blots: Pitfalls of densitometry / M. Gassmann, B. Grenacher, B. Rohde, J. Vogel // *Electrophoresis.* – 2009. – Vol. 30, nr 11. – P. 1845–1855.
19. Schneider, C. A. NIH Image to ImageJ: 25 years of Image Analysis / C. A. Schneider, W. S. Rasband, K. W. Eliceiri // *Nat Methods.* – 2012. – Vol. 9, nr 7. – P. 671–675.
20. Expression of recombinant human IL-4 in *Pichia pastoris* and relationship between its glycosylation and biological activity / R. Li, C. Xie, Y. Zhang [et al.] // *Protein Expression and Purification.* – 2014. – Vol. 96. – P. 1–7.
21. Enhanced soluble expression of active recombinant human interleukin-29 using champion pET SUMO system / A. Munir, N. Ahmed, M. Akram [et al.] // *Biotechnol Lett.* – 2023. – Vol. 45, nr 8. – P. 1001–1011.

**Ирина Даниловна Лукьянчик¹, Светлана Ивановна Щеперко²,
Дарья Дмитриевна Сурмач³**

¹канд. с.-х. наук, доц. каф. биологических и химических технологий

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²зав. отделением репродукции и планирования семьи Брестского областного родильного дома

³химик Республиканского унитарного предприятия «Белмедпрепараты»

Irina Lukyanchik¹, Svetlana Shcheperko², Darya Surmach³

¹Candidate of Agricultural Sciences,

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

²Head of the Department of Reproduction and Family Planning
of Brest Regional Maternity Hospital

³Chemist of the Republican Unitary Enterprise «Belmedpreparaty»

e-mail: ¹lukyanchikirina27@gmail.com; ²mgk@b-ord.by; ³dasha.surmach@mail.ru

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ ЖЕНСКОГО БЕСПЛОДИЯ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДЕВОЧЕК-ПОДРОСТКОВ В БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ПАЦИЕНТОВ БРЕСТСКОГО ОБЛАСТНОГО РОДИЛЬНОГО ДОМА)

Выявлены некоторые региональные особенности распространения и структуры женского бесплодия в Брестской области за 2018–2023 гг., что проявлялось в значительно менее выраженной тенденции к росту бесплодия по сравнению с Республикой Беларусь в целом (соотношение «республика – область» в 2019 г. составляло 1,75 на 100 тыс. женщин; в 2023 г. – 4,61), а также в неравномерности распределения по административно-территориальным районам области. Преобладающей формой бесплодия было первичное бесплодие; в структуре женского бесплодия первое место занимали смешанные факторы. Установлено, что в структуре заболеваемости репродуктивной системы девочек-подростков преобладали нарушения в эндокринной системе (нарушения менструального цикла) с тенденцией к уменьшению их доли за исследуемый период. Изменялось соотношение заболеваемости между сельскими и городскими подростками (их доля возрастала).

Ключевые слова: эпидемиология, женское бесплодие, структура бесплодия, репродуктивное здоровье, девочки-подростки.

Epidemiology of Female Infertility and Reproductive System Morbidity in Adolescent Girls in the Brest Region on the Example of Patients Brest Regional Maternity Hospital

Some regional features of the distribution and structure of female infertility in the Brest region for 2018–2023 have been identified, which manifested itself in a significantly less pronounced tendency towards an increase in infertility compared to the republic as a whole (the ratio «republic – region» in 2019 was 1,75 per 100 thousand women; and in 2023 – 4,61), as well as in the uneven distribution across the administrative-territorial districts of the region. The predominant form of infertility was primary infertility; in the structure of female infertility, mixed factors occupied the first place. It was established that in the structure of reproductive system morbidity in adolescent girls, disorders in the endocrine system (menstrual cycle disorders) predominated, with a tendency to decrease their share over the study period. The ratio of morbidity between rural and urban adolescents changed (their share increased).

Key words: epidemiology, female infertility, infertility structure, reproductive health, adolescent girls.

Введение

Биологическая репродукция – это воспроизведение организмами себе подобных, т. е. размножение. Этой способностью природа обеспечила всех живых существ для продления жизни на Земле.

Однако в современном обществе в разряд общегосударственных отнесена проблема бесплодного брака, что обусловлено ее существенным влиянием на демографические показатели.

Согласно заключению экспертов Всемирной организации здравоохранения, бесплодием страдает каждый шестой человек в мире (17,8 % взрослого населения), а также свыше 2–5 % всех женщин, желающих родить первого ребенка.

Поэтому в третьем тысячелетии это остается важной биомедицинской и социальной проблемой, прежде всего для развитых стран с низким уровнем рождаемости, поскольку при частоте бесплодия в 15 % и выше наблюдается значительное снижение демографических показателей [1].

Демографическая ситуация в Республике Беларусь остается также сложной. За 2016–2019 гг. численность населения сократилась на 96,3 тысячи человек, а коэффициент естественной убыли населения в Беларуси в 2019 г. составил 3,5 на 1000 человек населения; на 1 января 2023 г. за год население сократилось еще на 55 тыс. человек. Снижение рождаемости может привести к демографическому кризису, что создает угрозу национальной безопасности страны [2; 3].

В Беларуси фиксируется стабильно высокая динамика роста количества женщин с диагнозом «бесплодие». Так, в 2019 г. было зафиксировано 202,5 случая на 100 тыс. женского населения, в 2020 г. – 184,7 на 100 тыс., а в 2023 г. – 750 на 100 тыс. (для сравнения: в 2009 г. – 138,7 на 100 тыс.) [3].

Зачастую риск развития бесплодия возникает еще в детском возрасте. По данным официальной статистики, около 40 % детей рождаются с различными патологиями [4]. Заболевания репродуктивной системы является препятствием на пути прогресса в области репродуктивного здоровья девушек-подростков, т. к. затрагивают широкий круг вопросов: планирование семьи, здоровье матерей и новорожденных, профилактика, диагностика и лечение заболеваний, передающихся половым путем, репродуктивное здоровье подростков, профилактика и лечение бесплодия [5; 6].

Для Республики Беларусь проблема формирования позитивных репродуктивных установок, внедрения новых технологий как лечения, так и профилактики заболеваний репродуктивной сферы особенно актуальна.

Разработка мер по укреплению репродуктивного здоровья населения является приоритетным направлением в области охраны здоровья и демографической безопасности на 2021–2025 гг. и составляет основу Государственной программы Республики Беларусь «Здоровье народа и демографическая безопасность» [7].

Программа ВОЗ по репродукции человека рекомендует проведение популяционных эпидемиологических исследований, которые позволяют определить истинную частоту и структуру причин бесплодия в различных регионах планеты [1].

В целом эпидемиологическая ситуация относительно бесплодия в Беларуси имеет, безусловно, общие тенденции, при этом не вызывает сомнений наличие региональных особенностей в распространенности и структуре бесплодия.

Углубленный анализ таких особенностей необходим для определения проблем каждого региона в оказании необходимой лечебно-диагностической помощи и профилактических мероприятий [6; 8].

В Брестской области решением медицинских проблем, связанных с бесплодием, занимаются специалисты отделения репродукции и планирования семьи медико-генетической консультации Брестского областного родильного дома.

В соответствии с договором о сотрудничестве с Брестским государственным университетом имени А. С. Пушкина было проведено популяционное эпидемиологическое исследование женского бесплодия в Брестской области в течение шести лет (2018–2023), а также особенностей заболеваемости репродуктивной системы у девочек-подростков как потенциальных факторов риска развития бесплодия.

Цель данного исследования – оценить особенности эпидемиологии и некоторых биосоциальных причин бесплодия в 2018–2023 гг. среди женщин, проживающих

на территории Брестской области, а также выявить особенности заболеваемости репродуктивной системы у девочек-подростков как факторов риска развития бесплодия на примере работы отделения репродукции и планирования семьи Брестского областного родильного дома (далее – БОРД).

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2023–2024 гг. на базе БОРД. Анализируемые периоды по разным направлениям исследований составляли пять (2018–2022 гг.) и шесть лет (2018–2023 гг.). Объект исследования – женщины с диагнозом «бесплодие» и подростки 15–17 лет – пациентки отделения репродукции и планирования семьи БОРД, проживающие на территории Брестской области.

Материалы исследования: бюллетени Национального статистического комитета Республики Беларусь (www.belstat.gov.by) за 2018–2023 гг. с данными о количестве жителей и женского населения в Брестской области в целом и по районам; официальные статистические сборники «Здравоохранение в Республике Беларусь» за период 2018–2022 гг.; статистические данные отдела ЗАГС Брестского райисполкома о количестве новорожденных в Брестской области за 2018–2023 гг.; сводные отчеты отделения репродукции и планирования семьи БОРД за 2018–2023 гг.

В ходе исследований были использованы следующие методические приемы: анализ сводных отчетов и сопоставление данных.

Количественные показатели выражались в абсолютных цифрах (n) и относительных (%) и на 100 тыс. женского населения Брестской области, в т. ч. в выборках женщин возрастных групп (в соответствии с возрастными когортами статистических сборников): 19–39 и 15–39 лет.

Критерии оценки: динамика и распределение численности по годам (2018–2023), по административно-территориальным центрам Брестской области (2018–2022); распределение по видам и формам заболеваний репродуктивной системы; распределение по местности проживания (город/село).

Статистический анализ проводился с использованием методов описательной статистики.

Для относительных значений определялся 95 %-й доверительный интервал ($\min - \max$) методом Клоппера – Пирсона с использованием программы Excel. Относительные величины представлены в виде $\bar{X} \pm SD$.

Результаты и их обсуждение

Эпидемиология женского бесплодия в Брестской области

Пациентки отделения репродукции и планирования семьи БОРД с диагнозом «бесплодие» – выборка женского населения Брестской области, наиболее достоверно отражающая особенности динамики встречаемости женского бесплодия.

Женское население Брестской области в среднем за 2018–2023 гг. составляло $721\,515,50 \pm 3610,79$ человек и имело тенденцию к снижению.

На долю репродуктивного возраста (19–39 лет) приходилось $\approx 24,2$ % женщин. В возрастную группу 15–17 лет входили девочки-подростки 15–17 лет, и эта группа составляла $\approx 4,25$ % всего женского населения.

За анализируемый период $8,03 \pm 0,01$ % от возрастной группы 18–39 лет родили детей (варьирование было незначительным).

Анализ отчетной документации отделения репродукции и планирования семьи БОРД за шесть лет (2018–2023 гг.) показал, что абсолютное число женщин, состоящих на учете с диагнозом «бесплодие», в среднем в год составляло $965,17 \pm 55,37$, или 0,57 % от женщин в возрасте 18–39 лет.

В интенсивных показателях средняя доля бесплодия на 100 тыс. женщин репродуктивного возраста за 2018–2023 гг. составила $405,37 \pm 31,81$ случая, или $134,02 \pm 23,42$ на 100 тыс. всего женского населения области.

Для выявления особенностей динамики распределения частоты встречаемости бесплодия по годам были использованы данные статистических сборников и научных публикаций.

Так, например, в 2019 г. встречаемость женского бесплодия в Беларуси составляла 202,5 случая на 100 тыс. женщин, а в Брестской области, по данным БОРД, – 115,96, т. е. в 1,75 раза меньше.

В 2020 г. соотношение «республика/область» женщин с бесплодием соответствовало как 184,7 / 132,41 случая, а в 2023 г. – 750 / 162,76.

Как видно из данных, в 2023 г. в отделение репродукции и планирования семьи обратилось в 4,61 раза меньше женщин с бесплодием, чем в среднем по республике.

Эпидемиология женского бесплодия по административно-территориальным районам Брестской области

Брестская область расположена на юго-западе страны, на юге граничит с Украиной, на западе – с Польшей и включает 16 административно-территориальных районов, которые характеризуются не только особенностями рельефа, типов растительности, но и самобытной культурой, традициями, которые наиболее выражены в юго-восточной части Полесья.

Эта территория также пострадала от чернобыльской катастрофы, что делает актуальным проведение эпидемиологического анализа распространения женского бесплодия по административным районам.

Его результаты представлены на рисунке 1, где отражены средние значения встречаемости женского бесплодия за пять лет (2018–2022) в каждом районе области (в пересчете на 100 тыс. женского населения).

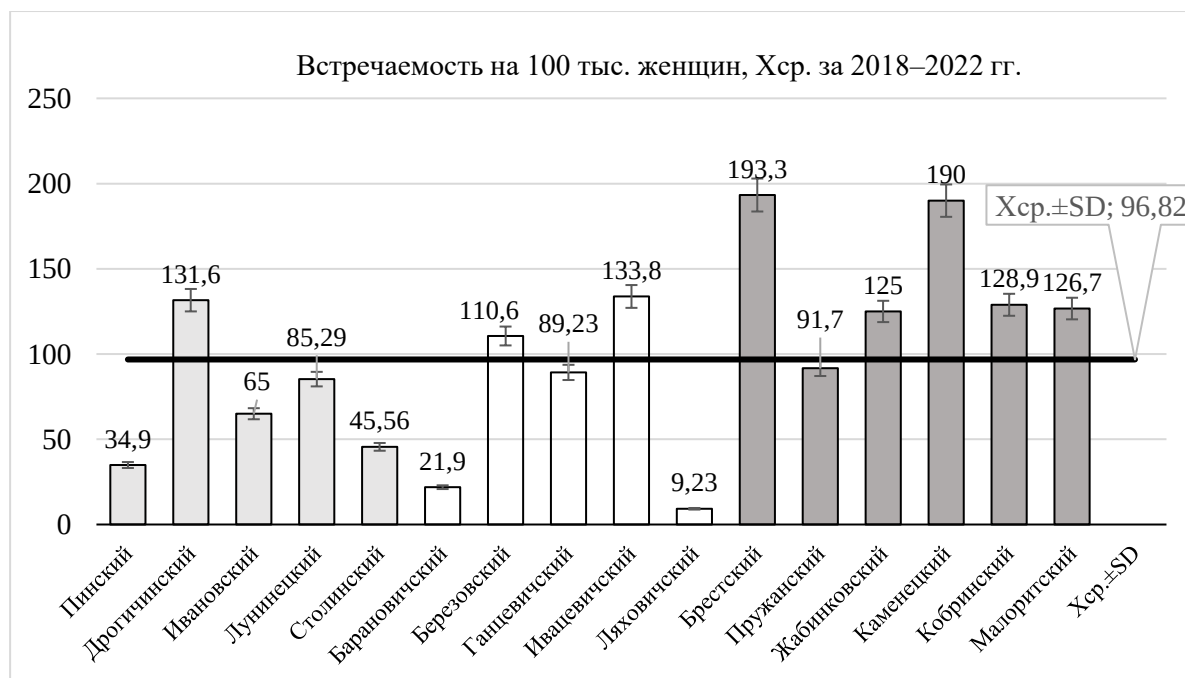


Рисунок 1 – Распределение средних значений интенсивных показателей бесплодия по административно-территориальным районам Брестской области за период с 2018 по 2022 г., по данным БОРД, на 100 тыс. женского населения

Как видно из диаграммы, в среднем для области за пять лет было характерно 96,82 случая бесплодия на 100 тыс. женщин, при этом разница между верхним и нижним доверительными интервалами имела большой размах: от 9,23 в Ляховичском до 193,3 в Брестском районе.

В структуре отчетной документации отделения репродукции и планирования семьи БОРД районы Брестской области были сгруппированы в три региона по географическому размещению (на диаграмме рисунка 1 они выделены разными оттенками): группа районов юго-восточной части области (далее – группа I), центральной (группа II) и западной (группа III).

Анализ диаграммы показал, что наибольшей встречаемостью бесплодия в расчете на 100 тыс. женщин характеризовалась группа III (шесть районов).

В пяти из них она превышала среднее значение по области: 125–128,9 случая (в Жабинковском, Кобринском и Малоритском районах), при этом максимум приходился на Брестский и Каменецкий – 190–193,3 случая на 100 тыс. женского населения, что соответствовало показателям по республике в целом.

Только в Пружанском районе показатель соответствовал среднереспубликанскому для этого периода.

Достоверно более низкими интенсивными показателями встречаемости женского бесплодия характеризовались пять районов из шести, которые входили в группу I, за исключением Дрогичинского (131,6 случая): размах варьирования среди основной части группы I был в пределах от 34,9 (Пинский) до 85,29 (Лунинецкий).

Самая низкая встречаемость отмечена в двух самых северных районах области, входящих в группу II, – Ляховичском и Барановичском: 9,23 и 21,9 случая соответственно. В центральных же районах этой группы установлена частота встречаемости женского бесплодия близко к среднему значению по области (Ганцевичский) и достоверно выше (Березовский и Ивацевичский).

Анализ распределения численности женского бесплодия по годам показал, что в 11 районах области в 2018–2022 гг. наблюдалось количественное плато.

В трех районах с крупными районными центрами – в Пинском, Барановичском и Брестском – количество случаев бесплодия достоверно возросло в 2022 г. При этом для Пинского района был установлен ежегодный прирост, и за пять лет количество случаев женского бесплодия выросло в семь раз. Для Малоритского района установлена обратная тенденция – уменьшение числа женщин с диагнозом «бесплодие».

Эпидемиология бесплодия в возрастной группе «15–39 лет»

Распределение по годам относительной встречаемости случаев женского бесплодия в Брестской области было проанализировано на примере пациенток возрастной группы «подростки + женщины активного репродуктивного возраста» (т. е. 15–39 лет) в течение 2018–2023 гг.

Подростки были включены в эту выборку для дальнейшего сравнения распределения заболеваемости. Результаты отражены на графике рисунка 2.

В данной группе встречаемость бесплодия в среднем за 6 лет составляла 0,24 %, или 489,67 случая на 100 тыс. человек, а нижний и верхний доверительные интервалы составляли 403,33 и 555,71 соответственно.

Как видно из графика рисунка 2, с 2019 г. имела место положительная количественная динамика встречаемости женского бесплодия в области: прирост по годам составлял $37,8 \pm 13,02$ случая.

Минимум приходился на 2019 г. – 403,33 случая на 100 тыс. группы «15–39 лет», а в 2023 г. достиг значения 555,71 (+37,8 %, или +152,38 случая за пять лет).

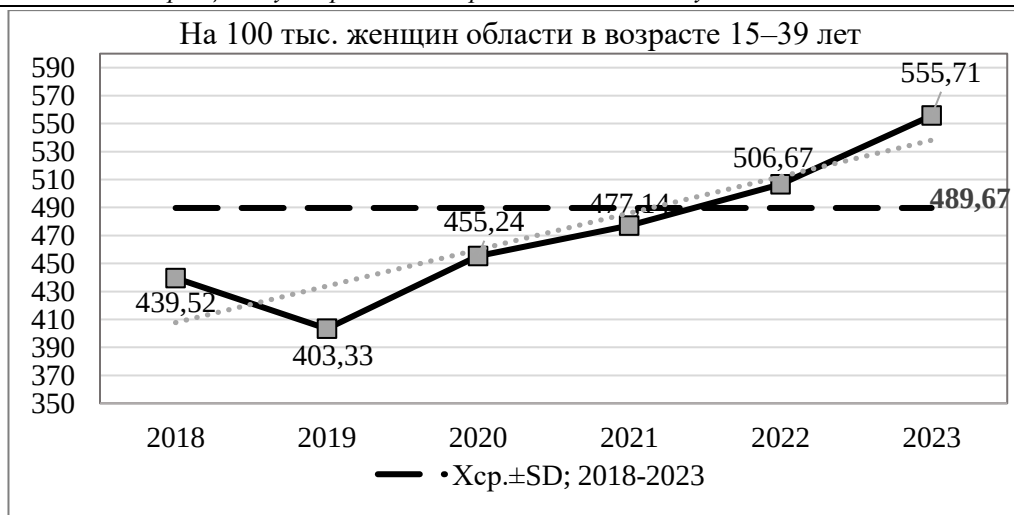


Рисунок 2 – Динамика распределения относительной встречаемости случаев женского бесплодия на территории Брестской области за 2018–2023 гг., по данным БОРД, на 100 тыс. женского населения в возрасте 15–39 лет

Эпидемиология форм и факторов женского бесплодия

Женское бесплодие имеет две формы проявления – первичное и вторичное. Анализ данных по распределению выборки женского населения с диагнозом «бесплодие» показал, что на протяжении 2018–2023 гг. наблюдалось относительное постоянство в соотношении форм ($S = 3,12$). Так, преобладало первичное бесплодие, на долю которого в среднем за шесть лет приходилось $64,51 \pm 3,12$ случая, при этом в 2023 г. имела место небольшая тенденция к уменьшению доли данной формы. Соответственно, вторичное бесплодие имело место за исследуемый период у $35,49 \pm 3,12$ % женщин с диагнозом «бесплодие».

В результате проведенного исследования выявлено, что ведущее место в структуре бесплодия за период 2018–2023 гг. играли смешанные факторы – $46,16 \pm 2,42$ %; на втором месте – эндокринный фактор ($22,52 \pm 6,1$ %), на третьем – трубно-перитонеальный ($18,59 \pm 3,6$ %); на четвертом месте – мужской фактор ($8,93 \pm 1,16$ %); затем незначительно – маточный ($2,52 \pm 2,04$ %), шеечный ($0,93 \pm 0,21$ %) и иммунный факторы ($0,62 \pm 0,04$ %).

При анализе распределения встречаемости того или иного фактора по годам было установлено, что с 2018 по 2023 г. на 12 % снизилась доля эндокринных заболеваний. При этом имела место тенденция к увеличению за шесть лет долей маточного, мужского и сочетанного факторов.

Эпидемиология заболеваемости репродуктивной системы девочек-подростков

Репродуктивное здоровье детей определяется множеством факторов. В период полового созревания происходят наиболее интенсивные изменения гормональной регуляции, т. е. происходит увеличение биологической активности половых стероидов. Их физиологические эффекты формируют потенциал фертильности. Расстройства эндокринной системы в раннем возрасте представляют огромную значимость в развитии репродуктивного потенциала у девочек. Гормональные изменения инициируют бесплодие в репродуктивном возрасте, и это может стать причиной развития патологий.

Действительно, сложная демографическая ситуация во многом обусловлена низким репродуктивным потенциалом молодежи, вступающей в семейную жизнь.

Одним из главных направлений деятельности отделения репродукции и планирования семьи БОРД является лечение гинекологических заболеваний у девочек от рождения до 18 лет). Большинство девочек-подростков 15–18 лет из районов

Брестской области обращаются сюда за консультацией и лечением. Эта выборка пациентов легла в основу эпидемиологических исследований подростковой заболеваемости репродуктивной системы как потенциальных факторов риска развития бесплодия.

На рисунке 3 представлены данные по распределению количества обращений в БОРД девочек-подростков с нарушениями в функционировании репродуктивной системы за период 2018–2023 гг., которые выражались в интенсивных величинах – в количестве на 100 тыс. женщин возрастной группы «15–39 лет».

Как показано в диаграмме, в среднем за шесть лет выборка девочек-подростков составила примерно $163,1 \pm 11,34$ на 100 тыс. женщин 15–39 лет. Распределение численности по годам было относительно неравномерным – от 153,47 в 2018 г. до 177,57 в 2023 г. Однако линия тренда оказалась восходящей (8^0), что указывает на слабую положительную тенденцию для промежутка в шесть лет: встречаемость проблем с репродуктивной системой к 2023 г. возросла.

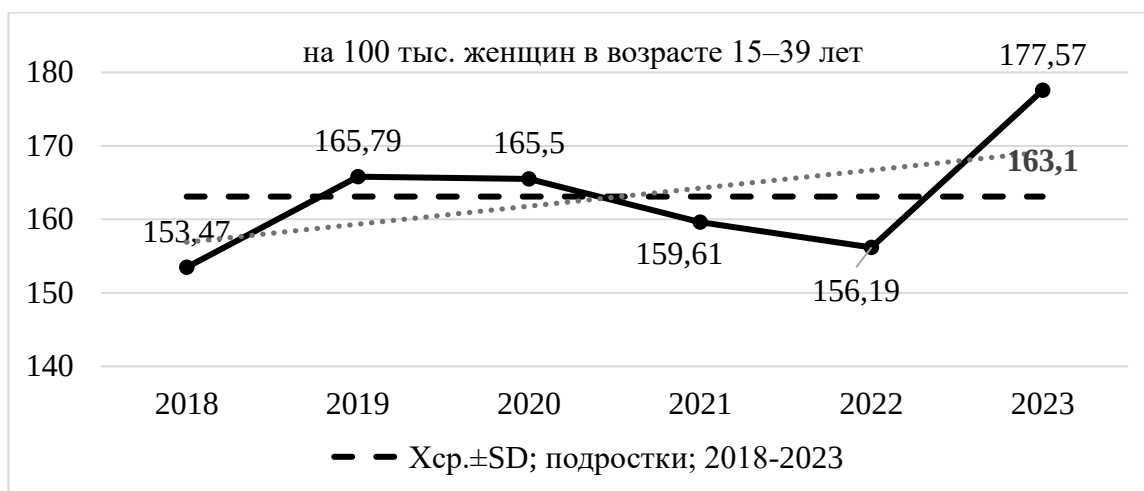


Рисунок 3 – Динамика относительной встречаемости, по данным БОРД, случаев заболеваемости репродуктивной системы девочек-подростков Брестской области за 2018–2023 гг. (на 100 тыс. женщин 15–39 лет)

Далее была предпринята попытка проанализировать, какие формы патологий имелись у подростков и каков был характер их долевого распределения для данной выборки. Так, было установлено, что нарушения в репродуктивной системе затрагивали четыре класса болезней согласно Международной классификации (МКБ-10): класс II (Новообразования: D 28.2 и D 27), класс III (Болезни эндокринной системы: E 22.1; E 23.3; E 28.1; E 28.2; E 30.0), класс IV (Болезни мочеполовой системы: N 70.0; N 83.0; N 86.0; N 83.1; N 91.0; N 91.1; N 91.3; N 91.4; N 92.0; N 94.3; N 94.4) и класс XVII (ВПР и хромосомные аномалии: Q 51.0; Q 51.1; Q 51.3; Q 52.9; Q 52.3; Q 96; Q 97.3).

В среднем за шесть лет преобладали болезни половой системы (класс IV), доля которых среди других классов составляла 79,89 %, и три четвертые из них приходилось на виды заболеваний, связанных с нарушениями менструального цикла. В динамике по годам в этом классе наблюдалась тенденция к постепенному снижению к 2023 г. количества случаев примерно на 11 %.

Доля заболеваний классов II и III составляла 7–7,4 %. Основную их часть составляли киста яичника и гипотоламо-гипофизарный синдром.

На долю врожденных пороков развития (класс XVII) приходилось 3,77 %, а хромосомные аномалии встречались в 1,8 % случаев и в большинстве своем были представлены синдромом Шершевского – Тернера.

Также выявлена тенденция к 2023 г. снижения у данной выборки на 60 % случаев ВПР и рост на 30 % числа хромосомных аномалий.

При оценке динамики распределения девочек-подростков – пациенток БОРД – по местности проживания в течение 2018–2023 гг. было установлено, что в 2018 и 2019 гг. преобладали жительницы села (58,8 и 57,2 %), затем в 2020 г. их доля резко упала до 38,3 % и в промежутке 2020–2022 гг. начала расти до 52 %, а в 2023 г. снова понизилась до 38 %. Таким образом, в структуре исследуемой выборки пациенток в 2020 г., когда наблюдался пик коронавирусной инфекции, преобладали обращения городских подростков (61,7 %), и эта тенденция вернулась в 2023 г. (62 %).

Заклучение

Популяционные эпидемиологические исследования характера распространения и структуры причин женского бесплодия в Брестской области за 2018–2023 гг. на примере выборки, включающей в себя пациенток отделения репродукции и планирования семьи БОРД, позволили выявить некоторые региональные особенности. Так, абсолютное число женщин, состоящих на учете с диагнозом «бесплодие», в среднем за шесть лет составляло $965,17 \pm 55,37$ человек в год, или $134,02 \pm 23,42$ – на 100 тыс. женского населения области. В возрастной группе репродуктивного возраста (19–39 лет) эта выборка составила 0,57 %, или $405,37 \pm 31,81$ случаев на 100 тыс. женщин.

За шесть лет имела место положительная тенденция увеличения количества случаев женского бесплодия на 100 тыс. женщин: минимум от 115,96 в 2019 г. до 162,76 в 2023 г. (максимум). Однако эта тенденция была значительно менее выражена, чем в целом по республике: соотношение встречаемости на 100 тыс. женщин «республика/область» в 2019 г. составляло 1,75; а в 2023 г. – 4,61.

Выявлена неравномерность распределения частоты встречаемости женского бесплодия по административно-территориальным районам Брестской области за 2018–2022 гг. и большой размах варьирования средних значений за исследуемый период: минимум наблюдался в двух самых северных районах области (Ляховичском и Барановичском: 9,23 и 21,9 случая соответственно). Максимум соответствовал показателям по республике в целом и был установлен в Брестском и Каменецком районе: 190 и 193,3 случая на 100 тыс. женского населения. В 12 районах (из 16) области в течение 2018–2022 гг. наблюдалось количественное плато, кроме трех, с крупными районными центрами (Пинский, Барановичский и Брестский), где количество случаев бесплодия достоверно возросло к 2022 г., и Малоритского района, где в течение пяти лет наблюдалась тенденция к снижению числа женщин с диагнозом «бесплодие».

На протяжении 2018–2023 гг. наблюдалось относительное постоянство в соотношении форм женского бесплодия ($S = 3,12$). Так, преобладало первичное бесплодие, на долю которого в среднем за шесть лет приходилось 64,51 % всех случаев.

В структуре бесплодия за 2018–2023 гг. преобладали смешанные факторы – $46,16 \pm 2,42$ %. В тройку ведущих причинных факторов также входили эндокринный ($22,52 \pm 6,1$ %) и трубно-перитонеальный ($18,59 \pm 3,6$ %). Установлено, что с 2018 г. по состоянию на 2023 г. снизилась доля эндокринных заболеваний (на 12 %). При этом имела место тенденция к увеличению за шесть лет долей маточного, мужского и смешанного факторов. Учитывая ведущее место многофакторности причин бесплодия очевидно, что формы лечения будут сложным, материально затратными.

В среднем за шесть лет выборка девочек-подростков составила $163,1 \pm 11,34$ человека на 100 тыс. женщин 15–39 лет. Распределение численности по годам было относительно неравномерным, со слабой тенденцией к увеличению в течение шести лет: от 153,47 случая в 2018 г. до 177,57 в 2023 г.

Нарушения в репродуктивной системе девочек подростков (15–18 лет) относились к четырем классам болезней согласно Международной классификации (МКБ-10): класс II (Новообразования), доля в структуре – 7 %; класс III (Болезни эндокринной системы) – 7,4 %; класс IV (Болезни мочеполовой системы) – 79,89 %, и класс XVII (ВПР и хромосомные аномалии) – 5,57 %. Также у данной выборки выявлена тенденция снижения к 2023 г. на 11 % доли заболеваний класса IV, на 60 % – ВПР и рост на 30 % числа хромосомных аномалий.

У девочек подростков около 75 % видов заболеваний класса IV были связаны с нарушениями менструального цикла. Хромосомные аномалии встречались в 1,8 % случаев и в большинстве своем были представлены синдромом Шершевского – Тернера.

В структуре выборки девочек-подростков, пациенток БОРД, в 2018–2019 гг. преобладали жительницы сельской местности (58,8 и 57,2 %), затем их доля в 2020 г. сократилась до 38,3 %, и к 2023 г. в структуре пациенток стало больше городских подростков (62 %).

Углубленный анализ характера распространения и структуры причин женского бесплодия, а также заболеваемости репродуктивной системы девочек-подростков в Брестской области за 2018–2023 гг. необходим для определения региональных проблем в оказании необходимой лечебно-диагностической помощи и профилактических мероприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Всемирная организация здравоохранения. Оценки распространенности бесплодия: международный отчет по результатам исследований 1990–2021 гг. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/978920068315> (дата обращения: 28.09.2024).
2. Население Беларуси за год уменьшилось на 55 тыс. человек / Демографический ресурсный центр БГУ, 28.03.2023. – URL: <https://demography.bsu.by/> (дата обращения: 20.09.2024).
3. Салмина, А. В. Об актуальных направлениях социологических исследований внедрения вспомогательных репродуктивных технологий в Беларуси / А. В. Салмина // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2021. – Вып. 19, № 4. – С. 451–456.
4. Телицына, А. Ю. Оценка детского благополучия: международный и российский опыт в рамках теории новой социологии детства / А. Ю. Телицына // Социальные науки и детство – 2022. – Т. 3, № 2. – С. 120–131. – DOI 10.17759/ssc.2022030208.
5. Сурмач, М. Ю. Репродуктивные установки и репродуктивное поведение молодежи Беларуси / М. Ю. Сурмач // Социология. – 2008. – № 1. – С. 145–151.
6. Антипова, С. И. Проблема болезней половых органов у населения Беларуси / С. И. Антипова, И. И. Савина // Медицинские новости. – 2013. – № 2 (221). – С. 76–80.
7. О Государственной программе «Здоровье народа и демографическая безопасность» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 19 янв. 2021 г., № 28 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – Мн., 2021. – 5/48712. – URL: <https://mintrud.gov.by/uploads/files/POSTANOVLENIE-ot-26.12.2023.pdf> (дата обращения: 12.02.2024).
8. Боровкова, В. В. Территориальные вариации заболеваемости женщин бесплодием / В. В. Боровкова, Т. П. Сабгайда, А. В. Зубко // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2024. – № 4. – С. 75–94. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/-n/territorialnye-variatsii-zabolevaemosti-zhenschin-besplodiem> (дата обращения: 13.04.2025).

REFERENCES

1. Vsemirnaya organizatsiya zdavookhraneniya. Otsenki rasprostranennosti besplodiya: mezhdunarodnyi otchet po rezul'tatam issledovaniy 1990–2021 gg. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/978920068315> (data obrashcheniya: 28.09.2024).
2. Naselenie Belarusi za god umen'shilos' na 55 tys. chelovek / Demograficheskii resursnyi tsentr BGU, 28.03.2023. – URL: <https://demography.bsu.by/> (data obrashcheniya: 20.09.2024).
3. Salmina, A. V. Ob aktual'nykh napravleniyakh sotsiologicheskikh issledovaniy vnedreniya vspomogatel'nykh reproduktivnykh tekhnologii v Belarusi / A. V. Salmina // Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. – 2021. – Vyp. 19, № 4. – S. 451–456.
4. Telitsyna, A. Yu. Otsenka detskogo blagopoluchiya: mezhdunarodnyi i rossiiskii opyt v ramkakh teorii novoi sotsiologii detstva / A. Yu. Telitsina // Sotsial'nye nauki i detstvo – 2022. – T. 3, № 2. – С. 120–131. – DOI 10.17759/ssc.2022030208.
5. Surmach, M. Yu. Reproaktivnye ustanovki i reproduktivnoe povedenie molodezhi Belarusi / M. Yu. Surmach // Sotsiologiya. – 2008. – № 1. – S. 145–151.
6. Antipova, S. I. Problema boleznei polovykh organov u naseleniya Belarusi / S. I. Antipova, I. I. Savina // Meditsinskie novosti. – 2013. – № 2 (221). – S. 76–80.
7. O Gosudarstvennoi programme «Zdorov'e naroda i demograficheskaya bezopasnost'» na 2021–2025 gody : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 19 yanv. 2021 g., № 28 // Natsional'nyi reestr pravovykh aktov Respubliki Belarus'. – Mn., 2021. – 5/48712. – URL: <https://mintrud.gov.by/uploads/files/POSTANOVLENIE-ot-26.12.2023.pdf> (data obrashcheniya: 12.02.2024).
8. Borovkova, V. V. Territorial'nye variatsii zaboлеваemosti zhenshchin besplodiem / V. V. Borovkova, T. P. Sabgaida, A. V. Zubko // Sovremennye problemy zdavookhraneniya i meditsinskoi statistiki. – 2024. – № 4. – S. 75–94. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/-n/territorialnye-variatsii-zaboлеваemosti-zhenschin-besplodiem> (data obrashcheniya: 13.04.2025).

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 17.07.2025

Владимир Владимирович Устин

зав. сектором заповедного дела Научно-практического центра
Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам

Uladzimir Ustsin

Head of the Department of Nature Reserves of the Scientific and Practical Center
of National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources

e-mail: ustinvladimir@gmail.com

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ПОНЯТИЯ И КАТЕГОРИИ «ЗАКАЗНИК» В СИСТЕМЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ЗАПОВЕДНОГО ДЕЛА

Приведены результаты анализа формирования понятия и категории «заказник» в системе особо охраняемых природных территорий Беларуси в контексте развития заповедного дела страны. Выделены пять этапов развития заповедного дела в Беларуси и формирования национальной системы ООПТ. Приведены данные об особенностях и изменениях в подходах к объявлению заказников, обеспечению их функционирования, классификации, установлению режимов охраны и использования природных ресурсов, управлению такими территориями на каждом этапе.

Ключевые слова: *особо охраняемая природная территория, система ООПТ, заказник, заповедник, памятник природы, природные ресурсы, охотничьи ресурсы.*

On the Shaping of the «Zakaznik» Concept and Category in Belarus' Specially Protected Natural Areas in the Context of National Reserve Management Development

The article presents the results of an analysis of «zakaznik» concept and category formation within the system of specially protected natural areas in Belarus, in the context of the country's development of nature conservation. Five stages of nature conservation efforts development in Belarus and the formation of the national SPNA system are identified. Data are provided on the characteristics and changes in approaches to declaring zakazniks, ensuring their functioning, classification, establishing protection and use regimes for natural resources, and managing such territories at each stage.

Key words: *specially protected natural area, SPNA system, zakaznik, reserve, natural monument, natural resources, hunting resources.*

Введение

Одним из основных механизмов сохранения и восстановления биологического и ландшафтного разнообразия как в мире, так и в Беларуси является обеспечение функционирования системы (либо сети) особо охраняемых природных территорий (ООПТ) как процесса непрерывной адаптации и пространственных изменений, вызванных меняющимися экологическими условиями. В текущем году заповедное дело в Беларуси отмечает 100 лет, когда система ООПТ претерпела множество изменений, в т. ч. концептуальных: от охраны отдельных хозяйственно важных природных ресурсов или объектов до комплексной охраны экосистем и реализации мероприятий по восстановлению нарушенных угодий. Современная система ООПТ (на 01.01.2025 [1]) охватывает 1,9 млн га земель (9,2 % территории Беларуси) и представлена 1355 территориями, в числе которых один заповедник, четыре национальных парка, 98 заказников республиканского значения и 280 местного значения, 321 памятник природы республиканского значения и 651 значения местного. При этом по категориям на заказники приходится 1,4 млн га, что составляет 6,81 % территории страны и 74,1 % площади ООПТ. Однако в контексте развития системы ООПТ Беларуси процесс формирования понятия «заказник» и выделения такого типа природоохранных территорий в качестве отдельной категории ООПТ является малоизученным вопросом, раскрытие которого, в свою очередь, позволит в последующем выполнить более детализированный анализ репрезентативности и полноты охвата экосистем и ландшафтов в пространственной структуре как заказников, так и в целом системы ООПТ, а выводы

по результатам такого анализа могут использоваться при разработке очередной стратегии развития системы ООПТ и схем рационального размещения ООПТ. Изначально понятие «заказник» было близким к понятию «заповедник».

В начале XX в. русские охотоведы Н. Ф. Томкевич и Д. К. Соловьев предложили уточнение этих понятий [2]: заповедники создаются для сохранения природы в полной неприкосновенности, где исключается влияние человека, а заказники – это территории, где вводится заповедный режим или только запрет на охоту на определенный срок с целью восстановления численности охотничьих видов животных.

Цель исследования – выполнить анализ особенностей формирования понятия и категории «заказник» в системе ООПТ Беларуси в контексте развития заповедного дела страны.

Задачи исследования:

- 1) выделить ключевые этапы развития заповедного дела и формирования современной системы ООПТ;
- 2) определить место и роль типа природоохранной территории «заказник» на каждом этапе развития системы ООПТ;
- 3) проследить изменение подходов к определению понятия «заказник» в контексте развития заповедного дела Беларуси.

Материалы и методы исследования

В рамках исследования использовались ведомственные материалы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Минприроды), НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам и других институтов НАН Беларуси, фондовые материалы Национального архива Республики Беларусь, касающиеся вопросов создания и функционирования заповедных территорий и объектов. Исследование выполнено на основе комплексных методов научного анализа, включающих: документальный метод (сбор, систематизация и анализ законодательных и нормативных актов, стратегических документов и международных соглашений, влияющих на формирование системы ООПТ); историко-правовой анализ (изучение развития законодательства в области охраны ООПТ в Беларуси и выделения этапов формирования системы ООПТ); сравнительный анализ (выявление изменений в подходах к классификации, режимам охраны ООПТ на различных этапах); аналитический метод (интерпретация полученных данных, выявления тенденций и особенностей развития системы ООПТ в Беларуси).

Результаты и их обсуждение

На основе выполненного анализа в развитии заповедного дела Беларуси четко прослеживается смена идей и подходов: «абсолютная заповедность» – «экспериментальные полигоны и воспроизводство ресурсов» – «сохранение природы как среды обитания человека» – «территориальное планирование и комплексный подход» – «восстановление нарушенных экосистем и управление», что дает возможность выделить пять основных этапов формирования системы ООПТ.

1-й этап. 1920-е гг. – 1939 г. Становление современной системы ООПТ можно отсчитывать с 1925 г., когда на территории Беларуси был объявлен первый «Белорусский заповедник на реке Березине» (Березинский биосферный заповедник). Однако процесс формирования системы правовых норм, регулирующих вопросы функционирования охраняемых природных территорий (ОПТ) и объектов, начался с принятия в 1921 г. первого нормативного правового акта советской власти – Декрета Совета народных комиссаров (далее – Совнарком) РСФСР от 16 сентября 1921 г. «Об охране памятников природы, садов и парков», которым закреплялись принципы заповедности и закладывались основы классификации ОПТ [3–5]. На данном этапе в контексте

природоохранных территорий понятие «заказник» еще не выделялось. В это время в Беларуси в условиях роста национальной самоидентификации и развития краеведческой работы активно велась научная деятельность по обоснованию передачи под охрану ценных природных объектов: садов, парков, деревьев и др. Как результат, в 1926 г. был утвержден первый перечень памятников природы, которые передавались под охрану государству. Первый этап развития заповедного дела выделен на основании того, что в рассматриваемый период происходит становление системы природоохранных территорий в условиях идей «абсолютной заповедности», но уже к концу 1930-х гг. происходит постепенная трансформация целей заповедных территорий в сторону их планового и практического использования, в т. ч. в качестве территорий по воспроизводству охотничьих видов животных, что и стало основанием для проведения границы между первым и вторым этапами.

2-й этап. 1939 г. – начало 1960-х гг. Началом рассматриваемого этапа можно считать создание в конце 1939 г. первого специализированного ведомства – Управления по заповедникам, зоопаркам и зоосадам при Совнарком БССР, в функции которого входила разработка методов рационального использования и охраны охотничье-промысловой фауны. Одновременно с этим в декабре 1939 г. был учрежден Белорусский государственный заповедник «Беловежская пуца» на площади 129,2 тыс. га.

В рассматриваемый временной период в заповедном деле происходит переход от идей «абсолютной заповедности» к реализации практических задач по преобразованию природы (увеличение численности «полезных» видов животных, регулирование «вредных» видов, вселение чужеродных видов, гибридизация и др.), также в практику ведения лесного и охотничьего хозяйств вводится понятие «заказник».

Так, Главное управление по делам охотничьего хозяйства Государственной инспекции по охотничьему промыслу при Совнарком БССР получило право организовывать «охотничьи заказники», под которыми понимали ограниченные в натуре охотничьи угодья, где устанавливался запрет на охоту на определенный срок (до 10 лет) [6; 7]. Уже в 1949 г. были объявлены первые республиканские охотничьи заказники «Борисовский» (Минская область), «Любчанский» (Молодечненская и Барановичская области) и «Чериковский» (Могилевская область) для восстановления популяции бобра [8].

Уход от идей «заповедности» усиливается к началу 1950-х гг., когда по решению Совета Министров СССР [9] все вопросы по организации и управлению заповедниками были переданы от республиканских органов в Главное управление по заповедникам при Совете Министров СССР, научно-исследовательскую работу поручалось переориентировать на решение практических задач сельского, лесного и охотничьего хозяйств, а также предписывалось ликвидировать 88 заповедников из 128 существующих в СССР, в т. ч. Березинский и Вяловский на территории Беларуси. Однако по инициативе начальника Главного управления по делам охотхозяйства П. В. Борисенко в целях сохранения фауны бывшего Березинского заповедника в тех же границах и на той же площади был создан Березинский охотничий заказник [10; 11].

Структура ОПТ БССР на 1 января 1958 г. выглядела следующим образом: ни одного заповедника (в 1957 г. заповедник «Беловежская пуца» преобразован в заповедно-охотничье хозяйство), пять республиканских и 11 областных охотничьих заказников [12]. Была сформирована практика, что республиканские заказники объявлялись постановлениями Совета Министров БССР, местные – по решениям облисполкомов, а заказники в пределах приписных охотничьих хозяйств – администрацией этих хозяйств. В приписных охотхозяйствах заказниками объявляли отдельные части охотугодий сроком на 2–3 г., что давало возможность на восстановление нормальной плотности охотничьих животных на территории хозяйства. Хозяйственная деятельность в заказниках, за исключением охоты, была разрешена [13]. С 1958 по 1962 г. было

создано 33 областных заказника на срок от трех до пяти лет. В последующие годы число местных заказников росло и достигло пика к 1965 г.: 65 территорий общей площадью 518,5 тыс. га [14–16].

В 1960-м г. были ликвидированы первые республиканские охотничьи заказники одновременно с чем сроком на 10 лет в новых границах были организованы охотничьи заказники: Козьянский (43 тыс. га, Сиротинский и Полоцкий районы Витебской области), Ленинский (88 тыс. га, Лунинецкий район Брестской области), Налибокский (96 тыс. га, Воложинский и Ивенецкий районы Минской области), Чериковский (78 тыс. га, Кричевский, Славгородский и Краснопольский районы Могилевской области), Чечерский (82 тыс. га, Чечерский, Ветковский и Кормянский районы Гомельской области) [17]. Срок действия всех пяти заказников продлевался до 1990 г., и еще раз до 2000 г. для Козьянского, Налибокского и Ленинского заказников. Функционирование Березинского заказника не продлевалось, т. к. в январе 1959 г. территории был возвращен статус заповедника [2; 18]. Вместе с тем в современной терминологии такие заказники правильнее было бы называть охотничьими хозяйствами закрытого типа, поскольку в них проводились массовые биотехнические мероприятия, широкая акклиматизация животных, но охота была ограничена. Можно выделить следующие группы мероприятий, которые реализовывали на территории охотничьих заказников в период 1940–60-е гг. [19].

Полный или частичный запрет на охоту. Так, вводился полный запрет на охоту на лося европейского (*Alces alces*), бобра речного (*Castor fiber*), косулю европейскую (*Capreolus capreolus*), выдру речную (*Lutra lutra*), белую цаплю (*Ardea alba*) и самок глухаря (*Tetrao urogallus*) [20]. Под частичную охрану были приняты норка европейская (*Mustela lutreola*), дикий кабан (*Sus scrofa*), бурый медведь (*Ursus arctos*). Охота на них разрешалась только в случае их высокой численности по особому разрешению [21]. Для ряда других видов млекопитающих и птиц устанавливались временные запреты на охоту. Охота в охотничьих заказниках также запрещалась на определенный установленный срок, что позволяло создать зоны покоя для размножения охотничьих видов животных.

Вселение (интродукция) новых видов охотничьих животных, не обитавших на данной территории, и реинтродукция исчезнувших видов. Практика вселения чужеродных видов в естественные открытые угодья в Беларуси началась еще в довоенное время, когда в 1936 г. 100 енотовидных собак (*Nyctereutes procyonoides*) были завезены и выпущены в Паричском, Любанском и Чечерском районах. В послевоенное время заказники, по сути, стали полигонами проведения экспериментов по вселению и акклиматизации охотничьих видов животных. Так, в 1950–1960-х гг. [15; 20] на территорию охотничьих заказников завезли и расселили 200 особей выхухоли (*Desmana moschata*) в Витебской области, 500 особей американской норки (*Neovison vison*) в Могилевской, Витебской и Гомельской областях, 30 особей оленя благородного в Березинский заповедник (Минская область), 100 особей серебристо-черных лисиц (чернобурок) (*Vulpes vulpes fulva*) для вольного разведения в Минской, Гомельской и Молодеченской областях, ондатру (*Ondatra zibethicus*) по 1000 особей в Гомельскую и Молодечненскую области и 500 особей в Витебскую, 70 пар белки-телеутки (*Sciurus vulgaris exalbidus*) в Могилевскую область, нутрию (*Myocastor coypus*) для полувольного разведения, а также 127 особей енота-полоскуна (*Procyon lotor*) в Гомельскую и Брестскую области. К настоящему времени из перечисленных вселенных видов один вид (выхухоль) исчез, нутрия и енот-полоскун не смогли основать устойчивых популяций, американская норка, енотовидная собака и ондатра относятся к чужеродным, в т. ч. два из них (американская норка, енотовидная собака) имеют статус инвазивных видов, наносящих существенный ущерб биологическому

разнообразие и экономике Беларуси. Чернобурая лисица и белка-телеутка, являющиеся подвидами аборигенных видов, «растворились» в популяциях.

Расселение аборигенных видов охотничьих животных. В процессы расселения были включены многие охотничьи виды животных, однако больше всего по территории БССР расселяли бобров: в период с 1940-х по 1960-е гг. в разные регионы Беларуси было расселено около 3,5 тыс. особей, а за пределы страны (по территории СССР) было расселено около 4 тыс. особей бобра, основным «источником» расселения популяции стал Березинский заповедник.

Регулирование численности (уничтожение) «вредных» видов животных. Одновременно с сохранением и восстановлением популяций ценных охотничьих видов шел процесс эрадикации т. н. «вредных» видов. В соответствии с действующими на тот период времени правилами охоты к вредным были отнесены 14 видов диких животных: шесть видов млекопитающих (волк (*Canis lupus*), рысь (*Lynx lynx*), хорек лесной (*Mustela putorius*), крот европейский (*Talpa europaea*), суслик крапчатый (*Spermophilus suslicus*), хомяк обыкновенный (*Cricetus cricetus*)) и 8 видов птиц (ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*), ястреб-перепелятник (*A. nisus*), болотный лунь (*Circus aeruginosus*), орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*), беркут (*Aquila chrysaetos*), филин (*Bubo bubo*), ворона серая (*Corvus cornix*), сорока обыкновенная (*Pica pica*)). В настоящее время шесть из этих 14 видов (рысь, суслик крапчатый, хомяк обыкновенный, орлан-белохвост, беркут, филин) так и не восстановили свою нормальную численность и включены в Красную книгу Республики Беларусь [22]. Охота на эти виды была разрешена в течение всего года, в т. ч. в заказниках и заповедниках, всеми способами (огнестрельное оружие, капканы, петли, ловчие цилиндры, отравляющие вещества, на автомобилях из-под фар), кроме общепасных [23]. Их добыча осуществлялась без охотничьего билета, а охотники освобождались от уплаты подоходного налога при сдаче шкурок этих животных. Кроме того, на территории заказников проводили подкормку охотничьих животных и «улучшение» местообитаний, вели борьбу с браконьерством, осуществляли научно-исследовательскую работу, которая в основном заключалась в учете численности животных, кольцевании птиц и определении успешности размножения охотничьих видов животных и интродукции новых видов. Постепенно происходило восстановление разрушенной в ходе войны хозяйства и инфраструктуры: строились вольеры, зверофермы, питомники, создавались коллекции, музеи, гербарии.

Таким образом, в охотничьих заказниках охраняли и восстанавливали только охотничью фауну, активно уничтожая хищных птиц и млекопитающих, поэтому такие заказники имели лишь самое отдаленное отношение к заповедному делу. Несмотря на это в результате комплекса работ на территории Беларуси к 1960-м гг. насчитывалось до 20 тыс. особей лося, 15–18 тыс. особей кабанов, более 50 тыс. особей косули, свыше 30 тыс. особей бобров, а также значительное количество лесных, водоплавающих и болотных видов птиц, пушных видов млекопитающих [15; 20].

3-й этап. Начало 1960-х – начало 1980-х гг. В начале 1960-х гг. в стране происходит существенный перелом в природоохранной сфере: наступил продолжительный период переосмысления вопроса охраны природы на уровне государственного управления, когда этот вопрос стали рассматривать в аспекте сохранения природы как среды обитания человека. В августе 1960 г. был создан Государственный комитет БССР по охране природы (сейчас – Минприроды), в компетенцию которого были переданы и вопросы управления заповедниками, заказниками, охотничьими ресурсами. В конце декабря 1961 г. Верховный Совет БССР принял Закон «Об охране природы в Белорусской ССР», в котором впервые нашел отражение комплексный подход к регулированию отношений в области рационального природопользования и охраны окружающей среды взамен интенсивного использования природных ресурсов [24].

В истории развития заповедного дела в это время можно провести границу между вторым и третьим этапами. В вопросах пространственного развития охраняемых территорий фокус внимания сместился в сторону восстановления и объявления новых заповедников, памятников природы, а также заказников других видов (гидрологических, ландшафтных, ресурсных, в т. ч. ягодников, лекарственных трав). Также число и площадь охотничьих заказников стали плавно снижаться, и в 1968 г. осталось 25 областных заказников площадью 222 тыс. га и пять республиканских заказников площадью 387 тыс. га [25].

Постепенно в вопросах создания и территориального распределения охраняемых территорий, в т. ч. заказников, значимую роль начинают играть институты Академии наук БССР и университеты, как это было на первом этапе развития заповедного дела. Активное вовлечение ученых в работу по формированию системы ОПТ Беларуси приходится на начало крупномасштабного осушения болот и заболоченных земель Полесья, когда начали формироваться идеи международной охраны болот как обширных комплексов, имеющих важное природоохранное значение. На основании предложений Института торфа АН БССР (А. П. Пидопличко), а также результатов международного проекта под эгидой ЮНЕСКО «ТЕЛМА» в 1968 г. в Беларуси были объявлены первые гидрологические заказники: «Ельня» на площади 16,4 тыс. га, «Дикое» – 4,4 тыс. га, «Выгонощанское» – 43,0 тыс. га и «Заозерье» – 3,6 тыс. га [26].

Создание гидрологических заказников можно считать началом практики организации комплексных (для охраны природного комплекса или ландшафта) и ресурсных (для охраны и воспроизводства какого-либо природного ресурса) заказников. Общепринятой классификации заказников не существовало, а «видовая» принадлежность определялась одновременно с созданием самого заказника. Так, в период 1970–1977 гг. были созданы ландшафтные заказники «Свитязянский», «Голубые озера», «Белое», «Межозерный», лесной заказник «Прилуцкий».

Под руководством В. И. Парфенова были разработаны научные обоснования создания ресурсных ботанических заказников, на основании которых в 1978 г. было объявлено 12 республиканских ботанических заказников дикорастущих лекарственных растений, а в 1979 г. – 20 заказников для охраны естественных плантаций дикорастущих ягод клюквы. В том же году по предложению географического факультета БГУ 7 особо значимых для научных исследований озер были объявлены озерными заказниками («Долгое», «Ричи» и др.). По предложению Института зоологии АН БССР в 1983 г. создан зоологический заказник «Антоново» как место обитания крупной колонии бобров, а в 1985 г. – биологический заказник «Устье Лани» для сохранения места обитания крупнейшей в Европе колонии серой цапли. Специфическим заказником стал мемориальный заказник: в 1972 г. по предложению Министерства культуры БССР организован Колосовский заказник для сохранения природных комплексов в местах, связанных с жизнью народного поэта Якуба Коласа.

В результате за 1970 – 1980-е гг. сформировалась практика организации ОПТ, как правило, списками, без разработки индивидуального для каждой территории научного обоснования, на основании предложений специалистов Академии наук БССР или университетов. Одновременно с этим с 1981 г. режим использования территории заповедников, заказников и памятников природы на территории Беларуси устанавливался на основании единого для всего Советского Союза Типового положения о государственных заповедниках, памятниках природы, ботанических садах и дендрологических парках, зоологических парках, заказниках и природных национальных парках, утвержденного постановлением Госплана СССР и ГКНТ от 27 апреля 1981 г. № 77/106.

Таким образом, к началу 1980-х гг. в Беларуси сформировалась базовая основа современной системы ООПТ и на начало 1983 г. функционировал 191 ОПТ республиканского значения общей площадью 911,32 тыс. га, что составляло 4,38 % территории страны. В их числе два заповедника (Березинский и Припятский), два заповедно-охотничьих хозяйства («Беловежская Пуща» и «Телеханское»), 60 заказников республиканского значения, в т. ч. шесть охотничьих, пять ландшафтных, восемь гидрологических, 12 ботанических, два зоологических, 20 заказников-кляквенников, семь озерных, один мемориальный, 137 памятников природы, в т. ч. 105 ботанических и 22 геологических. В структуре распределения территорий по категориям основная доля (73,9 %) была у заказников, на заповедники приходилось 15,2 %, на заповедно-охотничьи хозяйства – 10,8 %, на памятники природы – 0,1 %. Параллельно с этим функционировали, объявлялись и ликвидировались заказники областного и районного значения. При этом по ОПТ местного значения не велось единой статистики, что делает невозможным установление их общего количества и занимаемой площади в стране на определенную дату.

Основными результатами рассматриваемого этапа стали развитие гидрологических, ландшафтных и ресурсных заказников, постепенное возрождение идей «абсолютной заповедности», восстановление и создание новых заповедников, формирование механизма объявления и функционирования памятников природы для охраны ценных и уникальных природных объектов.

4-й этап. Начало 1980-х гг. – 1994 г. К началу 1980-х гг. сформировалась основа географического распределения ценных природных территорий и объектов, которые были переданы под охрану, были заложены первые основные принципы и критерии для определения территорий, которые необходимо передавать под охрану. По инициативе Госкомитета по охране природы и при поддержке ученых Академии наук БССР, сотрудников университетов и проектных институтов в 1978 г. было принято решение о необходимости разработки специальной схемы рационального размещения ОПТ по БССР, в которой необходимо отразить принципиальные положения по развитию ОПТ на перспективу в увязке с развитием народнохозяйственного комплекса страны.

Разработка документа осуществлялась в течение трех лет (1979–1981 гг.) в Белорусском НИИП градостроительства с участием ученых Института зоологии и паразитологии АН БССР, Института экспериментальной ботаники АН БССР, Института геохимии и геофизики АН БССР, Института торфа АН БССР, БГУ, в том числе таких выдающихся деятелей науки Беларуси, как В. И. Парфенов, Д. С. Голод, И. И. Лиштан и др. Результатом работы стало утверждение «Схемы рационального размещения охраняемых природных территорий по БССР на период до 1990 г.» постановлением Совета Министров БССР от 17 февраля 1983 г. № 4 (Схема 1983 г.), которая стала основой территориального планирования современной системы ООПТ. Схемой 1983 г. была дана первая официальная классификация ОПТ: государственный заповедник, охранный зона государственного заповедника, государственный заказник, государственный природный парк, леса 1-й группы и памятники природы. Вводились официальные определения для каждого типа ОПТ: так государственный заказник был определен как территория, которая выделена для охраны уникального природного комплекса (редкие ландшафты, геологические, палеонтологические, гидрологические, курортно-рекреационные и другие объекты), а также отдельных видов растений и животных, включенных в Красную книгу СССР или БССР. Режим охраны государственного заказника определялся в зависимости от вида и предусматривал частичную заповедность, что означало ограничение хозяйственного использования части природных объектов постоянно или сезонно и запрещение такой хозяйственной деятельности, которая могла бы причинить вред природным объектам или комплексам,

взятым под охрану. В отличие от заповедника создание заказника не предполагало изъятия участков у основных землепользователей, на которых возлагалась ответственность за соблюдение установленных режимов эксплуатации и сохранность объектов, взятых под охрану. Предполагалось выделение и создание следующих видов заказников: ландшафтный, лесной, ботанический, фаунистический, озерный, гидрологический, мемориальный и геологический.

Благодаря разработке и реализации Схемы 1983 г. к концу 1980-х – началу 1990-х гг. сформировался более взвешенный подход к созданию новых природоохранных территорий, в т. ч. на основании научных обоснований для их создания. По примененным методическим подходам, масштабности исследований, привлечению широкого круга специалистов, а также вовлечению в процесс разработки, утверждения и планируемой реализации государственных органов и организаций Схема 1983 г. представляет собой уникальный документ. Многие из предложенных планировочных решений, параметры развития системы ОПТ и мероприятия по реализации Схемы 1983 г. не утратили своей актуальности и в настоящее время. В частности, это касается необходимости реализации региональных схем в увязке с республиканской схемой, установления основных путей миграции животных, закрепления границ природоохранных территорий на картах землепользования (теперь в качестве территориальных единиц на электронных картах).

Основными результатами четвертого этапа стали становление принципов территориального природоохранного планирования и формирование взаимосвязанной системы ОПТ. Окончательно закрепился механизм подготовки научного обоснования для учреждения природоохранных территорий.

5-й этап. С 1994 г. по настоящее время. Схема 1983 г. предопределила направление развития национального природоохранного законодательства в области ООПТ после приобретения Беларусью независимости. Первым законодательным документом в этой области стал Закон «Об охране окружающей среды» (от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII), которым к особо охраняемым объектам природы были отнесены государственные заповедники, национальные парки, заказники, памятники природы, а также животные и растения, относящиеся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь. Спустя два года был принят Закон «Об особо охраняемых территориях и объектах» (от 20 октября 1994 г. № 3335-XII), который, несмотря на многие изменения и дополнения, на протяжении четверти века регулировал вопросы объявления, функционирования и управления ООПТ Беларуси. Принятие такого специализированного законодательного акта можно принять как очередную границу в выделении этапов развития заповедного дела страны. Именно Законом 1994 г. было введено в практику понятие «особо охраняемые природные территории» («ООПТ») взамен «охраняемые природные территории», чтобы разграничить между собой заповедные и иные природоохранные территории (сейчас это природные территории, подлежащие специальной охране). Для памятников природы было введено отдельное понятие «особо охраняемые природные объекты», исключенное в последующем из законодательства и природоохранной практики в 2000-м г.

Законом 1994 г. была упорядочена структура ООПТ и введена *классификация ООПТ*, которая во многом сохранилась и до настоящего времени. В качестве категории ООПТ были выделены заповедники, национальные парки, заказники и памятники природы. По статусу государственного управления заказники и памятники природы могли быть республиканского и местного значения, а заповедники и национальные парки исключительно республиканского. В зависимости от предназначения заказники классифицировались на виды: ландшафтные, или комплексные (для сохранения и восстановления особо ценных природных ландшафтов и комплексов), биологические (ботанические и зоологические, объявляемые для сохранения и восстановления ценных

в хозяйственных, научных и культурных отношениях, а также редких и исчезающих видов растений и животных), палеонтологические (для сохранения отдельных ископаемых объектов и их комплексов), гидрологические (болотные, озерные и речные, которые создавались для сохранения и восстановления ценных водных объектов и комплексов природы). В 2000-м г. в классификацию заказников были введены такие виды, как водно-болотные (стало результатом присоединения Беларуси к (Рамсарской) Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц, в целях привлечения из международных программ финансирования на реализацию мероприятий по восстановлению нарушенных экосистем) и геологические (заменившие в 2008 г. выделение палеонтологических заказников, которые были упразднены). Также первым законодательным актом определялось, что режим охраны и использования заказников устанавливается с учетом особенностей биологического и ландшафтного разнообразия для каждой конкретной территории специальным документом – Положением, который должен утверждаться при объявлении или преобразовании ООПТ.

В процессе эволюции национального законодательства молодой страны в 2000 и 2008 гг. были приняты новые редакции Закона «Об ООПТ», в соответствии с которыми вводились следующие новшества: все ООПТ стали относиться к территориальным единицам Республики Беларусь; для управления заказниками допускалось создание государственных природоохранных учреждений (в начале 2000-х гг. их было создано 24); появился новый механизм управления ООПТ, в т. ч. заказниками, – план управления. Однако уже в 2018 г. был принят новый Закон «Об особо охраняемых природных территориях», который, помимо собственно законодательного документа со множеством изменений за период с 1994 по 2017 г., объединил в себе еще ряд нормативных правовых актов, определяющих механизмы функционирования ООПТ и управления ими. Одновременно с этим в вопросах функционирования заказников произошли два существенных изменения.

Первое: понятие «заказник» стало определяться как ООПТ, которая объявлена в целях сохранения и восстановления (воспроизводства) ценных природных комплексов и объектов, а из классификации ООПТ исключено разделение заказников на виды. В процессе пересмотра подходов к сохранению биологического и ландшафтного разнообразия объектом охраны заказников становились не отдельные природные ресурсы или компоненты, а природные комплексы и экосистемы в целом. Это стало вызывать сложности в «видовом» определении заказников, а сам этот процесс формализовался.

Отсутствие разделения заказников по видам стало результатом внедрения универсального подхода к определению их значимости и ценности через систему единых критериев, которые также были закреплены в Законе 2018 г. В перечень критериев, которые стали основой для объявления ООПТ, были включены: наличие в границах ООПТ типичных и редких природных ландшафтов и биотопов, мест обитания и произрастания охраняемых видов диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, мест гнездования, зимовки или остановки мигрирующих видов птиц и др. При этом концептуальные подходы к критериям как для заказников, так и для заповедников и национальных парков стали едины – различия остались только в количественных характеристиках таких критериев.

Второе: существенным изменением законодательства стало включение в Закон об ООПТ 2018 г. положений, устанавливающих единые режимы охраны и использования ООПТ в разрезе категорий. Произошло возвращение в природоохранную практику установления типовых положений, как это было с 1981 по 1994 г. Однако было введено допущение, что на отдельных участках заказников положениями могут быть установлены дополнительные ограничения и запреты, необходимые для обеспечения

сохранности ценных природных комплексов и объектов с учетом их индивидуальных специфических характеристик.

Законодательство и механизмы управления ООПТ продолжают развиваться: на сегодняшний день проводится работы по включению вопросов функционирования ООПТ в Экологический кодекс Республики Беларусь.

Заключение

На основе комплексного анализа развития заповедного дела Беларуси выделено пять этапов формирования системы ООПТ, где четко прослеживается смена идей и подходов: «абсолютная заповедность» – «экспериментальные полигоны и воспроизводство ресурсов» – «сохранение природы как среды обитания человека» – «территориальное планирование и комплексный подход» – «восстановление нарушенных экосистем и управление». Становление понятия «заказник» прошло значительную трансформацию в контексте развития заповедного дела от «заказных охотничьих угодий» до комплексных природоохранных территорий, и в настоящее время заказники занимают ключевое положение в системе ООПТ. В рамках периодизации развития системы ООПТ Беларуси можно определить следующие функции и особенности функционирования заказников: на первом этапе (1920-е – 1939-е гг.) заказники, как форма ОПТ, не выделялись, на втором этапе (1939-е – начало 1960-х гг.) – являлись территориями, целью которых было восстановление и преумножение охотничьей фауны, на третьем (начало 1960-х – начало 1980-х гг.) – целевое назначение заказников смещается в сторону сохранения отдельных природных ресурсов и ландшафтов в целом, на четвертом (начало 1980-х – 1994 г.) – образуют основу территориального планирования современной системы ООПТ, на пятом (с 1994 г.) – играют важную роль в восстановлении нарушенных экосистем, выстраивается четкий механизм управления такими территориями.

Несмотря на то, что в период базового развития системы ООПТ Беларуси в 1960-е – 1980-е гг. специализированные научные обоснования для создания заказников, как правило, не разрабатывались, выполняемые в текущее время работы по их инвентаризации и преобразованию подтверждают важность большинства территорий для сохранения ландшафтного и биологического разнообразия страны. Во многом это объясняется тем, что в качестве объектов охраны заказников выступают наиболее ценные и сохранившиеся в естественном состоянии болотные массивы, озерные водоемы и высоковозрастные леса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: https://www.minpriroda.gov.by/ru/svg_map-ru/list (дата обращения: 02.06.2025).
2. Штильмарк, Ф. Р. Заповедники и заказники / Ф. Р. Штильмарк. – М., 1984. – 144 с.
3. Зайчук, Г. И. Правовое регулирование природного заповедания в Республике Беларусь : моногр. / Г. И. Зайчук. – Мн. : Тисей, 2007. – 144 с.
4. Шмыглева, А. Заповедники раннесоветской эпохи: теория и практика / А. Шмыглева // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 3.
5. Об охране памятников природы, садов и парков : Декрет Совета народных комиссаров РСФСР, 16 сент. 1921 г. // Справочно-правовая система Pravo.ru. – URL: https://pravo.ru/store/interdoc/doc/491/HD_15_09_2015.pdf (дата обращения: 22.02.2022).
6. Об утверждении правил и сроков охоты на территории Белорусской ССР : постановление Совета Министров Белорусской ССР, 16 июля 1946 г. № 1317 // Собр. постановлений и распоряжений Правительства Белорусской ССР. – 1946. – № 6. – Ст. 55.
7. О порядке регулирования и надзора за правильным ведением охотничьего хозяйства в Белорусской ССР : постановление СНК БССР, 9 февр. 1940 г. // Собр. постановлений и распоряжений Правительства Белорусской ССР. – 1940. – № 2. – Ст. 11.

8. Письмо // Национальный архив Республики Беларусь (НАРБ). – Ф. 944. Оп. 1. Д. 6. Л. 64.
9. ИАС «ООПТ РФ». – URL: <http://oopt.aari.ru> (дата обращения: 09.02.2022).
10. О заповедниках : постановление СМ БССР от 21 сент. 1951 г. № 1226 // НАРБ. – Ф. 601. Оп. 1. Д. 82. Л. 5–7.
11. Протокол совещания начальников областных охотуправлений, руководителей и представителей республиканских заготовительных и охотничьих организаций при Главном Управлении по делам охотничьего хозяйства при Совете Министров БССР 3-4 марта 1952 года // НАРБ. – Ф. 944. Оп. 2. Д. 25. Л. 3–5.
12. Список приписных охотничьих хозяйств и государственных охотничьих и бобровых заказников в Белорусской ССР на 1-е число января месяца 1958 года // НАРБ. – Ф. 944. Оп. 1. Д. 29. Л. 189–189а.
13. Положение об охотничьем хозяйстве Белорусской ССР, утвержденное постановлением Совета Министров БССР от 3 сентября 1959 г. № 581 // НАРБ. – Ф. 944. Оп. 1. Д. 26. Л. 45–46.
14. Отчеты о деятельности областных управлений лесного хозяйства за 1958 год // НАРБ. – Ф. 944. Оп. 1. Д. 29. Л. 343–349, 354–359, 385–391, 472–482, 518–528, 531–538.
15. Годовые отчеты областных инспекций по охотничьему хозяйству за 1960 год // НАРБ. – Ф. 83. Оп. 1. Д. 132. Л. 12–23, 25–36, 37–47, 59–75, 80–89.
16. Справка о мероприятиях по охотничьему хозяйству БССР в 1964 году // НАРБ. – Ф. 83. Оп. 1. Д. 151. Л. 190–209; Ф. 83. Оп. 1. Д. 152. Л. 6.
17. О государственных охотничьих заказниках : постановление СМ БССР, 10 марта 1960 г. № 125 // *ZakonBy.Net*. – URL: <http://zakonby.net/postanovlenie/22036-postanovlenie-soveta-ministrov-respubliki-belarus-ot-10031960-n-125-quoto-gosudarstvennyh-ohotnichih-zakaznikahquot.html> (дата обращения: 30.09.2022).
18. История Березинского биосферного заповедника: путь длиной в 90 лет (1925–2015) : сб. докл. / сост. Т. В. Буюевич ; авт.: Т. В. Буюевич, В. С. Ивкович ; науч. ред. В. С. Ивкович. – Мн. : Медисонт, 2015. – 432 с.
19. Сидорович, А. А. Первые охотничьи заповедники и заказники Беларуси: цели создания, задачи, особенности функционирования и их роль в использовании и охране животного мира / А. А. Сидорович, Н. А. Архипенко, В. В. Устин // Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы охраны животного мира в Беларуси и сопредельных регионах», Минск, 11–14 окт. 2022 г. – Мн. : НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, 2022. – С. 407–417.
20. НАРБ. – Ф. 83. Оп. 1. Д. 260. Л. 112–126. Подлинник.
21. Правила и сроки охоты: постановление СНК БССР, 23 июля 1934 г. // Собр. законов и распоряжений Рабоче-крестьянского правительства Белорус. ССР. – 1934. – № 32. – Ст. 160.
22. О редких и находящихся под угрозой исчезновения видах диких животных и дикорастущих растений, включаемых в Красную книгу Республики Беларусь : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 14 марта 2025 г. № 10 / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь (pravo.by). – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22543109> (дата обращения: 02.06.2025).
23. Сержанин, И. Н. Государственный заповедник на реке Березине / И. Н. Сержанин. – Мн. : Госиздат БССР, 1947. – 60 с.
24. Балащенко, С. А. Экологическое право : учеб. пособие / С. А. Балащенко, Д. М. Демичев. – 2-е изд. – Мн. : Ураджай, 2000. – 398 с.
25. Справка о работе Государственного комитета Совета Министров БССР по охране природы для ВДНХ СССР 1968 года // НАРБ. – Ф. 83. Оп. 1. Д. 260. Л. 112–126
26. О государственных гидрологических заказниках республиканского значения : постановление Совета Министров Бел. ССР, 18 нояб. 1968 г. № 342 // Собр. законов БССР. – 1968. – № 34. – Ст. 490.

REFERENCES

1. Ministerstvo prirodnikh resursov i okhrany okruzhayushchei sredy Respubliki Belarus'. – URL: https://www.minpriroda.gov.by/ru/svg_map-ru/list (data obrashcheniya: 02.06.2025).
2. Shtil'mark, F. R. Zapovedniki i zakazniki / F. R. Shtil'mark. – M., 1984. – 144 s.

3. Zaichuk, G. I. *Pravovoe regulirovanie prirodnogo zapovedaniya v Respublike Belarus'* : monogr. / G. I. Zaichuk. – Mn. : Tisei, 2007. – 144 s.
4. Shmygleva, A. *Zapovedniki rannesovetskoi ehpokhi: teoriya i praktika* / A. Shmygleva // Vestnik SiBGIU. – 2017. – № 3.
5. Ob okhrane pamyatnikov prirody, sadov i parkov : Dekret Soveta narodnykh komissarov RSFSR, 16 sent. 1921 g. // Spravochno-pravovaya sistema Pravo.ru. – URL: https://pravo.ru/store/-interdoc/doc/491/HD_15_09_2015.pdf (data obrashcheniya: 22.02.2022).
6. Ob utverzhdenii pravil i srokov okhoty na territorii Belorusskoi SSR : postanovlenie Soveta Ministrov Belorusskoi SSR, 16 iyulya 1946 g. № 1317 // Sobr. postanovlenii i rasporyazhenii Pravitel'stva Belorusskoi SSR. – 1946. – № 6. – St. 55.
7. O poryadke regulirovaniya i nadzora za pravil'nyim vedeniem okhotnich'ego khozyaistva v Belorusskoi SSR : postanovlenie SNK BSSR, 9 fevr. 1940 g. // Sobr. postanovlenii i rasporyazhenii Pravitel'stva Belorusskoi SSR. – 1940. – № 2. – St. 11.
8. Pis'mo // Natsional'nyi arkhiv Respubliki Belarus' (NARB). – F. 944. Op. 1. D. 6. L. 64.
9. IAS «OOPT RF». – URL: <http://oopt.aari.ru> (data obrashcheniya: 09.02.2022).
10. O zapovednikakh : postanovlenie SM BSSR ot 21 sent. 1951 g. № 1226 // NARB. – F. 601. Op. 1. D. 82. L. 5–7.
11. Protokol soveshchaniya nachal'nikov oblastnykh okhotupravlenii, rukovoditelei i predstavitelei respublikanskikh zagotovitel'nykh i okhotnich'ikh organizatsii pri Glavnom Upravlenii po delam okhotnich'ego khozyaistva pri Sovete Ministrov BSSR 3–4 marta 1952 goda // NARB. – F. 944. Op. 2. D. 25. L. 3–5.
12. Spisok pripisnykh okhotnich'ikh khozyaistv i gosudarstvennykh okhotnich'ikh i bobrovnykh zakaznikov v Belorusskoi SSR na 1-e chislo yanvarya mesyatsa 1958 goda // NARB. – F. 944. Op. 1. D. 29. L. 189–189a.
13. Polozhenie ob okhotnich'em khozyaistve Belorusskoi SSR, utverzhdennoe postanovleniem Soveta Ministrov BSSR ot 3 sentyabrya 1959 g. № 581 // NARB. – F. 944. Op. 1. D. 26. L. 45–46.
14. Otchety o deyatel'nosti oblastnykh upravlenii lesnogo khozyaistva za 1958 god // NARB. – F. 944. Op. 1. D. 29. L. 343–349, 354–359, 385–391, 472–482, 518–528, 531–538.
15. Godovye otchety oblastnykh inspektsii po okhotnich'emu khozyaistvu za 1960 god // NARB. – F. 83. Op. 1. D. 132. L. 12–23, 25–36, 37–47, 59–75, 80–89.
16. Spravka o meropriyatiyakh po okhotnich'emu khozyaistvu BSSR v 1964 godu // NARB. – F. 83. Op. 1. D. 151. L. 190–209; F. 83. Op. 1. D. 152. L. 6.
17. O gosudarstvennykh okhotnich'ikh zakaznikakh : postanovlenie SM BSSR, 10 marta 1960 g. № 125 // ZakonBy.Net. – URL: <http://zakonby.net/postanovlenie/22036-postanovlenie-soveta-ministrov-respubliki-belarus-ot-10031960-n-125-quot-gosudarstvennyh-okhotnichih-zakaznikahquot.-html> (data obrashcheniya: 30.09.2022).
18. Istoriya Berezinskogo biosfernogo zapovednika: put' dlinoyu v 90 let (1925–2015) : sb. dokl. / sost. T. V. Buevich ; avt.: T. V. Buevich, V. S. Ivkovich ; nauch. red. V. S. Ivkovich. – Mn. : Medisont, 2015. – 432 s.
19. Sidorovich, A. A. *Pervye okhotnich'i zapovedniki i zakazniki Belarusi: tseli sozdaniya, zadachi, osobennosti funktsionirovaniya i ikh rol' v ispol'zovanii i okhrane zhivotnogo mira* / A. A. Sidorovich, N. A. Arkhipenko, V. V. Ustin // Materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy okhrany zhivotnogo mira v Belarusi i sopredel'nykh regionakh», Minsk, 11–14 okt. 2022 g. – Mn. : NPTs NAN Belarusi po bioresursam, 2022. – S. 407–417.
20. NARB. – F. 83. Op. 1. D. 260. L. 112–126. Podlinnik.
21. Pravila i sroki okhoty: postanovlenie SNK BSSR, 23 iyulya 1934 g. // Sobranie zakonov i rasporyazhenii Rabochekrest'yanskogo pravitel'stva Belorus. SSR. – 1934. – № 32. – St. 160.
22. O redkikh i nakhodyashchikhsya pod ugrozoi ischeznoveniya vidakh dikikh zhivotnykh i dikorastushchikh rastenii, vklyuchaemykh v Krasnuyu knigu Respubliki Belarus' : postanovlenie M-va prirod. resursov i okhrany okruzhayushchei sredy Resp. Belarus' ot 14 marta 2025 g. № 10 / Natsional'nyi pravovoi Internet-portal Respubliki Belarus' (pravo.by). – URL: <https://pravo.by/-document/?guid=12551&p0=W22543109> (data obrashcheniya: 02.06.2025).
23. Serzhanin, I. N. *Gosudarstvennyi zapovednik na reke Berezine* / I. N. Serzhanin. – Mn., Gosizdat BSSR, 1947. – 60 s.

-
24. Balashenko, S. A. Ekologicheskoe pravo : ucheb. posobie / S. A. Balashenko, D. M. Demichev. – 2-e izd. – Mn. : Uradzhai, 2000. – 398 s.
25. Spravka o rabote Gosudarstvennogo komiteta Soveta Ministrov BSSR po okhrane prirody dlya VDNKh SSSR 1968 goda // NARB. – F. 83. Op. 1. D. 260. L. 112–126
26. O gosudarstvennykh gidrologicheskikh zakaznikakh respublikanskogo znacheniya : postanovlenie Soveta Ministrov Bel. SSR, 18 noyab. 1968 g. № 342 // Sobr. zakonov BSSR. – 1968. – № 34. – St. 490.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.08.2025

Ольга Евгеньевна Чезлова¹, Анатолий Николаевич Лицкевич²

¹канд. биол. наук, науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института
Национальной академии наук Беларуси

²зав. лаб. гидроэкологии и экотехнологий

Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси

Olga Chezlova¹, Anatoly Litskevich²

¹Candidate of Biological Sciences, Employee of the Polesie Agrarian-Ecological Institute
of National Academy of Sciences of Belarus

²Head of the Laboratory of Hydroecology and Ecotechnologies

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

e-mail: ¹olgachezlova@tut.by; ²hydropaei@gmail.com

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ НЕГАШЕНОЙ И ГАШЕНОЙ ИЗВЕСТИ

Выполнена оценка эффективности применения негашеной и гашеной извести для обеззараживания осадка сточных вод. Внесение негашеной извести в количестве 10 и 20 % от массы (из расчета на сухое вещество) в осадке сточных вод с влажностью 82,6 % и выдерживанием в течение 24 ч приводит к обеззараживанию осадка до нормируемых значений. Внесение в осадок сточных вод гашеной извести ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) в объеме 20 и 30 % от массы осадка сточных вод и выдерживание в течение 24 ч не приводят к достаточному обеззараживающему эффекту.

Ключевые слова: осадки сточных вод, микроорганизмы, обеззараживание, гашеная известь, негашеная известь.

Disinfection of Sewage Sludge with Quicklime and Slapped Lime

The efficiency of using quicklime and slaked lime for disinfecting sewage sludge has been assessed. Adding quicklime in amounts of 10 and 20 % of the mass (based on dry matter) to sewage sludge with a moisture content of 2,6 % and holding for 24 hours results in disinfection of the sludge to the standardized values. Adding slaked lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) to sewage sludge in amounts of 20 and 30 % of the sewage sludge mass and holding for 24 hours does not result in a sufficient disinfection effect.

Key words: sewage sludge, microorganisms, disinfection, slaked lime, quicklime.

Введение

Ежегодно в Республике Беларусь при очистке сточных вод образуется около 180 – 197 тыс. т осадков по сухому веществу. Из них только 4–5 % от всего объема используется в сельском хозяйстве, в основном же осадки хранятся на территории очистных сооружений и вывозятся на полигоны [1]. Опыт утилизации осадков сточных вод (ОСВ) в ФРГ, США, Франции, Финляндии и ряде других стран свидетельствует о том, что при наличии эффективной технологии обработки осадков и контроле за их применением, большая их часть (до 60 %) может быть использована в качестве удобрения в сельском хозяйстве, в городском озеленении, а также при рекультивации земель, лесовосстановительных и других работах [2].

Одним из ключевых процессов обработки ОСВ, содержащих широкий спектр патогенных микроорганизмов, паразитов (яиц гельминтов, цист простейших и др.), является обеззараживание, позволяющее обеспечить их безопасность по санитарно-бактериологическим, санитарно-вирусологическим и паразитологическим показателям и дает возможность дальнейшего использования в качестве удобрений [3; 4].

Химические методы обеззараживания основаны на использовании химических реагентов, которые нарушают реакцию и состав среды обитания, снижают жизнеспособность патогенной микробиоты, нарушают процессы токсино- и спорообразования и приводят к гибели микроорганизмов, а биомассу к обеззараживанию. Наиболее известны следующие реагенты: молотая негашеная известь, аммиачная вода (20 %-й

раствор NH_3 в воде), жидкий аммиак, совместное использование масляного альдегида и аммиака, пестициды, препарат комплексного действия тиозон [5; 6].

Эти методы позволяют получить осадок, который длительное время сохраняет необходимое качество и устойчивость ко вторичному заражению (сохраняет остаточную бактерицидность).

В результате обработки ОСВ негашеной известью достигается их стабилизация и обеззараживание. При дозе извести до 30 % по сухому веществу осадка происходит деформация и гибель яиц гельминтов, сальмонеллы практически полностью погибают. Развитие патогенной флоры после стабилизационной обработки ОСВ известью минимально, т. к. необходимое значение pH поддерживается в течение длительного времени, что позволяет безопасно хранить обработанные известью осадки на иловых площадках [6].

Эффективность действия негашеной извести зависит от того, используется она для обработки жидких или обезвоженных ОСВ. Известь в форме известкового молока обычно добавляется к жидким ОСВ с низким содержанием сухого вещества.

Негашеная известь, как правило, вводится в обезвоженные ОСВ. Требуемая доза негашеной извести рассчитывается исходя из необходимости повышения температуры осадка до 60 °C и более [6]. В работе [7] показано, что внесение негашеной извести в иловый осадок хозяйственно-бытовых сточных вод (влажностью 97–98 %) в концентрации 7–9 % приводило к полной гибели микроорганизмов.

Наряду с использованием негашеной извести в качестве дезинфектанта ОСВ может выступать гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гашеная известь). Известно, что это соединение в 10–20 %-й концентрации не относится к особо токсичным и экологически безопасна для окружающей среды [8]. Однако бактерицидная активность ее ниже, чем у негашеной извести.

В данной работе оценена эффективность обеззараживания ОСВ с помощью негашеной и гашеной извести по бактериологическим показателям.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись сообщества санитарно-показательных микроорганизмов обезвоженного сброженного ОСВ Брестского мусороперерабатывающего завода при внесении в них негашеной и гашеной извести.

Негашеная известь произведена ООО «Факториал» (г. Брянск). Содержание активного $\text{CaO} + \text{MgO}$ – не менее 85 %, фракционный состав – 0–15 мм.

Гашеная известь (порошкообразная без добавок) произведена ОАО «Красносельстройматериалы» (Республика Беларусь) по ГОСТу 9179-77.

Содержание активного $\text{CaO} + \text{MgO}$ – не менее 60 %.

При оценке обеззараживающей способности негашеной извести в нативный образец ОСВ влажностью 82,64 % и массой 1 кг вносили оксид кальция в количестве 10 и 20 % от массы исследуемого осадка из расчета на сухое вещество, тщательно перемешивали и выдерживали в закрытой пластиковой емкости в течение 24 ч.

Оценку эффективности обеззараживания ОСВ с помощью гашеной извести проводили аналогично эксперименту с негашеной известью. В нативный образец ОСВ (влажность 82,64 %) массой 1 кг вносили гидроокись кальция в количестве 20 и 30 % от массы исследуемого осадка из расчета на сухое вещество, перемешивали и выдерживали в закрытой пластиковой емкости в течение 24 ч. Экспериментальные исследования для репрезентативности проводили в трех повторностях.

Бактериологические испытания образцов ОСВ проводились по стандартным методикам, принятым в Республике Беларусь, в лаборатории отдела бактериальных инфекций Института экспериментальной ветеринарии имени С. Н. Вышелесского.

Оценка проводилась по четырем бактериологическим показателям: бактериям группы кишечной палочки (БГКП), энтерококкам, общему микробному числу (ОМЧ), а также патогенным микроорганизмам в т. ч. сальмонеллам.

Из образцов ОСВ готовились серии десятичных разведений в физиологическом растворе и производился посев на элективные и селективные питательные среды для выделения чистой культуры микроорганизмов.

Идентификация выделенных штаммов бактерий до рода и вида производилось на анализаторе бактерий Vitek – 2 compact.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе антибактериальной обработки ОСВ смешивали с химическими реагентами в стерильных пластмассовых емкостях: для негашеной извести в соотношении по объему 10 и 20 %, для гашеной – 20 и 30 %.

После выдерживания установленное время дезинфекции (24 ч) обработанные образцы ОСВ помещали в стерильные полиэтиленовые пакеты.

С целью создания асептических условий в процессе транспортирования и хранения подготовленные образцы вакуумировали для доставки в бактериологическую лабораторию.

Транспортирование экспериментальных образцов ОСВ происходило в термоконтейнере Cool box при 6 °С.

Основными действующими факторами обеззараживания при применении негашеной извести являются повышение температуры и увеличение рН среды.

Изменение температуры и значения рН в исследуемых образцах ОСВ в результате внесения СаО в нашем эксперименте отражено в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры процесса обеззараживания ОСВ негашеной известью

Вариант опыта	Параметры обеззараживания ОСВ, ($M \pm m$), $n = 3$	
	максимальная температура, °С	значение рН
ОСВ, обработка СаО, 10 % по массе (на сухое вещество)	$26,3 \pm 0,8$	$9,01 \pm 0,19$
ОСВ, обработка СаО, 20 % по массе (на сухое вещество)	$28,6 \pm 0,1$	$9,87 \pm 0,67$

Примечание – M – среднее арифметическое, m – стандартное отклонение.

Максимальная температура ОСВ достигалась в течение первых минут после внесения СаО и составила в среднем 26,3 и 28,6 °С при обработке СаО 10 и 20 % соответственно. Далее температура постепенно снижалась.

Очевидно, что данный фактор не обладал достаточным обеззараживающим действием в отношении патогенной микробиоты. Деконтаминация ОСВ достигается при 70 °С и выше [9].

В исследованиях по обеззараживанию ОСВ, проводимых в Белорусском технологическом университете, максимальная температура нагрева образцов изменялась от 51 до 82 °С при изменении содержания СаО от 10 до 20 %, что связано, по всей видимости, с большей влажностью образца и качеством химиката [10].

Значение рН в эксперименте находилось в диапазоне от 9,01 до 9,87 при обработке СаО 10 и 20 % соответственно.

Данные значения обладают ингибирующим действием в отношении патогенной и условно-патогенной микробиоты. Результаты бактериологических исследований отражены в таблице 2 и на рисунке.

Таблица 2 – Бактериологические показатели ОСВ, обработанного негашеной известью

Вариант опыта	Бактериологические показатели, ($M \pm m$), $n = 3$			
	БГКП, КОЕ/г	Энтерококки, КОЕ/г	ОМЧ, КОЕ/г	Титр патогенных бактерий, в т. ч. сальмонелл, г
ОСВ, контроль (до обработки)	>1000	49 ± 7	>1000	0,01
ОСВ, обработка СаО, 10 % по массе (на сухое вещество)	6 ± 4	2 ± 2	$(7,06 \pm 3,15) \times 10^2$	не обнаружены
ОСВ, обработка СаО, 20 % по массе (на сухое вещество)	1 ± 1	3 ± 3	$(2,64 \pm 0,94) \times 10^2$	не обнаружены

Примечание – M – среднее арифметическое, m – стандартное отклонение.

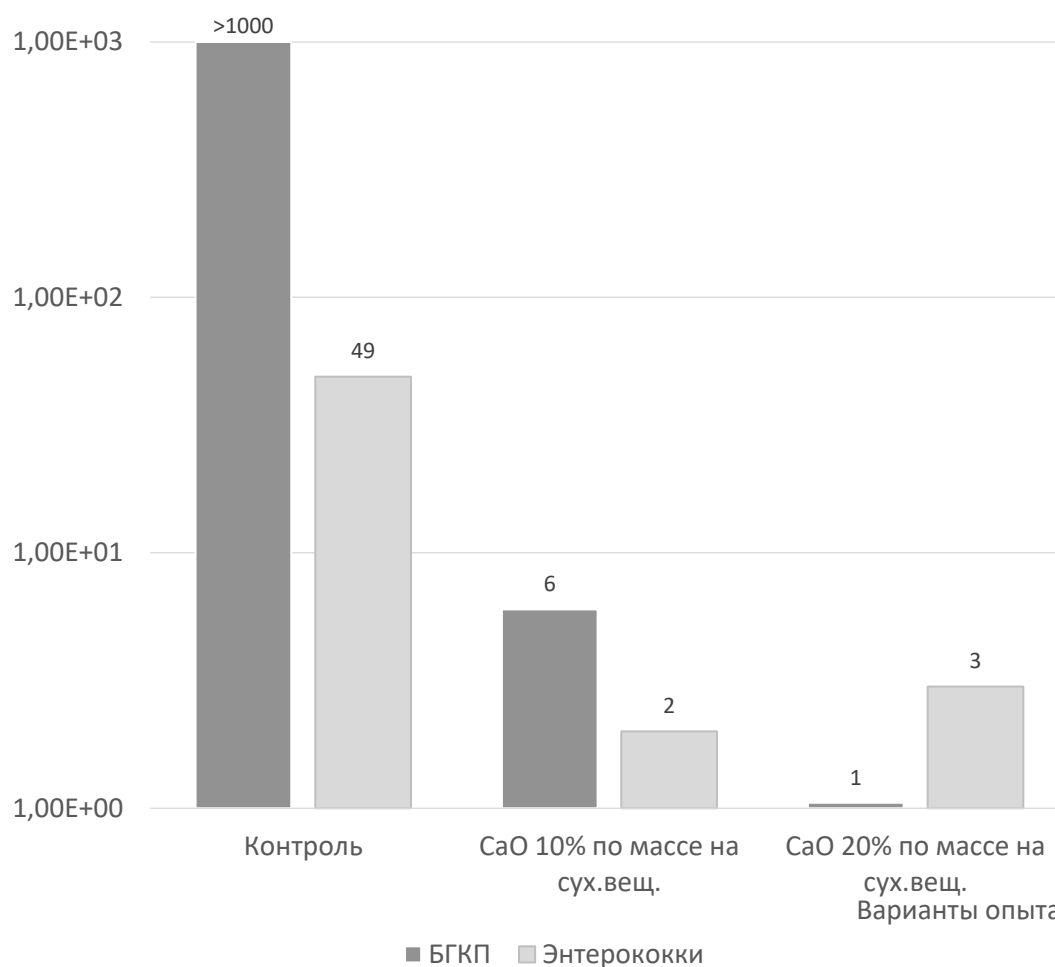


Рисунок – Динамика обеззараживания ОСВ негашеной известью, КОЕ/г

Динамика отмирания санитарно-показательных микроорганизмов выражена как в варианте со внесением 20 % негашеной извести, так и при внесении ее 10 % от массы исследуемого осадка. Так, через сутки после контакта с СаО во всех экспериментальных образцах отсутствовали патогенные бактерии, в т. ч. сальмонеллы, в то время как в нативном ОСВ без химической обработки бактерии р. *Salmonella* обнаруживались до титра 0,01 г. БГКП и энтерококки обнаруживались в варианте 1 (10 % СаО) в количестве 6 и 2 КОЕ/г соответственно.

В варианте 2 (20 % СаО) БГКП и энтерококки находились в количестве 1 и 3 КОЕ/г соответственно. По показателю энтерококков эффективность обеззараживания составила 93,9–95,9 %. В исследованиях А. В. Игнатенко обработка СаО (15 %) ОСВ очистных сооружений ЖКХ не приводила к нормируемым значениям по показателю БГКП [10]. Однако в данных исследованиях время воздействия негашеной извести было ограничено несколькими часами.

Среднее количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (показатель ОМЧ) в ОСВ снижалось при обработке негашеной известью и составило при внесении СаО 10 % – $7,06 \times 10^2$, а при 20 % – $2,64 \times 10^2$ КОЕ/г (таблица 2).

Внесение гашеной извести в ОСВ не приводило к существенному изменению температуры осадка. Значение водородного показателя в обработанных образцах находилось в пределах 7,28–7,97 (рН необработанного осадка – 7,83).

Результаты бактериологических исследований экспериментальных образцов ОСВ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Бактериологические показатели ОСВ, обработанного гашеной известью

Вариант опыта	Бактериологические показатели, ($M \pm m$), $n = 3$			
	БГКП, КОЕ/г	Энтерококки, КОЕ/г	ОМЧ, КОЕ/г	Титр патогенных бактерий, в т. ч. сальмонелл, г
ОСВ, контроль (до обработки)	>1000	49 ± 7	>1000	0,01
ОСВ, обработка Са(ОН) ₂ , 20 % по массе (на сухое вещество)	>1000	68 ± 10	>1000	0,01
ОСВ, обработка Са(ОН) ₂ , 30 % по массе (на сухое вещество)	>1000	59 ± 21	>1000	0,01

Примечание – M – среднее арифметическое, m – стандартное отклонение.

Данные таблицы 3 свидетельствуют, что внесение указанных выше объемов гашеной извести не оказало дезинфицирующего действия на ОСВ. Более того, для некоторых санитарно-бактериологических показателей наблюдалось увеличение значения. Так, по показателю энтерококков произошло увеличение на 39 и 20 % при внесении Са(ОН)₂ в объеме 20 и 30 % соответственно.

Содержание БГКП по всем вариантам исследования превышало 1000 КОЕ/г. Особенную обеспокоенность вызывает тот факт, что во всех обработанных гашеной известью образцах обнаруживались сальмонеллы в титре 0,01 г. Кроме того, в образцах ОСВ с внесением Са(ОН)₂ в объеме 30 % обнаруживались гнилостные бактерии *Proteus spp.*

Известно, что данные бактерии обладают значительным патогенным потенциалом, вызывая гнойно-септические инфекции различной локализации, диарею, уроинфекции и другие заболевания.

Проведенные исследования [11] показывают, что почва является хорошей средой обитания для данных бактерий.

Вышеприведенные факты свидетельствуют, что применение обработанного гашеной известью осадка в качестве органического удобрения сопряжено с риском загрязнения окружающей среды широким спектром микроорганизмов, причем не только условно-патогенных, но и патогенных (бактерии рода *Salmonella*).

Заключение

1. Внесение негашеной извести в количестве 10 и 20 % от массы (из расчета на сухое вещество) в ОСВ с влажностью 82,6 % и выдерживание в течение 24 часов приводит к обеззараживанию осадка до нормируемых значений, что дает возможность использовать его в качестве органического удобрения при отсутствии других ограничений.

2. Внесение в ОСВ гашеной извести ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) в объеме 20 и 30 % от массы ОСВ (из расчета на сухое вещество) и выдерживание в течение 24 часов не приводит к достаточному обеззараживающему эффекту, что препятствует использованию обработанного осадка в качестве органического удобрения.

3. Обработка гашеной известью ОСВ в объеме 20 и 30 % от массы осадка приводит к ухудшению его санитарно-бактериологического состояния: увеличение количества энтерококков на 39 и 20 % соответственно; появление бактерий рода *Proteus*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вострова, Р. Н. Особенности использования осадков сточных вод очистных сооружений города Гомеля в качестве удобрений / Р. Н. Вострова, Р. Н. Мохарева // Вода. – 2008. – № 9. – С. 12.
2. Прикладная экибиотехнология : учеб. пособие : в 2 т. / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, С. В. Лушников. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – Т. 1. – 629 с.
3. Пахненко, Е. П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения : учеб. пособие / Е. П. Пахненко. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.
4. Валиев, В. С. Способы утилизации осадков городских сточных вод (обзор) / В. С. Валиев, Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин // Российский журнал прикладной экологии. – 2020. – № 4 (24). – С. 52–63.
5. Новикова, О. К. Обработка осадков сточных вод / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.
6. Щербаков, В. И. Известкование как способ обеззараживания осадка сточных вод / В. И. Щербаков, В. В. Помогаева, С. С. Сухов // Российский инженер. – 2016. – Вып. № 2 (5). – С. 32–37.
7. Журавлев, П. В. Определение дезинфицирующего действия негашеной извести на микрофлору иловых осадков сточных вод очистных сооружений канализации и животноводческих комплексов / П. В. Журавлев, В. В. Алешня, Б. И. Марченко // Гигиена и санитария. – 2019. – № 5. – С. 483–488.
8. Сайпуллаев, М. С. Дезинфекционная активность гашеной извести с хлоридом натрия / М. С. Сайпуллаев, А. М. Батырова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 1970. – № 2. – С. 58–62.
9. Охрана природы. Почвы. Требования к осадкам сточных вод при использовании их в качестве удобрений : ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001. – Введ. 01.10.2001. – М. : Стандартинформ, 2008. – 5 с.
10. Игнатенко, А. В. Деконтаминация осадков сточных вод и методы ее контроля / А. В. Игнатенко // Труды БГТУ. – 2016. – № 4. – С. 210–213.
11. Пилип, Л. В. Бактерии рода *Proteus* в побочных продуктах животноводства и почве / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина // Известия КГТУ. – 2024. – № 75. – С. 40–51.

REFERENCES

1. Vostrova, R. N. Osobennosti ispol'zovaniya osadkov stochnykh vod ochistnykh sooruzhenii goroda Gomelya v kachestve udobrenii / R. N. Vostrova, R. N. Mokhareva // Voda. – 2008. – № 9. – S. 12.
2. Prikladnaya ekobiotekhnologiya : ucheb. posobie : v 2 t. / A. Ye. Kuznetsov, N. B. Gradova, S. V. Lushnikov. – M. : BINOM. Laboratoriya znaniy, 2010. – T. 1. – 629 s.

3. Pakhnenko, Ye. P. Osadki stochnykh vod i drugie netraditsionnye organicheskie udobreniya : ucheb. posobie / Ye. P. Pakhnenko. – M. : BINOM. Laboratoriya znaniy, 2007. – 311 s.
4. Valiev, V. S. Sposoby utilizatsii osadkov gorodskikh stochnykh vod (obzor) / V. S. Valiev, D. V. Ivanov, R. R. Shagidullin // Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii. – 2020. – № 4 (24). – S. 52–63.
5. Novikova, O. K. Obrabotka osadkov stochnykh vod / O. K. Novikova. – Gomel' : BelGUT, 2015. – 96 s.
6. Shcherbakov, V. I. Izvestkovanie kak sposob obezzarazhivaniya osadka stochnykh vod / V. I. Shcherbakov, V. V. Pomogaeva, S. S. Sukhov // Rossiiskii inzhener. – 2016. – Vyp. № 2 (5). – S. 32–37.
7. Zhuravlev, P. V. Opredelenie dezinfitsiruyushchego deistviya negashenoi izvesti na mikrofloru ilovykh osadkov stochnykh vod ochistnykh sooruzhenii kanalizatsii i zhivotnovodcheskikh kompleksov / P. V. Zhuravlev, V. V. Aleshnya, B. I. Marchenko // Gigiena i sanitariya. – 2019. – № 5. – S. 483–488.
8. Saipullaev, M. S. Dezinfektsionnaya aktivnost' gashenoi izvesti s khloridom natriya / M. S. Saipullaev, A. M. Batyrova // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. – 1970. – № 2. – S. 58–62.
9. Okhrana prirody. Pochvy. Trebovaniya k osadkam stochnykh vod pri ispol'zovanii ikh v kachestve udobrenii : GOST R 17.4.3.07 – 2001. – Vved. 01.10.2001. – M. : Standartinform, 2008. – 5 s.
10. Ignatenko, A. V. Dekontaminatsiya osadkov stochnykh vod i metody ee kontrolya / A. V. Ignatenko // Trudy BGTU. – 2016. – № 4. – S. 210–213.
11. Pilip, L. V. Bakterii roda Proteus v pobochnykh produktakh zhivotnovodstva i pochve / L. V. Pilip, N. V. Syrchina // Izvestiya KGTU. – 2024. – № 75. – S. 40–51.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 14.10.2025

Максим Альбертович Богдасаров¹, Юлия Викторовна Богдасарова^{2*}

Сергей Александрович Заруцкий³, Петр Егорович Резкин⁴

¹д-р геол.-минерал. наук, проф., член-корреспондент 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 2. Стратегический SWOT-анализ развития Брестской области)

Во второй части статьи рассматриваются результаты проведенной диагностики природных, демографических, хозяйственных особенностей Брестской области, определившие сильные и слабые стороны региона, угрозы и ключевые проблемы его развития. Установлено, что в основе устойчивого развития Брестской области лежит экологическая ситуация, благоприятная для жизнедеятельности ее жителей, а экономика области является эффективным инструментом для сохранения окружающей среды и жизни человека в гармонии с природой.

Ключевые слова: Брестская область, ключевые вызовы и угрозы, конкурентные преимущества, резервы роста экономики.

Potential, Competitive Advantages and Problems of Socio-Economic Development of Brest Region (Part 2. Strategic SWOT-analysis of Brest region development)

The second part of the article examines the results of the conducted diagnostics of the natural, demographic, and economic characteristics of the Brest region, which identified the strengths and weaknesses of the region, threats, and key problems of its development. It is shown that the basis for sustainable development of the Brest region is the environmental situation, favorable for the life of its residents, and the region's economy is an effective tool for preserving the environment and human life in harmony with nature.

Key words: Brest region, key challenges and threats, competitive advantages, reserves of economic growth.

*Научный руководитель – Александр Александрович Волчек, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры природообустройства Брестского государственного технического университета

Введение

Происходящие в мире в настоящее время глобальные процессы являются серьезными вызовами для развития Брестской области – их необходимо учитывать в долгосрочной перспективе. Наиболее значимые – это геополитическая нестабильность, глобализация и технологические преобразования, изменение климата. Сокращение численности и старение населения, урбанизация и рост диспропорций между городом и деревней, усиление социальной нагрузки на бюджет, необходимость адаптации отраслей к изменению климата являются серьезными местными вызовами для устойчивости развития области.

Методика исследования

Во второй части настоящей работы приводятся результаты диагностики природных, демографических и хозяйственных особенностей Брестской области, определяющих сильные и слабые стороны региона, угрозы и ключевые проблемы его развития – стратегический SWOT-анализ ее развития (таблица), выполненный на основе «Методических рекомендаций по разработке региональных стратегий устойчивого развития в Республике Беларусь» [1], разработанных Научно-исследовательским экономическим институтом Министерства экономики Республики Беларусь, а также предложений тематических консультантов с учетом специфики области и проекта НСУР-2040 [2]. В качестве исходных были использованы данные информационных систем «Геостатистика» [3] и «Платформа региональных данных по устойчивому развитию» [4], а также сведения, содержащиеся в ежегодных сборниках Национального статистического комитета Республики Беларусь [5; 6].

Результаты и их обсуждение

Важным, ключевым вызовом является *демографическая ситуация в регионе – тенденция сокращения численности населения области, в т. ч. трудоспособного возраста*. За 8 лет (с 2015 по 2023 г.) численность населения области сократилась на 4,3 % (снижение численности населения трудоспособного возраста за 2021–2023 гг. составило 0,4 %). Ежегодно в регионе отмечается сокращение численности населения, занятого в экономике, в т. ч. из-за перечисленных причин, а также продолжающейся оптимизации кадрового персонала в организациях, роста трудовой миграции населения за пределы области, старения населения. Поэтому нужен взвешенный подход для повышения привлекательности области с целью сохранения и привлечения человеческих ресурсов.

Процесс урбанизации прогрессирует: по данным на 2023 г., 72,3 % жителей области проживает в городских поселениях. В области расположено несколько крупных городов: Брест (342,5 тыс. человек) – шестой по численности населения город в Беларуси, Барановичи (172,2 тыс. человек) – восьмой, Пинск (124,6 тыс. человек) – десятый. Население городов пополняется за счет притока молодежи из сельских регионов.

Урбанизации способствует *рост диспропорций по уровню жизни между городом и деревней*. Несмотря на более благоприятные экологические условия, сельские населенные пункты в настоящее время «проигрывают» городам в возможности трудоустройства и уровне оплаты труда, доступности и качестве социальных услуг, возможностях получить образование и самореализоваться. Все чаще деревни позиционируются как территории для краткосрочной рекреации, растет количество деревень дачного назначения, являющихся преимущественно местом для сезонного отдыха горожан. В сельской местности, по данным на 2023 г., проживает 27,7 % жителей области. Средний возраст сельского населения продолжает расти, увеличивается количество малонаселенных деревень, продолжают закрываться объекты социальной сферы. Следовательно, необходим поиск новых подходов для снижения диспропорций между городом и деревней (онлайн-образование взрослых, мобильная занятость и др.).

Таблица – Стратегический SWOT-анализ развития Брестской области

Ресурсы региона	Инфраструктура региона	Экономическая деятельность
1. Удачное географическое положение, климат умеренно-континентальный, с мягкой зимой и теплым летом. 2. Более трети территории Брестского региона занимают леса (в Ганцевичском, Ивацевичском и Малоритском районах – более 50 %). 3. Высокая заболоченность (болота занимают 9 % территории). 4. Густая сеть рек, мелиоративных каналов, озер, водохранилищ (10 % всей территории). 5. Имеются запасы строительного камня, торфа, сапропеля, открыто месторождение каолина. 6. Большие запасы лесного лекарственного сырья.	1. Развитая транспортная инфраструктура: транзитный коридор Берлин – Варшава – Брест – Минск – Москва, прямой путь в Вильнюс и Киев; в Бресте расположен международный всепогодный аэропорт 1-й категории, способный принимать почти все типы самолетов; по рекам и Днепроовско-Бугскому каналу осуществляется судоходство; Микашевичский канал служит для вывоза продукции РУП «Гранит»; по территории области проходят нефтепровод «Дружба» и газопроводы Торжок – Минск – Ивацевичи и Кобрин – Брест – Варшава. 2. Высокий уровень развития инфраструктуры науки и образования, перспективный научно-исследовательский потенциал (создана база для профильного обучения, функционируют педагогические, инженерные и др. классы, имеются учреждения, выполняющие научные исследования и разработки). 3. Наличие активно развивающегося IT-сектора, сформирован кластер предприятий (ООО «ТриС», ИООО «Эполь Софт», резиденты ЗАО «Брестский научно-технологический парк»). 4. Наличие современной системы здравоохранения и оказания медицинских услуг, возможностей санаторно-курортного лечения. 5. Богатое историко-культурное наследие и наличие центров притяжения для различных потребительских сегментов туристов (мемориальный комплекс «Брестская крепость-герой» и Национальный парк «Беловежская пуща»).	1. Сложившаяся специализация промышленного комплекса, наличие сильных и узнаваемых брендов (наибольшую долю в комплексе промышленных производств занимает пищевая промышленность – почти 50 %). 2. Благоприятные условия для ведения аграрного производства (средний балл плодородия сельхозземель – 30,3), регион производит пятую часть валовой продукции сельского хозяйства республики; специализируется на мясо-молочном животноводстве, овощеводстве, картофелеводстве. Имеется шесть рыбхозов и более 15 фермерских хозяйств, занимающихся рыбоводством. 3. Существенный потенциал развития сектора малого и среднего предпринимательства, сформирована система поддержки развития МСП (действуют 10 центров поддержки и два инкубатора малого бизнеса).

Продолжение таблицы

Ключевые проблемы и слабые места для устойчивого развития		
Экономические	Социальные	Экологические
1. Сложное финансовое состояние ряда крупных промышленных предприятий, в первую очередь республиканских; высокий уровень долговых обязательств сельхозпроизводителей. 2. Отставание темпов роста производительности труда от темпов роста реальной заработной платы, актуальной остается проблема высокой энерго- и материалоемкости производства. 3. Наличие избыточных строительных мощностей, не соответствующих платежеспособному спросу на услуги строительных организаций, отток квалифицированных рабочих кадров. 4. Невысокие темпы модернизации объектов инфраструктуры пассажирского транспорта, низкое качество и слабая развитость автодорожной сети в периферийных районах.	1. Недостаток трудовых ресурсов, в первую очередь рабочих специальностей, связанный с оттоком экономически активного населения. 2. Неблагоприятные демографические тенденции, являющиеся следствием сложившейся возрастной структуры, в результате которых сокращается трудовой потенциал. 3. Сохранение разрыва по оплате труда в сельской и городской местности. 4. Недостаточная обеспеченность населения врачами и младшим медицинским персоналом в сельских населенных пунктах. 5. Ухудшение эпидемической ситуации, риск появления новых видов заболеваний.	1. Опережающая динамика накопления отходов в сравнении с темпами извлечения вторичных ресурсов, высокая локальная нагрузка выбросов, сбросов, неперерабатываемых отходов. 2. На территории области около 300 предприятий являются источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. 3. В области находится самый большой в Беларуси карьер по добыче строительного камня – «Микашевичи», в окрестностях которого происходит увеличение минерализации подземных вод, что создает сложности для питьевого водоснабжения населения.
Возможности для устойчивого развития		
Экономические	Социальные	Экологические
1. Использование кластерных структур как драйвера опережающего роста экономики региона, привлечение объектов МСП в создание разнообразных кластеров. Формирование конкурентоспособных региональных брендов в кластерах с отличительными характеристиками и хорошей репутацией на рынке. 2. Ускоренное развитие производств, базирующихся на переработке местных сырьевых ресурсов, производство продукции по полному технологическому циклу (деревообработка, производство комплексных минеральных удобрений, пищевых продуктов, переработка льна и других видов сельскохозяйственной продукции).	1. Развитие системы воспроизводства научно-технических кадров для инновационной экономики через координацию мероприятий по линии «школа – вуз – научное учреждение – наукоемкое предприятие», привлечение и закрепление талантливой молодежи в сфере науки и инновационного производства. 2. Увеличение объемов высокотехнологичных видов медицинской помощи и их доступности на районном уровне, в т. ч. путем создания высокотехнологичных межрайонных медицинских центров.	1. Внедрение циркулярной экономики – развитие городов и поселков на основе умных технологий и принципов зеленого градостроительства с повышением эффективности использования ресурсов. Трансформация традиционных секторов экономики на базе этих принципов. 2. Преодоление негативных последствий радиоактивного загрязнения территорий региона, реабилитация экологически нарушенных территорий.

Продолжение таблицы

3. Создание новых импортозамещающих производств строительных материалов для обеспечения потребностей строительного комплекса и других отраслей (керамический кирпич с улучшенными эксплуатационными и декоративными характеристиками, кварцевый фракционный песок для нефтедобывающей промышленности). 4. Усиление инфраструктурной взаимосвязи экономических центров с прилегающими районами для повышения эффективности и сбалансированности их развития как единых территориально-хозяйственных комплексов. 5. Активное развитие центров экономического роста (Брест, Береза, Кобрин, Пружаны) для наращивания экономического потенциала территории и удержания трудовых ресурсов за счет концентрации инвестиционных ресурсов. 6. Развитие сектора ИКТ, способствующего повышению качества жизни населения, эффективности ведения бизнеса и госуправления, возникновению новых форм получения образования, коммуникации и социализации людей, обеспечению доступа к различным видам информации. 7. Создание инновационных экспортно ориентированных производств (фармацевтическое производство, производство по глубокой переработке отходов животноводства и пр.). Стимулирование создания малых инновационных предприятий. 8. Динамичное развитие малого и среднего бизнеса, в т. ч. посредством механизма государственно-частного партнерства, что окажет позитивное влияние на развитие инвестиционной деятельности как со стороны отечественных, так и иностранных инвесторов.	3. Стимулирование закрепления специалистов агро-технических и ветеринарных специальностей на срок пять лет и более за счет доплат к заработной плате из средств республиканского и областного бюджетов. 4. Раскрытие культурного потенциала региона (реставрация объектов инфраструктуры культуры, развитие национальных культурных брендов и их интеграция в международное культурное пространство; развитие народных промыслов и ремесел).	3. Развитие контролируемых биотехнологий, обеспечение соответствия продовольствия и растительной продукции национальным и международным санитарно-эпидемиологическим, ветеринарно-санитарным и фитосанитарным требованиям. 4. Усиление защиты лесов от вредителей и болезней, своевременное проведение санитарно-оздоровительных мероприятий, внедрение новых технологий обработки и применение современных инсектицидов, произведенных с учетом последних достижений в области биологии, генетики и биохимии. 5. Внедрение прогрессивных водосберегающих технологий и производственных процессов, обеспечивающих снижение удельного водопотребления, развитие систем оборотного и повторного водоснабжения.
---	--	---

Окончание таблицы

Угрозы для устойчивого развития		
Экономические	Социальные	Экологические
1. Влияние природно-климатических факторов на аграрный сектор региона (обилие дождей, заморозки, засухи). 2. Зависимость Беларуси от импортных поставок минерально-сырьевых ресурсов, многих видов продукции, в т. ч. стратегического значения, продовольственных товаров, а также комплектующих изделий. 3. Сбои в работе отдельных предприятий из-за их сложного финансового положения, нарушение платежных отношений вследствие хронического дефицита оборотных средств.	1. Сокращение занятого в экономике населения из-за снижения его численности в трудоспособном возрасте, продолжающейся оптимизации кадрового персонала, роста трудовой миграции населения за пределы области, старения населения. 2. Трудовая миграция и угроза потери интеллектуального потенциала в условиях растущей конкуренции за высококвалифицированные кадры (в области здравоохранения, образования, ИКТ). 3. Удаленность услуг от мест проживания сельского населения в результате закрытия созданных объектов инфраструктуры (детские сады, школы, ФАПы, магазины).	1. Истощение невозобновляемых природных ресурсов, в т. ч. почвенного плодородия, водных ресурсов, видового разнообразия флоры и фауны. 2. Деградация земель, подтопление, засоление, воздействие на биологическое разнообразие территории вследствие использования интродуцентов, а также норм обеспечения химической безопасности из-за неправильного применения пестицидов. 3. Региональный трансграничный перенос на территорию загрязняющих веществ воздушными и водными потоками. 4. Экстремальные климатические явления (оползни, наводнения, пожары в лесах и на торфяниках).

Последствия климатических изменений для Брестской области могут быть более существенными, чем для других регионов страны (усиление засушливых явлений и рисков для агропромышленного производства, повышенные риски для здоровья населения вследствие усиления жары в летний период года и др.). При этом необходимо отметить, что изменение климата может иметь для Брестской области и положительные эффекты (естественное осушение заболоченных и переувлажненных сельскохозяйственных земель, рост урожайности теплолюбивых культур, снижение затрат в отопительный период и др.).

Истощение невозобновляемых природных ресурсов: почвенного плодородия, водных ресурсов, неблагоприятная радиационная обстановка в отдельных районах.

На территории области имеется около 300 предприятий, являющихся источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и подземные воды. Железнодорожные пути и автодороги, трассы трубопроводов, промышленные линии электропередач во многих местах пересекают охраняемые территории, речные системы и лесные массивы и представляют потенциальную угрозу состоянию окружающей среды.

В Брестской области 94 населенных пункта *находятся в зоне радиоактивного загрязнения* (в Дрогичинском, Пинском, Лунинецком и Столинском районах), что составляет 4 % от общего количества населенных пунктов области. В них проживает около 7 % населения Брестской области. Здесь необходимы дополнительные меры радиационной и социальной защиты населения.

С учетом складывающихся мировых тенденций в активном развитии сферы услуг и интеллектуальной экономики Брестская область нуждается в диверсификации,

при этом необходимо сохранить и преумножить уже накопленный индустриальный потенциал. *Рост индустриализации необходимо обеспечить* в первую очередь за счет частного сектора, развитию которого должны способствовать индустриальные парки в Барановичах и Пинске.

Угрозой для устойчивого развития области можно считать *отставание номинальной начисленной заработной платы от республиканского уровня* (отношение номинальной начисленной среднемесячной заработной платы к среднереспубликанскому показателю в последние годы не превышало 85 – 85,7 %). Денежные доходы в расчете на душу населения также отставали от республиканского уровня. Также для региона характерна *внутриобластная дифференциация по номинальной начисленной среднемесячной заработной плате*, что естественным образом снижает привлекательность отдельных районов для трудоустройства. Низкие доходы в регионах влияют на миграционный отток населения в Брест, Минск, другие города.

К конкурентным преимуществам Брестской области относятся:

- 1) удачное географическое и транспортное положение;
- 2) природные условия и ресурсы;
- 3) сложившаяся специализация промышленного комплекса, наличие «сильных» предприятий и узнаваемых брендов;
- 4) наличие развивающегося IT-сектора;
- 5) в целом благоприятные условия для ведения сельского хозяйства и развития аграрного производства;
- 6) существенный потенциал развития сектора малого и среднего предпринимательства;
- 7) наличие развитого научно-исследовательского потенциала и системы подготовки кадров;
- 8) богатое историко-культурное наследие и наличие «центров притяжения» для различных туристских сегментов.

Резервы роста экономики кроются в следующем.

1. Экономика Брестской области должна *развиваться в направлении экономики знаний*, основу которой создают знания и человеческий капитал. Процесс развития такой экономики тесно связан с повышением качества человеческого капитала и качества жизни, в производстве знаний в сфере высоких технологий, инноваций и высококачественных услуг. Точками роста при этом могут стать, например, биотехнологии и робототехника, цифровизация, рациональное использование природных ресурсов, экологизация всех сфер жизнедеятельности, развитие энергетики. Сильным импульсом к развитию области может стать создание в Барановичах индустриального парка «Бурштын», модернизация и развитие международного аэропорта «Брест», что будет способствовать активизации деловой и туристической активности. Необходимо продолжать стимулировать развитие внутреннего и въездного туризма, популяризировать экологический, историко-культурный, событийный и агроэкотуризм.

2. Резервом экономического развития области является *малое и среднее предпринимательство*, которое более гибко реагирует на кризисы и их последствия. Вклад МСП в валовую добавленную стоимость области составляет 25 %.

3. Дальнейшее *развитие импортозамещающих производств* предполагает создание новых импортозамещающих проектов с учетом наличия компетенции предприятий области в сфере производства пищевых продуктов, деревообрабатывающей промышленности, машиностроения и др., наращивание выпуска импортозамещающей продукции, в т. ч. с учетом уже имеющихся компетенций, и освоение новых видов продукции. В результате предполагается достижение нового технологического уровня развития промышленности, переход на использование новейших технологий, увели-

чение экспорта высокотехнологичной конкурентоспособной продукции, создание новых высокопроизводительных рабочих мест.

4. *Цифровое развитие* Брестской области предполагает дальнейшее последовательное внедрение информационно-коммуникационных и передовых производственных технологий во все сферы жизнедеятельности, оптимизацию бизнес-процессов на основе цифровых решений. Особое внимание необходимо уделить развитию цифровой трансформации бизнес-процессов, организации цифровой информационной среды. Продолжится работа по реализации комплексного «проекта будущего» «Умные города Беларуси», включающего системообразующие и инфраструктурные мероприятия, пилотные и экспериментальные проекты, нормативно-правовое и научное обеспечение, организационные, образовательные и популяризационные мероприятия.

Основными *вызовами* для сохранения биоразнообразия экосистем области являются хозяйственная деятельность человека (промышленность, сельское и лесное хозяйство, массовый сбор даров леса, малочисленные населенные пункты), а также изменение климата. Последствия изменения климата, воздействие неблагоприятных погодных условий, распространение болезней и вредных насекомых требуют адаптации системы ведения сельхозпроизводства, лесоразведения и лесовосстановления. В этой ситуации повышение эффективности управления особо охраняемыми природными территориями (ООПТ), доля которых составляет 15,2 % площади области (498,1 тыс. га), с развитием организованного экотуризма повысит приток ресурсов для регулирования и снижения антропогенной нагрузки на экосистемы. Сохраняется актуальность регулярного мониторинга экологической безопасности качества сбросов сточных вод в окружающую среду, поддержания в надлежащем техническом состоянии сооружений по их очистке, а также соблюдения установленных ограничений на хозяйственную деятельность в водоохранных зонах водоемов, рек, ручьев и родников.

В Брестской области имеется опыт успешной реализации ряда международных проектов, в рамках которых внедрены инновационные технологии и практики в здравоохранении, социализации людей с ограниченными возможностями, энергосбережении, охране окружающей среды, диверсификации экономики, развитии инфраструктуры поддержки МСП, повышении занятости, создании эко-бизнес-моделей развития на ООПТ.

Заключение

В результате проведенной диагностики (стратегического SWOT-анализа) природных, демографических, хозяйственных особенностей Брестской области выявлены ключевые угрозы и проблемы ее развития (демографическая ситуация, рост диспропорций по уровню жизни между городом и деревней, последствия климатических изменений, истощение невозобновляемых природных ресурсов, отставание номинальной начисленной заработной платы от республиканского уровня, внутриобластная дифференциация по номинальной начисленной среднемесячной заработной плате).

Одновременно выделены конкурентные преимущества (удачное географическое и транспортное расположение, природные условия и ресурсы, развивающийся ИТ-сектор, благоприятные условия для ведения сельского хозяйства, развитый научно-исследовательский потенциал, богатое историко-культурное наследие), определены резервы роста экономики (развитие в направлении экономики знаний, малое и среднее предпринимательство, развитие импортозамещающих производств, цифровое развитие).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические рекомендации по разработке региональных стратегий устойчивого развития в Республике Беларусь. – URL: <https://sdgs.by/wp-content/uploads/2025/02/metodicheskie-rekomendaczii.pdf> (дата обращения: 01.07.2025).
2. 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: 01.07.2025).
3. Геостатистика. Информационно-аналитическая система. – URL: <https://gis.belstat.gov.by> (дата обращения: 01.07.2025).
4. Платформа региональных данных по устойчивому развитию. – URL: <https://sdgregions.belstat.gov.by/?regionId=all> (дата обращения: 01.07.2025).
5. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели. 2024 : стат. сб. – Т. 1. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/bbb/n8x0ogexl0yf511-cgmew6om3bv0-wgr6g.pdf> (дата обращения: 01.07.2025).
6. 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: 01.07.2025).

REFERENCES

1. Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke regional'nykh strategii ustoichivogo razvitiya v Respublike Belarus'. – URL: <https://sdgs.by/wp-content/uploads/2025/02/metodicheskie-rekomendaczii.pdf> (data obrashcheniya: 01.07.2025).
2. Proekt Natsional'noi strategii ustoichivogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2040 goda. – URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/proekt-Natsionalnoj-strategii-ustojchivogorazvitija-na-period-do-2040-goda.pdf> (data obrashcheniya: 01.07.2025).
3. Geostatistika. Informatsionno-analiticheskaya sistema. – URL: <https://gis.belstat.gov.by> (data obrashcheniya: 01.07.2025).
4. Platforma regional'nykh dannyykh po ustoichivomu razvitiyu. – URL: <https://sdgregions.belstat.gov.by/?regionId=all> (data obrashcheniya: 01.07.2025).
5. Regiony Respubliki Belarus'. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2024 : stat. sb. – Т. 1. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/bbb/n8x0ogexl0yf511-cgmew6om3bv0wgr6g.pdf> (data obrashcheniya: 01.07.2025).
6. Regiony Respubliki Belarus'. Osnovnye sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli oblastei, gorodov i raionov. 2024 : stat. sb. – Т. 2. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/86e/bsktolub61c061y9l5usbwbamd3dmc0o.pdf> (data obrashcheniya: 01.07.2025).

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 02.08.2025

**Валентина Петровна Зерницкая¹, Борис Павлович Власов²,
Евгений Александрович Кухарик³, Нина Юрьевна Суховило⁴, Анна Михайловна Кухарик⁵**

¹д-р геогр. наук, доц., гл. науч. сотрудник лаб. современной геодинамики и палеогеографии
Института природопользования Национальной академии наук Беларуси

²д-р геогр. наук, проф., гл. науч. сотрудник науч.-исслед. лаб. озераведения
Белорусского государственного университета

³канд. геол.-минерал. наук, доц., зав. лаб. современной геодинамики и палеогеографии
Института природопользования Национальной академии наук Беларуси

⁴канд. геогр. наук, зав. науч.-исслед. лаб. озераведения
Белорусского государственного университета

⁵инженер лаб. биогеохимии и агроэкологии Института природопользования
Национальной академии наук Беларуси

Valentina Zernitskaya¹, Boris Vlasov², Evgeniy Kukharik³, Nina Sukhovilo⁴, Anna Kukharik⁵

¹Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher
of the Laboratory of Modern Geodynamics and Paleogeography of the Institute for Nature Management
of National Academy of Sciences of Belarus

²Doctor of Geographical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Lake Research
of Belarusian State University

³Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,
Head of the Laboratory of Modern Geodynamics and Paleogeography
of Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus

⁴Candidate of Geographical Sciences, Head of the Laboratory of Lake Research
of Belarusian State University

⁵Research Engineer of the Laboratory of Biogeochemistry and Agroecology
of the Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus
e-mail: ¹valzern@gmail.com

О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОВОГО СОСТАВА ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР*

Проанализирован фактический материал о современном состоянии изученности газового режима вод и донных отложений озер в различных регионах мира. Рассмотрена динамика выбросов метана и диоксида углерода с поверхности континентальных водоемов и их воздействие на глобальные биогеохимические циклы, приведены количественные оценки эмиссии, полученные разными авторами. Показано, что вследствие антропогенных изменений природной среды происходит трансформация особенностей формирования и динамики газового состава озерных экосистем. Выяснено, что для оперативной оценки объемов выбросов парниковых газов в атмосферу в настоящее время широко применяются методы дистанционного зондирования в сочетании с технологиями моделирования. Сделан вывод, что, несмотря на существенный интерес к рассматриваемой в статье проблематике, специальные исследования по территории Беларуси практически отсутствуют. Это обуславливает необходимость постановки научно-исследовательских работ с целью выявления особенностей формирования и динамики газового состава водоемов страны и определения их вклада в эмиссию парниковых газов.

Ключевые слова: озеро, газовый состав, озерные воды, донные отложения, метан, диоксид углерода, эмиссия.

The Current State of the Gas Composition Research of Lake Water and Bottom Sediments

The article contains analysis of extensive factual material on the research of the gas regime of waters and bottom sediments of lake reservoirs in various regions of the world. The dynamics of methane and carbon dioxide emissions from the surface of continental water bodies and their impact on global biogeochemical cycles are considered. Quantitative estimates of emissions of these gases obtained by different authors are given. It is shown that due to anthropogenic changes of the natural environment, there are also changes

*Исследование выполнено в рамках НИР «Изучение особенностей накопления и распределения газов в воде и донных отложениях разнотипных озер Беларуси и их роль в формировании экологического состояния водоемов» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

in formation and dynamics of the gas composition of lake ecosystems. It was found that remote sensing methods in combination with modeling technologies are currently widely used for the prompt assessment of greenhouse gas emissions into the atmosphere. It is concluded that despite significant interest in the issues discussed special studies on the territory of Belarus are practically absent. This necessitates the organization of research work in order to identify the features of formation and dynamics of the gas composition in the reservoirs all around the country and determine their contribution to greenhouse gas emissions.

Key words: lake, gas composition, lake water, bottom sediments, methane, carbon dioxide, emission.

Введение

Пресноводные озера, хотя и покрывают небольшую часть поверхности Земли, оказывают значительное влияние на погоду и климат в регионах, а также играют важную роль в глобальном углеродном цикле посредством эмиссии углекислого газа и метана в атмосферу. В связи с этим изучение процессов, происходящих в озерных водоемах и обеспечивающих формирование и динамику их газового состава, является весьма актуальной.

Исследования накопления и распределения газов в озерах, направленные на предотвращение последствий природно-антропогенного влияния, проводятся в различных университетах и научных учреждениях мира. Наиболее значимые научные результаты получены в Институте водных проблем РАН, Институте географии РАН, МГУ имени М. В. Ломоносова, Линчепингском университете и Центре исследований климатических воздействий (Швеция), Швейцарском федеральном институте водных исследований и технологий и Институте биогеохимии и динамики загрязнителей (Швейцария), Жешувском университете (Польша), Нанкинском институте географии и лимнологии Китайской академии наук, Университете Витовта Великого (Литва), Университете Северной Каролины (США) и др. В то же время интерес к выявлению особенностей формирования газового режима озер обусловлен и тем, что выбросы метана (CH_4) и углекислого газа (CO_2) в атмосферу непосредственно влияют на происходящее потепление климата [1–3].

Цель статьи – анализ отечественного и международного опыта изучения особенностей формирования и динамики газового состава озер.

Материалы и методы исследования

Проведенное исследование базируется на анализе зарубежных и отечественных опубликованных источников, включающих монографические издания, статьи из научных периодических изданий, материалов конференций и совещаний разного уровня, касающихся вопроса формирования и динамики газового состава озерных водоемов в связи с определением эмиссии парниковых газов в атмосферу.

Результаты и их обсуждение

Метан. В Шестом оценочном докладе МГЭИК (AR6) подробно рассмотрена динамика выбросов метана и диоксида углерода из озер и их воздействие на глобальные биогеохимические циклы. Анализ данных об эмиссии газов из озер показывает, что они являются значимыми источниками поступления метана в атмосферу, особенно в условиях тундры или влажных тропических лесов. Здесь метан образуется и выделяется путем диффузии и в виде пузырьков. Глобальный вклад озер в эмиссию метана возрастает главным образом за счет эвтрофикации континентальных водоемов. Это приводит к изменению состава атмосферы и ее разогреву. Учитывая, что метан является более сильным парниковым газом по сравнению с CO_2 , его вклад в повышение температуры воздуха на планете весьма существенен. Так, общее выделение метана из озер мира (включая прибрежные мангровые леса и приливные зоны) оценивается примерно в 9–22 Тг/год при среднем значении около 13 Тг/год, или 13 млн т/год. По данным [4], влияние антропогенных изменений природной среды

и климатических факторов может увеличивать эти значения, особенно за счет усиления разложения органического вещества и таяния многолетней мерзлоты. Это подтверждается материалами мониторинговых наблюдений. Согласно предварительным данным Службы по контролю за изменением климата программы «Коперник», в 2020 г. концентрация метана в атмосфере достигла максимальных значений за всю историю спутниковых наблюдений, проводимых с 2003 г. Эксперты Глобального углеродного проекта [5] отмечают, что в 2017 г. концентрация метана в воздухе увеличилась на 9 % по сравнению с 2000–2006 гг., и называют сельское хозяйство и переработку отходов основными источниками эмиссии метана [6].

Известно, что при эмиссии CO_2 он остается в атмосфере в течение 300 лет, в то время как CH_4 – чуть более 10 лет. Сокращая объемы выброса метана, можно оперативно замедлить темпы происходящих климатических изменений. Стратегия Европейского союза по сокращению выбросов метана [7] ставит целью снизить его эмиссию в Европе на 35–37 % к 2030 г. по сравнению с 2005 г. посредством совершенствования законодательного регулирования в области учета и измерения всех выбросов метана, связанных с энергетикой, использования спутниковых данных для обнаружения суперизлучателей метана, а также путем создания Международной обсерватории выбросов метана. Стратегия ставит задачу повышения качества контроля и учета выбросов метана главным образом с помощью сервисов Службы мониторинга атмосферы (CAMS). В США реализуется программа REMEDY, в рамках которой разрабатываются технологии снижения выбросов метана в нефтегазовой и угольной промышленности. 45 стран, на долю которых приходится 3/4 мировых выбросов метана, поддержали Глобальную инициативу по метану [8], направленную на снижение объемов его выбросов в этих промышленных отраслях.

В последние годы во всем мире активно развиваются методы и технологии изучения и учета источников поступления метана в атмосферу с использованием дистанционного зондирования Земли [9–15]. Среди основных методов дистанционного зондирования для оценки выбросов CH_4 выделяются следующие: определение спектральных индексов на основе оптических данных, радиолокационные методы для мониторинга пузырьковой эмиссии метана и комбинированные методы с привлечением моделирования. Например, инструмент для мониторинга тропосферы TROPOMI позволяет обнаружить суперэмиттеров метана, после чего информация о подозрительных локациях передается спутниковой системе для получения детального изображения местности и определения инфраструктуры, ответственной за выбросы. Европейский технологический стартап Kayros использует данные спутника Sentinel-5P, а также материалы дистанционных съемок и технологии искусственного интеллекта для глобального мониторинга уровня метана на разработанной платформе Methane Watch.

Большое число исследований посвящено количественной оценке эмиссии парниковых газов. Они проводятся по всему земному шару и охватывают регионы с различными геологическими и климатическими особенностями и уровнем хозяйственной освоенности. Эмиссия метана на единицу площади озера варьируется в зависимости от климатического пояса, что связано с различиями в температуре воздуха, характеристиках снежного покрова и длительности сезона активной эмиссии. В более теплых экваториальных, тропических и субтропических регионах Земли показатели эмиссии на 1 м^2 значительно выше, поскольку высокая температура воздуха стимулирует биогеохимические процессы, увеличивая концентрацию и диффузию метана. В умеренных широтах, например, в бореальных и суббореальных регионах, показатели ниже из-за короткого сезона активной эмиссии и низких температур воздуха зимой, что снижает активность биоты.

В полярных и тундровых регионах, где вода замерзает на длительное время и биотическая активность минимальна, эмиссия на единицу площади очень низка, особенно зимой. В течение короткого сезона активной эмиссии показатели увеличиваются, но в среднем остаются ниже, чем у тропических водоемов. В целом можно сказать, что на единицу площади озера сумма выбросов метана значительно возрастает с переходом от холодных к теплым климатическим поясам, что обусловлено климатическими условиями, поддерживающими более интенсивные биохимические процессы.

Рассмотрим некоторые количественные оценки поступления метана в атмосферу из озер и водохранилищ, расположенных в различных природно-климатических условиях. Для озер бассейна р. Амазонки поток метана составляет 0–34 мг/м²/сут. [16] и 27–230 мг/м²/сут. [16; 17]. Оценки потока метана из озер Канады и США показывают, что его величина изменяется в пределах 0,006–46 мг/м²/сут. [18]. Согласно [19], в озерах штата Северная Каролина (США) интенсивность выделения метана в атмосферу лежит в пределах 39–425 мг/сут., а годовая эмиссия составляет 1,3 моль/м² за счет диффузии и сопоставима с величиной пузырьковой эмиссии. Таким образом, за один год выделяется примерно 2,6 моль/м² метана, или 41,6 г/м². В озерах штата Аляска (США) диапазоны эмиссий метана варьируются в зависимости от типа водоема и его размеров. Показано, что небольшие озера имеют более высокие уровни эмиссии на единицу площади водной поверхности, чем крупные водоемы. Например, эмиссия метана для термокарстовых озер в районе г. Фэрбанкса составляет около 4–135 г/м²/год [20]. Такие большие различия подчеркивают важность учета размера озер и их трофности при оценке региональных эмиссий парниковых газов. На территории бывшего СССР насчитывается 2,8 млн озер с общей площадью водного зеркала около 490 тыс. км². В соответствии с данными [21] скорость выделения метана составляет 23 ± 23 мг/м²/сут., а общая эмиссия метана в атмосферу составляет примерно $1,1 \pm 1,1$ Тг/год. В термокарстовых водоемах Северной Сибири годовая эмиссия метана в среднем оценивается в $127,8 \pm 24,0$ г/м²/год [22].

Эмпирические зависимости концентрации и эмиссии метана от различных морфометрических и гидробиологических характеристик озер изучались на примере водоемов штата Аляска (США), Канады и других регионов. На примере озер Канады было показано, что в среднем за день в донных осадках производится около 3,3 ммоль/м² CH₄, из которых примерно 33 % уходит в атмосферу в виде пузырьковой эмиссии. Значительная часть вариации связана с характеристиками бассейна (например, рельефом). Озера с более равнинными (плоскогорья и равнины) водосборами демонстрируют более высокие доли пузырьковой эмиссии, что связано с особенностями гидрогеохимических условий [23].

Анализ эмиссии метана и углекислого газа из трех эвтрофных водохранилищ на юго-востоке Польши в 2009–2011 гг. и 2018–2019 гг. показал, что потоки CH₄ и CO₂ существенно различаются: для CH₄ они варьируют в вдхр. Жешув от 0 до 1817,0 ммоль·м⁻²·сут.⁻¹, в вдхр. Мазярня – от 0 до 758,18 ммоль·м⁻²·сут.⁻¹, а в вдхр. Нелиш – от 0 до 2513,48 ммоль·м⁻²·сут.⁻¹; для CO₂ – в вдхр. Жешув они варьируют от 6,06 до 621,69 ммоль·м⁻²·сут.⁻¹, в вдхр. Мазярня – от –10,96 до 138,33 ммоль·м⁻²·сут.⁻¹, а в вдхр. Нелиш – от –4,63 до 495,35 ммоль·м⁻²·сут.⁻¹. Среди наиболее важных факторов, влияющих на формирование потоков CH₄ и CO₂, исследователи называют температуру воды, содержание органических веществ, pH воды и донных отложений, а также возраст водохранилища [24]. По данным изучения выбросов метана и углекислого газа из вдхр. Валье-де-Браво (Мексика), расположенного в тропическом регионе, выбросы метана колеблются от 23,25 до 1220,80 ммоль·м²·сут., а выбросы CO₂ – от –60,11 до 254,99 ммоль·м²·сут. Основной вклад в эмиссию

происходит во время осеннего перемешивания. Также было установлено, что запасы парниковых газов в условиях термической стратификации составили 58 % от их совокупных годовых выбросов [25].

Накопление и систематизация данных по содержанию метана в разнообразных водоемах и водотоках суши [26–31] показали, что этот газ постоянно присутствует в воде и донных отложениях, а его уровень отражает интенсивность и направленность продукционно-деструкционных процессов, а следовательно, степень эвтрофирования и загрязнения органическими веществами водных объектов. Концентрация метана в воде водохранилищ занимает промежуточное положение между величинами его содержания в воде озер и равнинных рек с приуроченностью наибольшего количества значений к интервалу 5,0 – 40,0 мкл/л. Характерно снижение концентрации газа в воде при удалении от прибрежной зоны к открытой акватории с минимальными концентрациями в поверхностном слое воды центральной глубоководной части котловины. Максимальные концентрации метана в воде и донных отложениях приурочены к участкам, испытывающим сильное антропогенное воздействие. Сезонные изменения концентраций метана, как правило, характеризуются возрастанием от весны к лету и снижением в осенне-зимний период. По данным [32], на озерах Севера России, а также на Горьковском и Можайском водохранилищах обнаружено, что придонный слой водоемов насыщен растворенным метаном. В ночное время регулярно наблюдалось увеличение концентрации метана и в воздухе, что связано с его эмиссией из озера. Увеличение объема поступления метана в атмосферу ночью совпадает с конвективными периодами в водоемах. Эти процессы могут увеличить скорость переноса и, следовательно, усилить диффузионный поток метана. В соответствии с изложенными выше фактами анализ содержания растворенных газов в водах и донных отложениях водохранилищ дает возможность считать их важным региональным источником поступления метана в атмосферу.

В работе [33] проанализированы результаты изучения распределения концентраций метана в воде открытой акватории и северной оконечности оз. Байкал, а также в истоке р. Ангары в сентябре 2016 и 2019 гг. Для выявления корреляционных связей наряду с метаном также определялись различные гидрохимические показатели (температура, pH, концентрации O_2 , взвешенных веществ, C_{org} , N_{org} , P_{org} , минеральных соединений азота и фосфора). Концентрация метана в воде оз. Байкал варьировала в 2016 г. в пределах 0,44–3,41 мкл/дм³ (в среднем 0,80 мкл/дм³), в 2019 г. – 0,20 – 5,19 мкл/дм³ (в среднем 1,22 мкл/дм³). Максимальная концентрация метана отмечена в водной массе наиболее глубоководной центральной части котловины озера, минимальная – в южной. Для мелководных участков минимальные концентрации метана отмечались в прибрежной зоне зал. Лиственничный, максимальные – в северной части озера, куда впадает большое количество рек, а также в пределах Селенгинского мелководья. Для большинства как глубоководных, так и мелководных станций наблюдения отмечался пик подповерхностного максимума концентраций метана на глубинах 25–50 м (зона термоклина), после чего его концентрации, как правило, снижались, достигая минимальных значений либо в промежуточной водной толще, либо в придонных слоях. Мелководные участки, помимо более высоких концентраций метана по сравнению с глубоководными, отличались также и большей контрастностью его распределения по вертикали водной толщи. Анализ корреляционных зависимостей между исследуемыми гидрохимическими показателями выявил наличие значимых прямых связей концентраций метана с концентрациями C_{org} и N_{org} и обратных – с концентрациями O_2 .

На территории Республики Беларусь специальные работы по оценке эмиссии метана из торфяных месторождений в атмосферу начаты в 2010 г. и проводились

в рамках белорусско-немецко-британского проекта «Восстановление торфяников Беларуси и применение концепции их устойчивого управления – снижение воздействия на климат с эффектом для экономики и биоразнообразия». Целью работы была оценка годового баланса эмиссий метана с осушенного и повторно заболоченного торфяного месторождения с различным уровнем залегания грунтовых вод, различным составом произрастающей растительности и землепользованием исследуемой территории. Результаты полевых измерений эмиссии метана в течение года камерно-статическим методом на осушенной и повторно заболоченной части торфяного месторождения низинного типа «Выгонощанское» представлены в работе [34]. Установлено, что наибольшие суммарные эмиссии метана наблюдались с торфяника с повышенным уровнем грунтовых вод и доминирующим видом *Phalaris arundinacea* (канареечник тростниковидный), на котором не осуществлялось кошение биомассы. Они составили 142,03 кг/га/год CH_4 , при кошении биомассы эмиссии метана уменьшились примерно на 30 %.

На территориях с глубоким залеганием грунтовых вод определяющим фактором для эмиссий метана является наличие шунтирующих видов. Так, на площадке с доминирующим видом *Juncus effusus* (ситник развесистый) суммарные эмиссии метана составили 17,40 кг/га/год, а на площадке без шунтирующих видов наблюдалось суммарное поглощение метана – 0,33 кг/га/год CH_4 . В целом уровень эмиссии метана зависел от температурных факторов, уровня грунтовых вод и наличия видов растений с аэренхимой. При этом наибольшие значения эмиссии метана наблюдались с мая по июль.

Результаты проведенных наблюдений позволили сделать вывод, что при высоких температурах окружающей среды и почвы эмиссии метана выше, чем при низких температурах. Уровень эмиссии метана также зависит от произрастающей на исследуемой территории растительности. Наибольшее суммарное поступление метана наблюдалось с торфяника с повышенным уровнем грунтовых вод с доминирующим видом *Phalaris arundinacea*, на котором не осуществлялось кошение биомассы. Утверждается, что для большего понимания процессов баланса углерода в атмосфере необходимо дальнейшее более детальное и длительное измерение потоков метана, как и других парниковых газов.

Кислород. Кислородный режим является важной физико-химической характеристикой биологических систем и находится в тесной взаимосвязи с антропогенным воздействием на водные экосистемы [35]. Изучение кислородного режима озер Южного Приаралья [36] показало, что содержание кислорода по станциям озер и каналов очень вариабельно, зависит от множества факторов и определяется сезоном года. В период весенней и осенней гомотермии и полного перемешивания водной массы растворенный кислород распределен в толще воды равномерно. Концентрация его в это время составляет 5,7–12,62 мг O_2 /л, что не превышает 100 % насыщения. Летом содержание кислорода в поверхностном слое озер колеблется от 8,0 до 10,2 мг O_2 /л, что соответствует 99,0 – 121 % насыщения. Снижение концентрации кислорода в природных слоях может достигать нулевых значений.

При выполнении рыбоводных работ особое внимание уделяется изучению кислородного режима водоемов, т. к. наличие в воде растворенного кислорода – обязательное условие для существования большинства водных организмов. Потребность в кислороде у отдельных видов рыб различна. Так, для нормальной жизнедеятельности лососевых концентрация кислорода должна быть 8–11 мг/л, а для карповых – 5,8 мг/л, при концентрациях ниже 3,0 мг/л возникает угроза гибели рыб. В воде открытых водоемов содержание кислорода не должно быть менее 4 мг/л, в противном

случае могут начаться анаэробные процессы распада органического вещества и «загнивания» воды [37].

Особое место среди водоемов гумидной зоны умеренного пояса занимают озера с кислой реакцией среды, отличающиеся слабой активностью биогеохимических процессов (ацидотрофные озера). Изучению гидрохимического режима ацидотрофных озер Беларуси посвящено исследование [38]. Показано, что в восьми ацидотрофных озерах по сравнению с концом 1970-х – началом 1980-х гг. повысился уровень минерализации воды и концентрации аммоний-иона, а также снизились значения содержания кислорода, растворенного в водной массе, и прозрачность. В озерах Свитязь и Белое (Лунинецкий р-н) летом у дна формируется сероводородная зона. Это свидетельствует об ухудшении экологического состояния ацидотрофных озер. Так, в оз. Свитязь, где в гипolimнии также отсутствует растворенный кислород, вода начинает приобретать запах сероводорода с глубины 9 м. Следует отметить, что с момента первого полевого обследования кислородный режим ацидотрофных озер ухудшился: в большинстве водоемов появилась отсутствовавшая ранее кислородная стратификация, а в озерах Свитязь и Белое (Лунинецкий р-н) в гипolimнии сформировалась сероводородная зона, что свидетельствует об их неблагоприятном экологическом состоянии.

Диоксид углерода. Этот газ содержится в воде в основном в виде растворенных молекул CO_2 , и лишь малая часть его (около 1 %) при взаимодействии с водой образует угольную кислоту. Концентрация диоксида углерода в природных водах колеблется от нескольких десятых долей до 3–4 мг/дм³, изредка достигая 10–20 мг/дм³. Обычно весной и летом содержание диоксида углерода в водоеме понижается, а в конце зимы достигает максимума. Диоксид углерода имеет большое значение для растительных организмов, в то же время повышенные концентрации CO_2 угнетающе действуют на животные организмы. При высоких концентрациях CO_2 воды становятся агрессивными по отношению к металлам и бетону [39–41].

Неуклонный рост концентрации CO_2 в атмосфере Земли представляет глобальную экологическую проблему и является одной из причин климатических изменений [41]. Анализ потоков углерода исторически сосредоточен на изучении наземных и океанических экосистем [42; 43]. Однако наличие массовых дисбалансов в пределах континентальных балансов [44] стимулировало исследование роли озер как возможных неучтенных составляющих углеродного бюджета [45]. Предпринятые попытки оценить ежегодную эмиссию CO_2 озерами мира показали, что озерная вода в большинстве случаев перенасыщена углекислым газом [46]. Тем не менее роль пресноводных экосистем в балансе диоксида углерода остается недостаточно ясной, а результаты, полученные в разных регионах земного шара, часто противоречивы. Так, отсутствуют четкие представления о внутриэкосистемных факторах, обуславливающих направление и величину углеродного баланса (эмиссия/сток) в течение всего вегетационного сезона [47–49]. Это дает основания утверждать, что роль пресноводных экосистем в мировом углеродном цикле может быть существенной и озера должны учитываться в региональных бюджетах углерода, особенно в озерных ландшафтах.

Анализ литературных источников, связанных с изучением газового состава вод и донных отложений озер Беларуси, показал, что комплексные исследования в этом направлении не проводились. В работе М. В. Мартыновой с соавторами [50] отражена информация о газовом составе илов оз. Нарочь в свете влияния на него зоопланктона. В результате выполненного исследования установлено, что основной газ в верхнем слое илов малого плеса оз. Нарочь – азот (N_2), а пространственное распределение азота, углерода и метана регулируется разными причинами. Обнаружены высокие корреляции CH_4 с температурой среды, содержанием и численностью моллюсков

в карбонатных илах. Эти связи объясняются колебаниями плотности пространственного распределения моллюсков, а также их жизнедеятельностью (например, концентрирование органического вещества некоторыми видами моллюсков при фильтрации ими воды), усиливающей метанообразование. Концентрация CO_2 значимо коррелирует только с содержанием органики в илах. Общий механизм пространственного распределения газов в илах не выявлен: концентрация CO_2 связана с распределением органического вещества, содержание N_2 – с содержанием в илах легкодоступных форм азота и, возможно, MnO_2 , а содержание CH_4 – с численностью моллюсков. Влияние макрозообентоса сказывается только на пространственном распределении в илах метана. Основной структурообразующий фактор рассмотренной системы малого плеса оз. Нарочь – температура среды.

Предварительные результаты измерений содержания метана в донных отложениях озер Белорусского Поозерья отражены в работе [51]. Исследование газовыделений проводилось в декабре 2018 г. на озерах Ушачской группы (Долгое, Вечелье, Березовское, Кривое). При отборе проб с поверхности озера использовался метод закрытых плавающих камер. Модифицированный метод закрытых донных камер, суть которого заключается в наращивании эффективной длины камеры посредством соединения стандартных открытых с противоположных сторон специальных модулей, применялся для отбора проб с поверхности дна. Отбор проб в обоих случаях осуществлялся в вакуумированные колбочки через каждые 10 мин. Измерения содержания газов (CH_4 , CO_2 , N_2O) выполнялись в лабораторных условиях на газовом хроматографе. В результате проведенных исследований установлено, что концентрации парниковых газов в донных отложениях озер с глубиной возрастают и достигают достаточно больших значений – на порядок выше, чем на поверхности. Можно предположить, что микробиогенный газ, образующийся в верхнем пятисантиметровом слое, подпитывается эндогенными источниками.

В работе [52], посвященной оценке углеродного баланса за вегетационный сезон (май–сентябрь) на примере оз. Нарочь впервые получены содержания CO_2 прямыми инструментальными измерениями на основе инфракрасной спектроскопии с использованием закрытых камер. Проведенные исследования показывают, что в наиболее активный этап вегетационного периода экосистема озера поглощает углекислый газ из атмосферы. По полученным скоростям обменных процессов газов с атмосферой в виде стока оз. Нарочь сходно с оз. Байкал: $5,5 - 8,6 \text{ гCO}_2/\text{м}^2$ за сезон (май–сентябрь) в оз. Нарочь и $6,5 - 7,0 \text{ гCO}_2/\text{м}^2/\text{год}$ в период открытой воды в оз. Байкал [53].

В целом полученные данные об обменных процессах углекислого газа с атмосферой в оз. Нарочь согласуются с рядом исследований, проведенных на других озерных водоемах. Кроме того, в настоящее время не выявлено четких критериев предсказания потока CO_2 в озерах разного типа. Направление потока в слаботрофном озере, таком как Нарочь, должно быть сдвинуто в сторону эмиссии CO_2 . Однако полученные данные показывают, что суммарный поток озера сдвинут в сторону стока углекислого газа из атмосферы. Такие противоречия могут быть обусловлены различиями в методологии проводимых измерений. На оз. Нарочь ежегодно проводятся комплексные гидробиологические исследования, что позволило сравнить сезонный ход потока диоксида углерода с гидробиологическими параметрами, среди которых наиболее интересны продукционно-деструкционные процессы. Отмечено наличие общего направления сезонных изменений и в продукционно-деструкционных параметрах (аэробная деструкция и величина фотосинтеза), и в потоке диоксида углерода.

В начале сезона показатели продукции и деструкции имеют наименьшие значения, увеличиваясь к середине и концу сезона. Суммарный сток углерода из атмо-

сферы через поверхность оз. Нарочь в форме диоксида углерода составил 128,6 т, из них через литораль из атмосферы в воду поступило 26,3 т, а через пелагиаль – 102,3 т.

Заклучение

Выполненный анализ состояния изученности газового состава озерных водоемов в различных регионах мира показал, что к настоящему времени накоплен обширный фактический материал по особенностям формирования и динамики газового состава континентальных водоемов, расположенных в различных природных условиях. Получены оригинальные данные по эмиссии парниковых газов в атмосферу с применением как классических методов полевых измерений, так и новейших технологий, базирующихся на данных дистанционного зондирования Земли и компьютерного моделирования. В настоящее время организованы и проводятся мониторинговые наблюдения за эмиссией метана и диоксида углерода с целью учета и контроля суперэмиттеров и определения вклада озерных водоемов в общее поступление этих газов в атмосферу. Показано, что для территории Беларуси результаты подобных исследований практически отсутствуют, опубликованные оценки газового режима вод и донных отложений озер страны касаются единичных замеров на отдельных водоемах. Это обуславливает необходимость постановки специальных исследований с целью изучения процессов формирования и динамики газового состава вод и донных отложений в разнотипных озерах Беларуси и определения эмиссии метана и диоксида углерода в атмосферу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бажин, Н. М. Метан в окружающей среде : аналит. обзор / М. Н. Бажин. – Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2010. – 56 с.
2. Beaulieu, J. J. Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century / J. J. Beaulieu, T. DelSontro, J. A. Downing // Nature Communications. – 2019. – Vol. 10. – Article number: 1375. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09100-5>.
3. Methane in Lakes: Variability in Stable Carbon Isotopic Composition and the Potential Importance of Groundwater Input / J. Schenk, H. O. Sawakuchi, A. K. Sieczko [et al.] // Frontiers in Earth Science. – 2021. – Vol. 9. – P. 1–15. – <https://doi.org/10.3389/feart.2021.722215>.
4. Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks / J. G. Canadell, P. M. S. Monteiro, M. H. Costa [et al.] // Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2021. – P. 673–816. – <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>.
5. Global Carbon Budget 2022 / P. Friedlingstein, M. O’Sullivan, M. W. Jones [et al.] // Earth System Science Data. – 2022. – Vol. 14 (11). – P. 4811–4900. – <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.
6. Взгляд на метан : отчет Международного наблюдательного центра за выбросами метана за 2021 год : Программа по окружающей среде ООН [сайт]. – URL: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/vzglyad-na-metan-otchet-mezhdunarodnogo-nablyudatel'nogo-centra-za-vybrosami-metana> (дата обращения: 07.07.2025).
7. Европейская комиссия принимает Стратегию ЕС по метану в рамках Европейского зеленого соглашения : Climate & Clear Air Coalition [сайт]. – URL: <https://www.ccacoalition.org/ru/news/european-commission-adopts-eu-methane-strategy-part-european-green-deal> (дата обращения: 07.07.2025).
8. Глобальная инициатива по метану (GMI) : Climate & Clear Air Coalition [сайт]. – URL: <https://www.ccacoalition.org/ru/partners/global-methane-initiative-gmi> (дата обращения: 07.07.2025).
9. Remote sensing methodology for the estimation of methane emissions from Chinese lakes / F. Breda, M. Cremonini, J. Gao [et al.] // 2008 International Workshop on Earth Observation and

- Remote Sensing Applications (EORSA 2008). – P. 1–6. – <https://doi.org/10.1109/EORSA.2008.4620289>.
10. Freshwater Methane Emissions Offset the Continental Carbon Sink / D. Bastviken, L. J. Tranvik, J. A. Downing [et al.] // *Science*. – 2011. – Vol. 331 (6013). – P. 1–50. – <https://doi.org/10.1126/science.1196808>.
11. Quantification of Diffusive Methane Emissions from a Large Eutrophic Lake with Satellite Imagery / H. Duan, Q. Xiao, T. Qi [et al.] // *Environmental Science & Technology*. – 2023. – Vol. 57 (36). – P. 13520–13529. – <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c05631>.
12. Synthetic aperture radar (SAR) backscatter response from methane ebullition bubbles trapped by thermokarst lake ice / M. Engram, K. Walter Anthony, F. J. Meyer, G. Grosse // *Canadian Journal of Remote Sensing*. – 2013. – Vol. 38 (6). – P. 667–682. – <https://doi.org/10.5589/m12-054>.
13. Jaywant, S. Remote Sensing Techniques for Water Quality Monitoring: A Review / S. A. Jaywant, K. M. Arif // *Sensors*. – 2024. – Vol. 24. – P. 1–31. – <https://doi.org/10.3390/s24248041>.
14. LAKE 2.0: a model for temperature, methane, carbon dioxide and oxygen dynamics in lakes / V. Stepanenko, I. Mammarella, A. Ojala [et al.] // *Geoscientific Model Development*. – 2016. – Vol. 9 (5). – P. 1977–2006. – <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1977-2016>.
15. Tan, Z. Modeling methane emissions from arctic lakes: Model development and site-level study / Z. Tan, Q. Zhuang, K. Walter Anthony // *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. – 2015. – Vol. 7 (2). – P. 459–483. – <https://doi.org/10.1002/2014MS000344>.
16. Tropospheric methane from an Amazonian floodplain lake / P. M. Crill, K. B. Bartlett, J. O. Wilson [et al.] // *Journal of Geophysical Research*. – 1988. – Vol. 93 (D2). – P. 1564–1570. – <https://doi.org/10.1029/JD093iD02p01564>.
17. Methane flux from the central Amazonian floodplain / K. B. Bartlett, P. M. Crill, D. I. Sebacher [et al.] // *Journal of Geophysical Research*. – 1988. – Vol. 93 (D2). – P. 1571–1582. – <https://doi.org/10.1029/JD093iD02p01571>.
18. Zhang, Y. Transient projections of permafrost distribution in Canada during the 21st century under scenarios of climate change / Y. Zhang, W. Chen, D. W. Riseborough // *Global and Planetary Change*. – 2008. – Vol. 60 (3/4). – P. 443–456. – <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.05.003>.
19. Chanton, J. P. Gas transport from methane-saturated, tidal freshwater and wetland sediments / J. P. Chanton, C. S. Martens, C. A. Kelley // *Limnology and Oceanography*. – 1989. – Vol. 34 (5). – P. 807–819. – <https://doi.org/10.4319/lo.1989.34.5.0807>.
20. Remote sensing northern lake methane ebullition / M. Engram, K. M. Walter Anthony, T. Sachs [et al.] // *Nature Climate Change*. – 2020. – Vol. 10. – P. 511–517. – <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0762-8>.
21. Miller, L. G. Methane efflux from the pelagic regions of four lakes / L. G. Miller, R. S. Oremland // *Global Biogeochemical Cycles*. – 1988. – Vol. 2 (3). – P. 269–277. – <https://doi.org/10.1029/GB002i003p00269>.
22. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming / K. M. Walter, S. A. Zimov, J. P. Chanton [et al.] // *Nature*. – 2006. – Vol. 441. – P. 71–75. – <https://doi.org/10.1038/nature05040>.
23. Kim, J. A simple approach to quantifying whole-lake methane ebullition and sedimentary methane production, and its application to the Canadian Lake Pulse dataset / J. Kim, S. D. Thottathil, Y. T. Prairie // *Limnology and Oceanography*. – 2025. – Vol. 70 (2). – P. 393–410. – <https://doi.org/10.1002/lno.12767>.
24. Gruca-Rokosz, R. Quantitative Fluxes of the Greenhouse Gases CH₄ and CO₂ from the Surfaces of Selected Polish Reservoirs / R. Gruca-Rokosz // *Atmosphere*. – 2020. – Vol. 11 (3). – P. 1–15. – <https://doi.org/10.3390/atmos11030286>.
25. Limnological dynamics of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) emissions from a tropical hypertrophic reservoir lake / O. Gerardo-Nieto, M. Merino-Ibarra, S. Sánchez-Carrillo [et al.] // *Journal of Water and Climate Change*. – 2024. – Vol. 15 (5). – P. 2364–2378. – <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.723>.

26. Гарькуша, Д. Н. Метан в устьевой области реки Дон / Д. Н. Гарькуша, Ю. А. Федоров. – Ростов н/Д. : Ростиздат, 2010. – 181 с.
27. Гарькуша, Д. Н. Метан в воде и донных отложениях устьевой области Северной Двины (Белое море) / Д. Н. Гарькуша, Ю. А. Федоров, М. И. Хромов // Океанология. – 2010. – Т. 50, № 4. – С. 534–547.
28. Федоров, Ю. А. Первые данные о распределении содержания биогенного метана в воде и донных отложениях оз. Байкал / Ю. А. Федоров, А. М. Никаноров, Н. С. Тамбиева // Доклады Российской академии наук. – 1997. – Т. 353, № 3. – С. 394–397.
29. Федоров, Ю. А. Влияние природных и антропогенных факторов и процессов на распределение концентрации метана в воде и донных отложениях Ладожского озера / Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева, Д. Н. Гарькуша // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2006. – № 5. – С. 412–424.
30. Федоров, Ю. А. Метан как показатель экологического состояния пресноводных водоемов (на примере озер Валдай и Ужин) / Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева, Д. Н. Гарькуша // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 6. – С. 88–96.
31. Метан в водных экосистемах / Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева, Д. Н. Гарькуша, В. О. Хорошевская. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д. : Ростиздат, 2007. – 330 с.
32. Эмиссия метана из северных озер и водохранилищ по данным наблюдений / А. И. Репина, А. Ю. Артамонов, М. Г. Гречушников [и др.] // Тез. докл. Всерос. науч. конф. «Фундаментальные проблемы экологии России», Иркутск – пос. Листвянка (оз. Байкал), 25 июня – 1 июля 2017 г. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2017. – С. 157.
33. Распределение метана в водах озера Байкал / Д. Н. Гарькуша, Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева [и др.] // Водные ресурсы. – 2023. – Т. 50, № 3. – С. 308–323. – <https://doi.org/10.31857/S0321059623020098>.
34. Эмиссии метана на торфяном месторождении низинного типа «Выгонощанское» при различном уровне грунтовых вод / Т. Д. Ярмошук, В. А. Ракович, М. Минке, А. Тиле // Природопользование. – 2013. – Вып. 24. – С. 43–51.
35. Kenrick, F. B. Supersaturation of gases in liquids / F. B. Kenrick, K. L. Wismer, K. S. Wyatt // The Journal of Physical Chemistry. – 1924. – Vol. 28 (12). – P. 1308–1315. – <https://doi.org/10.1021/j150246a010>.
36. Качество поверхностных вод низовьев Амударьи в условиях антропогенного преобразования пресноводного стока / Ч. А. Абдиров, Л. Г. Константинова, Е. К. Курбанбаев, Г. Г. Константинова. – Ташкент : Фан, 1996. – 112 с.
37. Бахиева, Л. А. Газовый режим в озерах Южного Приаралья в новых условиях существования / А. Л. Бахиева // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). – 2016. – Nr 8 (5). – P. 10–11.
38. Гидрохимический режим кислототрофных озер Беларуси в условиях климатических изменений и антропогенной нагрузки / Н. Ю. Суховило, А. И. Мороз, А. А. Новик, Д. Б. Власова // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2023. – № 2. – С. 58–69.
39. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I–IV групп / А. Л. Бандман, Г. А. Гудзовский, Л. С. Дубейковская [и др.] ; под ред. В. А. Филова, Б. А. Ивина, В. А. Филова. – Л. : Химия, 1988. – 512 с.
40. Справочник по гидрохимии / А. М. Никаноров, М. Г. Тарасов, Ю. А. Федоров [и др.] ; под ред. А. М. Никанорова. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 390 с.
41. Evolution of natural and anthropogenic fluxes of atmospheric CO₂ from 1957 to 2003 / C. D. Keeling, S. C. Piper, T. P. Whorf, R. F. Keeling // Tellus B. – 2010. – Vol. 63 (1). – P. 1–22. – <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2010.00507.x>.
42. The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System / P. Falkowski, R. J. Scholes, E. Boyle [et al.] // Science. – 2000. – Vol. 290 (5490). – P. 291–296. – <https://doi.org/10.1126/science.290.5490.291>.
43. Watson, A. J. Carbon dioxide fluxes in the global ocean // A. J. Watson, J. C. Orr // Ocean biogeochemistry: the role of the ocean carbon cycle in global change. Global Change – The IGBP Series / M. J. R. Fasham (ed.) [et al.]. – Berlin : Springer-Verlag, 2003. – P. 123–143. – https://doi.org/10.1007/978-3-642-55844-3_6.

44. A Large Terrestrial Carbon Sink in North America Implied by Atmospheric and Oceanic Carbon Dioxide Data and Models / S. Fan, M. Gloor, J. Mahlman [et al.] // *Science*. – 1998. – Vol. 282 (5388). – P. 442–446. – <https://doi.org/10.1126/science.282.5388.442>.
45. Climate change and lakes: Estimating sensitivities of water and carbon budgets / J. A. Cardille, S. R. Carpenter, J. A. Foley [et al.] // *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences*. – 2009. – Vol. 114 (G3). – P. 1–11. – <https://doi.org/10.1029/2008JG000891>.
46. Carbon Dioxide Supersaturation in the Surface Waters of Lakes / J. J. Cole, N. F. Caraco, G. W. Kling, T. K. Kratz // *Science*. – 1994. – Vol. 265 (5178). – P. 1568–1570. – <https://doi.org/10.1126/science.265.5178.1568>.
47. Balmer, M. B. Carbon dioxide concentrations in eutrophic lakes: undersaturation implies atmospheric uptake / M. B. Balmer, J. A. Downing // *Inland Waters*. – 2011. – Vol. 1 (2). – P. 125–132. – <https://doi.org/10.5268/IW-1.2.366>.
48. Anas, M. U. M. Carbon budgets of boreal lakes: state of knowledge, challenges, and implications / M. U. M. Anas, K. A. Scott, B. Wissel // *Environmental Reviews*. – 2015. – Vol. 23 (3). – P. 275–287. – <https://doi.org/10.1139/er-2014-0074>.
49. Observed variability of Lake Superior pCO₂ / N. Atilla, G. A. McKinley, V. Bennington [et al.] // *Limnology and Oceanography*. – 2011. – Vol. 56 (3). – P. 775–786. – <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.3.0775>.
50. Мартынова, М. В. О газовом составе илов оз. Нарочь (в свете влияния на него зообентоса) / М. В. Мартынова, Т. В. Жукова, Э. П. Жуков // *Водные ресурсы*. – 1999. – Т. 26, № 4. – С. 478–483.
51. Предварительные результаты измерений содержания метана в донных отложениях озер Белорусского Поозерья / А. М. Павлюченко, С. И. Зуй, Б. П. Власов [и др.] // *Проблемы геологии Беларуси и смежных территорий : материалы междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. НАН Беларуси Александра Семеновича Махнач, Минск, 21–22 нояб. 2018 г. / Ин-т природопользования НАН Беларуси ; редкол.: А. А. Махнач [и др.]. – Мн. : СтройМедиаПроект, 2018. – С. 244–247.*
52. Сезонный баланс потоков CO₂ через поверхность озера Нарочь (Беларусь) на основе ИК спектроскопии с использованием закрытых камер / З. А. Ничипорович, Б. В. Адамович, А. М. Павлюченко [и др.] // *Журнал прикладной спектроскопии*. – 2020. – Т. 87, № 1. – С. 78–83.
53. Estimation of CO₂ fluxes in the «atmosphere–water» system in the south Lake Baikal littoral with the floating chamber method / V. M. Domysheva, D. A. Pestunov, M. V. Sakirko [et al.] // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2015. – Vol. 28. – P. 543–550. – <https://doi.org/10.1134/S1024856015060044>.

REFERENCES

1. Bazhin, N. M. Metan v okruzhayushchei srede : analit. obzor / M. N. Bazhin. – Novosibirsk : GPNTB SO RAN, 2010. – 56 s.
2. Beaulieu, J. J. Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century / J. J. Beaulieu, T. DelSontro, J. A. Downing // *Nature Communications*. – 2019. – Vol. 10. – Article number: 1375. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09100-5>.
3. Methane in Lakes: Variability in Stable Carbon Isotopic Composition and the Potential Importance of Groundwater Input / J. Schenk, H. O. Sawakuchi, A. K. Sieczko [et al.] // *Frontiers in Earth Science*. – 2021. – Vol. 9. – P. 1–15. – <https://doi.org/10.3389/feart.2021.722215>.
4. Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks / J. G. Canadell, P. M. S. Monteiro, M. H. Costa [et al.] // *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. – Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2021. – P. 673–816. – <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>.
5. Global Carbon Budget 2022 / P. Friedlingstein, M. O’Sullivan, M. W. Jones [et al.] // *Earth System Science Data*. – 2022. – Vol. 14 (11). – P. 4811–4900. – <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.
6. Vzgljad na metan : otchet Mezhdunarodnogo nablyudatel’nogo tsentra za vybrosami metana za 2021 god : Programma po okruzhayushchei srede OON [sait]. – URL:

<https://www.unep.org/ru/-resources/doklad/vzglyad-na-metan-otchet-mezhdunarodnogo-nablyudatel-nogo-centra-za-vybrosami-metana> (data obrashcheniya: 07.07.2025).

7. Evropeiskaya komissiya prinimaet Strategiyu ES po metanu v ramkakh Evropeiskogo zele-nogo soglasheniya : Climate & Clear Air Coalition [sait]. – URL: <https://www.ccacoalition.org/ru/news/european-commission-adopts-eu-methane-strategy-part-european-green-deal> (data obrashche-niya: 07.07.2025).

8. Global'naya initsiativa po metanu (GMI) : Climate & Clear Air Coalition [sait]. – URL: <https://www.ccacoalition.org/ru/partners/global-methane-initiative-gmi> (data obrashcheniya: 07.07.2025).

9. Remote sensing methodology for the estimation of methane emissions from Chinese lakes / F. Breda, M. Cremonini, J. Gao [et al.] // 2008 International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA 2008). – P. 1–6. – <https://doi.org/10.1109/EORSA.2008.4620289>.

10. Freshwater Methane Emissions Offset the Continental Carbon Sink / D. Bastviken, L. J. Tranvik, J. A. Downing [et al.] // Science. – 2011. – Vol. 331 (6013). – P. 1–50. – <https://doi.org/10.1126/science.1196808>.

11. Quantification of Diffusive Methane Emissions from a Large Eutrophic Lake with Satel-lite Imagery / H. Duan, Q. Xiao, T. Qi [et al.] // Environmental Science & Technology. – 2023. – Vol. 57 (36). – P. 13520–13529. – <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c05631>.

12. Synthetic aperture radar (SAR) backscatter response from methane ebullition bubbles trapped by thermokarst lake ice / M. Engram, K. Walter Anthony, F. J. Meyer, G. Grosse // Canadian Journal of Remote Sensing. – 2013. – Vol. 38 (6). – P. 667–682. – <https://doi.org/10.5589/m12-054>.

13. Jaywant, S. Remote Sensing Techniques for Water Quality Monitoring: A Review / S. A. Jaywant, K. M. Arif // Sensors. – 2024. – Vol. 24. – P. 1–31. – <https://doi.org/10.3390/s24248041>.

14. LAKE 2.0: a model for temperature, methane, carbon dioxide and oxygen dynamics in lakes / V. Stepanenko, I. Mammarella, A. Ojala [et al.] // Geoscientific Model Development. – 2016. – Vol. 9 (5). – P. 1977–2006. – <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1977-2016>.

15. Tan, Z. Modeling methane emissions from arctic lakes: Model development and site-level study / Z. Tan, Q. Zhuang, K. Walter Anthony // Journal of Advances in Modeling Earth Systems. – 2015. – Vol. 7 (2). – P. 459–483. – <https://doi.org/10.1002/2014MS000344>.

16. Tropospheric methane from an Amazonian floodplain lake / P. M. Crill, K. B. Bartlett, J. O. Wilson [et al.] // Journal of Geophysical Research. – 1988. – Vol. 93 (D2). – P. 1564–1570. – <https://doi.org/10.1029/JD093iD02p01564>.

17. Methane flux from the central Amazonian floodplain / K. B. Bartlett, P. M. Crill, D. I. Sebacher [et al.] // Journal of Geophysical Research. – 1988. – Vol. 93 (D2). – P. 1571–1582. – <https://doi.org/10.1029/JD093iD02p01571>.

18. Zhang, Y. Transient projections of permafrost distribution in Canada during the 21st cen-tury under scenarios of climate change / Y. Zhang, W. Chen, D. W. Riseborough // Global and Plan-etary Change. – 2008. – Vol. 60 (3/4). – P. 443–456. – <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.05.003>.

19. Chanton, J. P. Gas transport from methane-saturated, tidal freshwater and wetland sedi-ments / J. P. Chanton, C. S. Martens, C. A. Kelley // Limnology and Oceanography. – 1989. – Vol. 34 (5). – P. 807–819. – <https://doi.org/10.4319/lo.1989.34.5.0807>.

20. Remote sensing northern lake methane ebullition / M. Engram, K. M. Walter Anthony, T. Sachs [et al.] // Nature Climate Change. – 2020. – Vol. 10. – P. 511–517. – <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0762-8>.

21. Miller, L. G. Methane efflux from the pelagic regions of four lakes / L. G. Miller, R. S. Oremland // Global Biogeochemical Cycles. – 1988. – Vol. 2 (3). – P. 269–277. – <https://doi.org/10.1029/GB002i003p00269>.

22. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming / K. M. Walter, S. A. Zimov, J. P. Chanton [et al.] // Nature. – 2006. – Vol. 441. – P. 71–75. – <https://doi.org/10.1038/nature05040>.

23. Kim, J. A simple approach to quantifying whole-lake methane ebullition and sedimentary methane production, and its application to the Canadian Lake Pulse dataset / J. Kim, S. D. Thottathil, Y. T. Prairie // *Limnology and Oceanography*. – 2025. – Vol. 70 (2). – P. 393–410. – <https://doi.org/10.1002/lno.12767>.
24. Gruca-Rokosz, R. Quantitative Fluxes of the Greenhouse Gases CH₄ and CO₂ from the Surfaces of Selected Polish Reservoirs / R. Gruca-Rokosz // *Atmosphere*. – 2020. – Vol. 11 (3). – P. 1–15. – <https://doi.org/10.3390/atmos11030286>.
25. Limnological dynamics of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) emissions from a tropical hypertrophic reservoir lake / O. Gerardo-Nieto, M. Merino-Ibarra, S. Sánchez-Carrillo [et al.] // *Journal of Water and Climate Change*. – 2024. – Vol. 15 (5). – P. 2364–2378. – <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.723>.
26. Gar’kusha, D. N. Metan v ust’evoi oblasti reki Don / D. N. Gar’kusha, Yu. A. Fedorov. – Rostov n/D. : Rostizdat, 2010. – 181 s.
27. Gar’kusha, D. N. Metan v vode i donnykh otlozheniyakh ust’evoi oblasti Severnoi Dviny (Beloe more) / D. N. Gar’kusha, Yu. A. Fedorov, M. I. Khromov // *Okeanologiya*. – 2010. – T. 50, № 4. – S. 534–547.
28. Fedorov, Yu. A. Pervye dannye o raspredelenii sodержaniya biogennogo metana v vode i donnykh otlozheniyakh oz. Baikal / Yu. A. Fedorov, A. M. Nikanorov, N. S. Tambieva // *Doklady Rossiiskoi akademii nauk*. – 1997. – T. 353, № 3. – S. 394–397.
29. Fedorov, Yu. A. Vliyanie prirodnnykh i antropogennykh faktorov i protsessov na raspredelenie kontsentratsii metana v vode i donnykh otlozheniyakh Ladozhskogo ozera / Yu. A. Fedorov, N. S. Tambieva, D. N. Gar’kusha // *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. – 2006. – № 5. – S. 412–424.
30. Fedorov, Yu. A. Metan kak pokazatel’ ekologicheskogo sostoyaniya presnovodnykh vodoemov (na primere ozer Valdai i Uzhin) / Yu. A. Fedorov, N. S. Tambieva, D. N. Gar’kusha // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2004. – № 6. – S. 88–96.
31. Metan v vodnykh ekosistemakh / Yu. A. Fedorov, N. S. Tambieva, D. N. Gar’kusha, V. O. Khoroshevskaya. – 2-e izd., pererab. i dop. – Rostov n/D. : Rostizdat, 2007. – 330 s.
32. Emissiya metana iz severnykh ozer i vodokhranilishch po dannym nablyudenii / A. I. Repina, A. Yu. Artamonov, M. G. Grechushnikova [i dr.] // *Tez. dokl. Vseros. nauch. konf. «Fundamental’nye problemy ekologii Rossii»*, Irkutsk – pos. Listvyanka (oz. Baikal), 25 iyunya – 1 iyulya 2017 g. – Irkutsk : Izd-vo In-ta geografii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2017. – S. 157.
33. Raspredelenie metana v vodakh ozera Baikal / D. N. Gar’kusha, Yu. A. Fedorov, N. S. Tambieva [i dr.] // *Vodnye resursy*. – 2023. – T. 50, № 3. – S. 308–323. – <https://doi.org/10.31857/S0321059623020098>.
34. Emissii metana na torfyanom mestorozhdenii nizinnogo tipa «Vygonoshchanskoe» pri razlichnom urovne gruntovykh vod / T. D. Yarmoshuk, V. A. Rakovich, M. Minke, A. Tile // *Prirodopol’zovanie*. – 2013. – Vyp. 24. – S. 43–51.
35. Kenrick, F. B. Supersaturation of gases in liquids / F. B. Kenrick, K. L. Wismer, K. S. Wyatt // *The Journal of Physical Chemistry*. – 1924. – Vol. 28 (12). – P. 1308–1315. – <https://doi.org/10.1021/j150246a010>.
36. Kachestvo poverkhnostnykh vod nizov’ev Amudar’i v usloviyakh antropogennogo preobrazovaniya presnovodnogo stoka / Ch. A. Abdirorov, L. G. Konstantinova, E. K. Kurbanbaev, G. G. Konstantinova. – Tashkent : Fan, 1996. – 112 s.
37. Bakhieva, L. A. Gazovyi rezhim v ozerakh Yuzhnogo Priaral’ya v novykh usloviyakh sushchestvovaniya / A. L. Bakhieva // *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. – 2016. – Nr 8 (5). – P. 10–11.
38. Gidrokhimicheskii rezhim atsidotrofnnykh ozer Belarusi v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii i antropogennoi nagruzki / N. Yu. Sukhovilo, A. I. Moroz, A. A. Novik, D. B. Vlasova // *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya*. – 2023. – № 2. – S. 58–69.
39. Vrednye khimicheskie veshchestva. Neorganicheskie soedineniya elementov I–IV grupp / A. L. Bandman, G. A. Gudzovskii, L. S. Dubeikovskaya [i dr.] ; pod red. V. A. Filova, B. A. Ivina, V. A. Filova. – L. : Khimiya, 1988. – 512 s.

40. Spravochnik po gidrokhimii / A. M. Nikanorov, M. G. Tarasov, Yu. A. Fedorov [i dr.] ; pod red. A. M. Nikanorova. – L. : Gidrometeoizdat, 1989. – 390 s.
41. Evolution of natural and anthropogenic fluxes of atmospheric CO₂ from 1957 to 2003 / C. D. Keeling, S. C. Piper, T. P. Whorf, R. F. Keeling // *Tellus B.* – 2010. – Vol. 63 (1). – P. 1–22. – <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2010.00507.x>.
42. The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System / P. Falkowski, R. J. Scholes, E. Boyle [et al.] // *Science.* – 2000. – Vol. 290 (5490). – P. 291–296. – <https://doi.org/10.1126/science.290.5490.291>.
43. Watson, A. J. Carbon dioxide fluxes in the global ocean // A. J. Watson, J. C. Orr // *Ocean biogeochemistry: the role of the ocean carbon cycle in global change. Global Change – The IGBP Series / M. J. R. Fasham (ed.) [et al.]*. – Berlin : Springer-Verlag, 2003. – P. 123–143. – https://doi.org/10.1007/978-3-642-55844-3_6.
44. A Large Terrestrial Carbon Sink in North America Implied by Atmospheric and Oceanic Carbon Dioxide Data and Models / S. Fan, M. Gloor, J. Mahlman [et al.] // *Science.* – 1998. – Vol. 282 (5388). – P. 442–446. – <https://doi.org/10.1126/science.282.5388.442>.
45. Climate change and lakes: Estimating sensitivities of water and carbon budgets / J. A. Cardille, S. R. Carpenter, J. A. Foley [et al.] // *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences.* – 2009. – Vol. 114 (G3). – P. 1–11. – <https://doi.org/10.1029/2008JG000891>.
46. Carbon Dioxide Supersaturation in the Surface Waters of Lakes / J. J. Cole, N. F. Caraco, G. W. Kling, T. K. Kratz // *Science.* – 1994. – Vol. 265 (5178). – P. 1568–1570. – <https://doi.org/10.1126/science.265.5178.1568>.
47. Balmer, M. B. Carbon dioxide concentrations in eutrophic lakes: undersaturation implies atmospheric uptake / M. B. Balmer, J. A. Downing // *Inland Waters.* – 2011. – Vol. 1 (2). – P. 125–132. – <https://doi.org/10.5268/IW-1.2.366>.
48. Anas, M. U. M. Carbon budgets of boreal lakes: state of knowledge, challenges, and implications / M. U. M. Anas, K. A. Scott, B. Wissel // *Environmental Reviews.* – 2015. – Vol. 23 (3). – P. 275–287. – <https://doi.org/10.1139/er-2014-0074>.
49. Observed variability of Lake Superior pCO₂ / N. Atilla, G. A. McKinley, V. Bennington [et al.] // *Limnology and Oceanography.* – 2011. – Vol. 56 (3). – P. 775–786. – <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.3.0775>.
50. Martynova, M. V. O gazovom sostave ilov oz. Naroch' (v svete vliyaniya na nego zoo-bentosa) / M. V. Martynova, T. V. Zhukova, E. P. Zhukov // *Vodnye resursy.* – 1999. – T. 26, № 4. – S. 478–483.
51. Predvaritel'nye rezul'taty izmerenii sodержaniya metana v donnykh otlozheniyakh ozer Belorusskogo Poozer'ya / A. M. Pavlyuchenko, S. I. Zui, B. P. Vlasov [i dr.] // *Problemy geologii Belarusi i smezhnykh territorii : materialy mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. 100-letiyu so dnya rozhdeniya akad. NAN Belarusi Aleksandra Semenovicha Makhnacha, Minsk, 21–22 noyab. 2018 g. / In-t prirodopol'zovaniya NAN Belarusi ; redkol.: A. A. Makhnach [i dr.]*. – Mn. : StroiMediaProekt, 2018. – S. 244–247.
52. Sezonnyi balans potokov SO₂ cherez poverkhnost' ozera Naroch' (Belarus') na osnove IK spektroskopii s ispol'zovaniem zakrytykh kamer / Z. A. Nichiporovich, B. V. Adamovich, A. M. Pavlyuchenko [i dr.] // *Zhurnal prikladnoi spektroskopii.* – 2020. – T. 87, № 1. – S. 78–83.
53. Estimation of CO₂ fluxes in the «atmosphere–water» system in the south Lake Baikal littoral with the floating chamber method / V. M. Domysheva, D. A. Pestunov, M. V. Sakirko [et al.] // *Atmospheric and Oceanic Optics.* – 2015. – Vol. 28. – P. 543–550. – <https://doi.org/10.1134/S1024856015060044>.

**Александр Петрович Колбас¹, Наталья Юрьевна Колбас²,
Николай Васильевич Михальчук³, Валентин Сергеевич Нестерук⁴**

¹канд. биол. наук, доц., ст. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института
Национальной академии наук Беларуси,

докторант Института природопользования Национальной академии наук Беларуси

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

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина,

ст. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

³канд. биол. наук, доц., директор Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

⁴мл. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси,

магистрант Университета Национальной академии наук Беларуси

Aliaksandr Kolbas¹, Natallia Kolbas², Mikalai Mikhalchuk³, Valentin Nesteruk⁴

¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher
of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus,
Doctoral Student of the Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus

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

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

³Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Director of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus

⁴Junior Researcher of the Polesie Agrarian Ecological Institute
of National Academy of Sciences of Belarus, Master's Student
of the University of the National Academy of Sciences of Belarus

e-mail: ¹kolbas77@mail.ru; ²natachulka_@mail.ru; ³info@paei.by; ⁴valik.nesteruk@gmail.com

ОЦЕНКА АЭРАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИМПАКТНЫХ ЗОН МЕТОДОМ МОХОВЫХ ЛОВУШЕК*

Представлены результаты исследования аэрального загрязнения потенциально токсичными элементами в импактных зонах промышленных предприятий и урбоэкосистем Брестского региона с использованием метода моховых ловушек. Методика включала подготовку моховых ловушек из *Sphagnum*, их экспозицию в течение трех месяцев на различных расстояниях от источников эмиссии, последующий химический анализ методом ICP-AES. Результаты показали значительное превышение фоновых концентраций для Pb, Cd, Sb, Sn, V, Ni и Mo вблизи промышленного предприятия, с экспоненциальным снижением загрязнения по мере удаления от источника. Анализ главных компонент (PCA) позволил выявить три ассоциации элементов, отражающие их происхождение: промышленные выбросы (Pb, Cd, Sb, Sn), региональный и трансграничный перенос (Fe, Cu, Cr, Co, Zn) и смешанные источники (Mo, Ni, V). Отмечена роль лесополос в снижении уровня загрязнения. В центральной части города зафиксировано повышенное содержание Pb, Ni и Sn. Полученные результаты позволяют рекомендовать данный подход не только для локального мониторинга, но и для исследования временных и пространственных тенденций, включая трансграничный перенос поллютантов.

Ключевые слова: аэральное загрязнение, биомониторинг, промышленные эмиссии, моховые ловушки, фоновые территории, тяжелые металлы, урбоэкосистемы, *Sphagnum*.

*Работа выполнена в рамках ГПНИ Задание 1.02, НИР-2 «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» (10. «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.; подпрограмма 10.1 «Природные ресурсы и их рациональное использование»).

Assessment of Aerial Pollution in Impact Zones by Potentially Toxic Elements Using the Moss Bags Method

The article presents the results of a study of aerial pollution with potentially toxic elements in the impact zones of industrial enterprises and urban ecosystems of the Brest region using the moss trap method. The technique included the preparation of moss traps from *Sphagnum* sp. material, their exposure for three months at different distances from the emission sources, and subsequent chemical analysis using the ICP-AES method. The results showed a significant excess of background concentrations for Pb, Cd, Sb, Sn, V, Ni and Mo near the industrial enterprise, with an exponential decrease in pollution with distance from the source. Principal component analysis (PCA) revealed three associations of elements reflecting their origin: industrial emissions (Pb, Cd, Sb, Sn), regional and transboundary transport (Fe, Cu, Cr, Co, Zn) and mixed sources (Mo, Ni, V). The role of forest belts in reducing the pollution level is noted. Increased content of Pb, Ni and Sn was recorded in the central part of the city. The obtained results allow us to recommend this approach not only for local monitoring, but also for studying temporal and spatial trends, including transboundary transport of pollutants.

Key words: aerial pollution, Brest region, industrial emissions, sphagnum bags, background areas, heavy metals, urban ecosystems.

Введение

Для отдельного учета аэриального загрязнения в последнее десятилетие в мире применяются методы бриоиндикации с использованием моховых ловушек [1]. Благодаря широкому распространению, низкой стоимости и высокой адсорбционной способности загрязняющих веществ наземные мхи используются чаще других сорбентов в мониторинговых исследованиях загрязнения атмосферы тяжелыми металлами (ТМ) в странах ЕС [2; 3], России [4], Казахстане [5], Беларуси [6], а также для оценки временных и пространственных тенденций.

Одной из особенностей мхов является способность поглощать вещества всей поверхностью непосредственно из атмосферы, отражая тем самым химический состав окружающей среды. Накопление ТМ мхами зависит от степени и состава загрязнения, продолжительности воздействия загрязнителя, сорбционной емкости мхов, особенностей клеточной мембраны. В отличие от широко применяемой в экомониторинге лишеноиндикации бриоиндикация с использованием моховых ловушек позволяет проводить исследования не только на постоянных площадках и модельных деревьях, но и на темпоральных экспериментальных площадках, сокращая время наблюдений. При этом аккумуляция ТМ у мхов менее зависит от климатических условий, чем у лишайников [5]. Перспективным тест-объектом изучения аэриального загрязнения является листостебельный мох рода сфагнум (*Sphagnum* L.) [7].

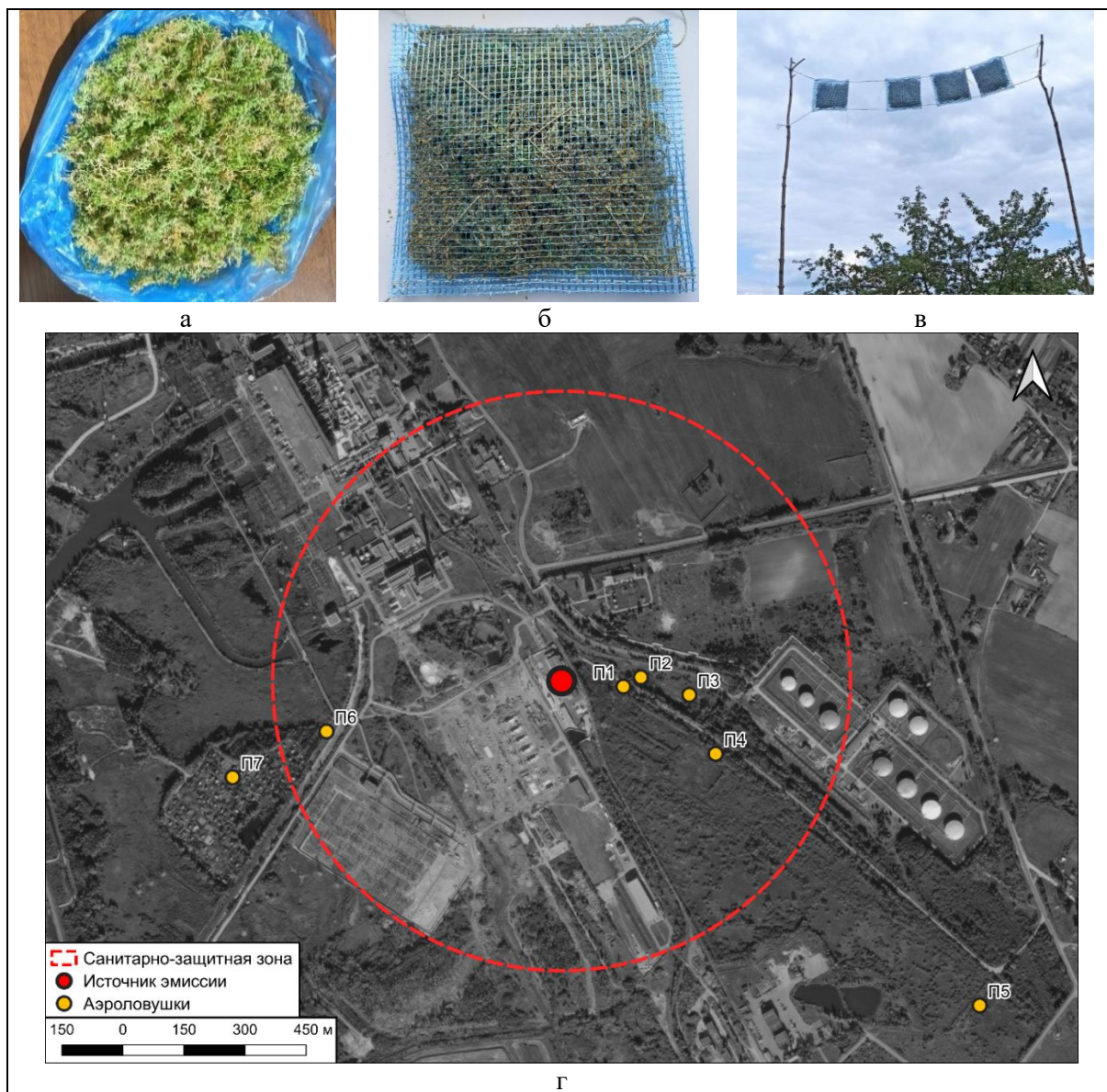
Целью данного исследования было апробирование методики оценки аэриального загрязнения ТМ лесных экосистем и огородных участков в зонах влияния аккумуляторного производства в Брестском регионе, а также урбанизированных территорий г. Бреста с использованием метода сфагновых ловушек.

Материалы и методы исследования

Для изучения аэриального загрязнения ТМ различных импактных зон за основу брали методику, описанную в [7], и адаптировали ее под цели настоящего исследования. Методика включала следующие этапы: отбор и подготовка растительного материала, подготовка аэроловушек со сфагнумом, установка аэроловушек и их экспозиция, определение в сфагнуме содержания 15 элементов, статистический анализ и интерпретация полученных результатов.

Растения сфагнума (*Sphagnum* sp. L.) (рисунок 1а) заготавливали в естественных фитоценозах фоновой территории (Государственный биологический заказник «Бусловка», Березовский р-н Брестской обл.). Подготовка растительного материала включала сортировку, очистку, промывку (4 цикла по 20 мин. каждый при встряхи-

вании: 10 мМ ЭДТА и 3 промывки дистиллированной водой), сушку (3 цикла по 8 ч каждый при 50, 80 и 100 °С). Для изготовления аэроловушек использовали полимерную сетку. Перед использованием сетку промывали в 10 мМ ЭДТА и 3 раза в дистиллированной воде для удаления следов загрязнения. Прямоугольные плоские пакеты (20 × 20 см, размер ячеек – 5 мм) заполняли подготовленным сфагнумом из расчета 30 мг/см² и закрепляли нейлоновой нитью (рисунок 1б).



а) отсортированный растительный материал; б) аэроловушки со сфагнумом
в) экспозиция аэроловушек; г) расположение точек мониторинга в лесных экосистемах
и на приусадебных участках в зоне эмиссий промышленного предприятия

Рисунок 1 – Подготовка и установка аэроловушек со сфагнумом

Мох внутри пакета распределяли равномерно для сведения к минимуму перекрытия и сжатия во время экспозиции. Готовые аэроловушки со сфагнумом упаковывали под вакуумом и хранили до размещения в местах экспозиции; контрольные аэроловушки, для которых экспозиция не предусматривалась, хранили в защищенном от прямых солнечных лучей месте до окончания эксперимента.

Первая часть сфагновых ловушек была расположена в естественных (лесных) экосистемах в зоне влияния промышленного предприятия (П) – ОАО «Белинвест-порг-Сплав» (г. Белоозерск, Брестская обл.) на разном удалении от источника эмиссии по первой трансекте (направление – юго-восток): 150, 200, 320, 420 м и 1280 м (П1 б П5 соответственно) (таблица 1, рисунок 1г). По второй трансекте (направление – запад – юго-запад) в зоне влияния того же предприятия были заложены 2 площадки: на расстоянии 590 м (П6) от источника эмиссий до экранирующей лесополосы и 840 м (П7) – после лесополосы на территориях приусадебных участков.

Вторая группа ловушек размещалась в урбоэкосистеме г. Бреста как в центральной части города (У1), так и в частной застройке периферического микрорайона (У2). Кроме того, для изучения фоновой (Ф) атмосферного содержания ТМ сфагновые ловушки были установлены в условиях с минимальным техногенным воздействием (д. Луково, Малоритский р-н Брестской обл.).

Аэроловушки со сфагнумом (по 4 шт. для каждой площадки) подвешивали горизонтально на деревянных шестах на высоте 4 м (рисунок 1в) и экспонировали в течение 3 месяцев. В извлеченном из аэроловушек сфагнуме, а также в сфагнуме контрольных аэроловушек проводили химический анализ содержания 15 элементов (Co, Cr, Cu, Cd, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn, As и Se) методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES). Пробоподготовку растительного материала для элементного анализа проводили согласно ГОСТ 26929-94. Для этого растительные пробы измельчали, высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 65 °С, затем размалывали на лабораторной мельнице и просеивали через сито с отверстиями диаметром 1 мм. На следующем этапе производили сухую минерализацию проб с последующей обработкой золы азотной кислотой.

Анализ производили в лаборатории биогеохимии Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси по ГОСТ 30538-97 с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой iCAP 7200 ICP-AES DUO (производства Thermo Scientific). Содержание химических элементов выражали в мг на кг воздушно-сухого растительного материала.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Excel и R версия 4.3.1 (Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Она включала в себя дисперсионный анализ и создание графиков анализа главных компонент (PCA – Principal Component Analysis), а также корреляционный анализ параметров и Tukey-тест. Значения p не превышали 0,05.

Таблица 1 – Расположение и кодировки пробных площадок

Код	Исследуемая территория	Расположение
П1	Лесная экосистема	ЮВ трансекта, удаление 150 м от предприятия
П2	Лесная экосистема	ЮВ трансекта, удаление 200 м от предприятия
П3	Лесная экосистема	ЮВ трансекта, удаление 320 м от предприятия
П4	Лесная экосистема	ЮВ трансекта, удаление 420 м, от предприятия
П5	Лесная экосистема	ЮВ трансекта, удаление 1280 м от предприятия
П6	Приусадебный участок (до лесополосы)	ЗЮЗ трансекта, удаление 590 м от предприятия
П7	Приусадебный участок (после лесополосы)	ЗЮЗ трансекта, удаление 840 м от предприятия
У1	Урбоэкосистема	центральная часть г. Бреста
У2	Урбоэкосистема	периферическая часть г. Бреста
Ф	Условно фоновая территория	д. Луково, Малоритский р-н

Результаты и их обсуждение

Поэлементный анализ для импактной зоны промышленного предприятия выявил, что содержание Pb в сфагновых ловушках варьировало от 0,187 до 64,05 мг/кг

(таблица 2), достоверно отличалось от фона (в 4–1372 раза) и снижалось в последовательности $P1 > P2 > P3 > P4 > P6 \geq P7 > P5$. Накопление Cd составляло от 0,007 до 1,37 мг/кг, снижалось в последовательности $P1 > P2 > P3 > P4 > \text{фон} > P5 > P6 \geq P7$. Превышение фоновых значений в 3–27 раз выявлено только для 4 площадок юго-восточной трансекты ($P1 - P4$).

Концентрация сурьмы находилась на уровне от 0,204 до 1,64 мг/кг (таблица 2), снижалась в последовательности $P1 > P2 > P3 \geq P4 > \text{фон} \geq P6 \geq P7 \geq P5$. Превышение фоновых значений в 1,8 – 4,6 раза выявлено также только для 4-х площадок юго-восточной трансекты ($P1 - P4$). Сходная тенденция выявлена для олова, содержание которого составило 0,025–1,58 мг/кг и снижалось в последовательности $P1 > P2 > P3 \geq P4 > P5 \geq \text{фон} \geq P7 \geq P6$. Зафиксировано превышение фоновых значений элемента на площадках $P1 - P4$ в 10–45 раз.

Таблица 2 – Накопление некоторых химических элементов в сфагнуме аэроловушек, мг/кг

Пробная площадка	Pb	Cd	Sb	Sn	V	Ni	Mo	Fe	As
P1	64,05 a	1,370 a	1,642 a	1,58 a	2,30 c	0,69 b	0,092 a	67,35 b	0,127 b
P2	40,31 b	0,716 b	1,090 b	0,907 b	1,78 d	0,410 c	0,080 a	39,23 c	0,147 a
P3	19,49 c	0,288 c	0,710 c	0,467 c	2,89 b	0,587 b	0,065 b	42,43 c	0,115 b
P4	14,79 d	0,156 d	0,645 c	0,353 c	2,24 c	0,410 c	0,050 c	13,53 e	0,101 b
P5	0,187 f	0,023 f	0,204 e	0,035 d	1,16 e	0,243 d	0,040 c	11,58 e	0,067 c
P6	0,963 e	0,007 g	0,297 d	0,025 d	3,80 a	1,03 a	0,075 a	12,40 e	0,090 b
P7	0,787 e	0,009 g	0,242 e	0,030 d	0,89 e	0,267 d	0,040 c	64,31 b	0,097 b
У1	0,287 f	0,024 f	0,391 d	0,053 d	0,19 f	0,367 c	0,041 c	108,37 a	0,103 b
У2	0,097 g	0,017 f	0,368 d	0,038 d	0,19 f	0,100 e	0,014 d	75,56 b	0,093 b
Ф	0,047 g	0,051 e	0,357 d	0,035 d	0,28 f	0,162 e	0,033 c	138,52 a	0,159 a

Примечание – a, b, c, d, e, f, g – статистические различия средних значений для конкретного химического элемента по пробным площадкам, Tukey-тест, при $p < 0,05$.

Содержание ванадия в сфагнуме импактной зоны варьировало от 0,893 до 3,8 мг/кг (таблица 2), достоверно отличалось от фона (в 3–13,5 раза) и снижалось в последовательности $P6 > P3 > P1 \geq P4 > P2 > P5 > P7$. Сходная последовательность распределения выявлена для никеля, уровни которого варьировали от 0,243 до 1,03 мг/кг и превышали контроль в 1,5–6 раз.

Накопление молибдена в сфагнуме варьировало от 0,04 до 0,092 мг/кг (таблица 2), снижалось в последовательности $P1 > P2 > P6 \geq P3 > P4 > P7 > P5$, и для площадок $P1 - P4$ и $P6$ значение параметра превышало фоновые в 1,5 – 2,8 раза.

В нашем исследовании максимальное содержание мышьяка выявлено в сфагнуме фоновой территории ($0,159 \pm 0,011$ мг/кг) (таблица 2), что может свидетельствовать об активном участии данного элемента в трансграничном переносе. Содержание As в условиях импактной зоны предприятия варьировало от 0,04 до 0,092 мг/кг и снижалось в последовательности $P2 > P1 > P3 \geq P4 \geq P7 \geq P6 > P5$.

Накопление Fe выявлено в сфагнуме фоновой территории ($138,52 \pm 4,46$ мг/кг, или +60 % к контролю), $P1$ ($67,37 \pm 7,74$ мг/кг, или +30 % к контролю) и $P7$ ($285,85 \pm 9,34$ мг/кг, или +25 % к контролю) (таблица 2).

Содержание Cr и Co в сфагнуме в условиях аэрального загрязнения статистически не различалось с контролем, накопления этих ТМ не выявлено. Накопление Cr и Co было установлено в сфагнуме фоновой площадки ($0,18 \pm 0,001$ мг/кг и $0,033 \pm 0,005$ мг/кг соответственно и в обоих случаях составило приблизительно +30 % к контролю).

Выявленные особенности в накоплении на фоновой территории Fe, As, Mo, Cd, Sb и др., вероятно, связаны с влиянием трансграничного переноса. Однако данный аспект требует дальнейшего более детального изучения.

Содержание селена в сфагнуме аэроловушек находилось за пределами чувствительности прибора (менее 0,001 мг/г). Определение накопления пяти элементов (Cu, Zn, Mn, Co, Cr) представляло некоторые сложности, которые были связаны с флуктуацией данных, что может быть объяснено их вымыванием из ловушек подкисленными осадками. Как известно, при низких значениях pH растворимость этих элементов может повышаться [8]. В этой связи в таблице 2 приводятся цифровые данные о накоплении относительно контроля 9 элементов, а на рисунке 2 – визуализация по содержанию 14 элементов.

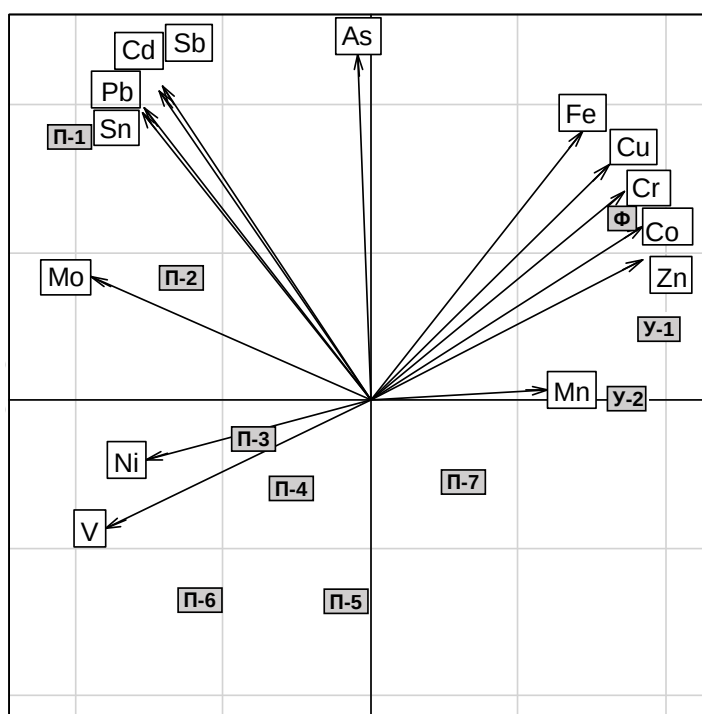


Рисунок 2 – Отображение концентраций ТМ в сфагновых ловушках в зависимости от стационара в пространстве двух факторов (РСА)
(кодировка согласно таблице 1)

Для сфагнума импактной промышленной зоны накопление изученных химических элементов снижается в ряду $Pb \geq Fe > V > Sb \geq Sn > Cd > Ni > As > Mo > Cr$; при этом Co, Cu, Mn и Zn не накапливаются. Для сфагнума фоновой территории установлена иная последовательность $Fe > Sb > V \geq Cu > Cr > Ni \geq As > Cd > Pb > Sn > Co \approx Mo$; при этом не накапливаются Mn и Zn. Согласно ранее полученным данным, *Sphagnum capillifolium* накапливает ТМ в следующем порядке: $As \approx Cu > Mo > Pb > V > Co > Cr > Zn$ [2], а мох *Pseudevernia furfuracea*, также используемый в биомониторинге, накапливает ТМ в следующем порядке: $Mo > Cu > As \approx Co \approx Ni > V > Pb$ [9].

Для центральной части урбоэкосистемы (У1) выявлены превышения фоновых значений в содержании свинца (6,1 раза), никеля (2,3 раза), олова (1,5 раза).

График двухфакторного анализа главных компонент для содержания элементов описывает 81,19 % общего варьирования (ось № 1 – 53,98 %, ось № 2 – 27,21 %) (рисунок 2). Можно выделить несколько ассоциаций, описываемых соответствующими

щими сценариями: первая ассоциация включает Pb, Cd, Sb, Sn и обусловлена главным образом близостью к промышленному источнику эмиссий (направление совпадает с вектором П1 – П5). Причем степень корреляции между содержанием ТМ пула очень высока и приближается к 1 (таблица 3), что может свидетельствовать об идентичности происхождения данного загрязнения.

При движении по трансекте П1 – П5 усиливается роль группы Mo, Ni, V, что может быть обусловлено эмиссиями из других источников, в т. ч. от промышленной площадки ДСУ. Для ТМ данной ассоциации по юго-восточной трансекте (П1 – П5) выявлен экспоненциальный характер распределения в зависимости от расстояния от источника эмиссии (рисунок 2), а для мышьяка и молибдена – линейный.

Таблица 3 – Корреляционная матрица концентраций ТМ в сфагновых ловушках

ТМ	Cd	Sb	Sn	V	Ni	Mo	Fe	Cr	As	Cu	Zn	Mn	Co
Pb	0,99	0,99	1,00	0,37	0,35	0,79	-0,13	-0,34	0,46	-0,24	-0,38	-0,41	-0,40
Cd		0,98	0,99	0,30	0,33	0,76	-0,04	-0,25	0,46	-0,17	-0,29	-0,44	-0,32
Sb			0,99	0,33	0,33	0,76	-0,05	-0,26	0,50	-0,13	-0,30	-0,31	-0,31
Sn				0,37	0,36	0,79	-0,12	-0,32	0,45	-0,22	-0,36	-0,41	-0,39
V					0,90	0,77	-0,70	-0,78	-0,09	-0,71	-0,89	-0,24	-0,80
Ni						0,80	-0,54	-0,50	-0,06	-0,44	-0,68	-0,17	-0,52
Mo							-0,46	-0,50	0,32	-0,45	-0,74	-0,41	-0,60
Fe								0,82	0,53	0,77	0,73	0,38	0,85
Cr									0,40	0,95	0,83	0,43	0,94
As										0,37	-0,01	0,07	0,24
Cu											0,85	0,56	0,92
Zn												0,43	0,90
Mn													0,58

Примечание – Серым цветом выделены статистически достоверные значения.

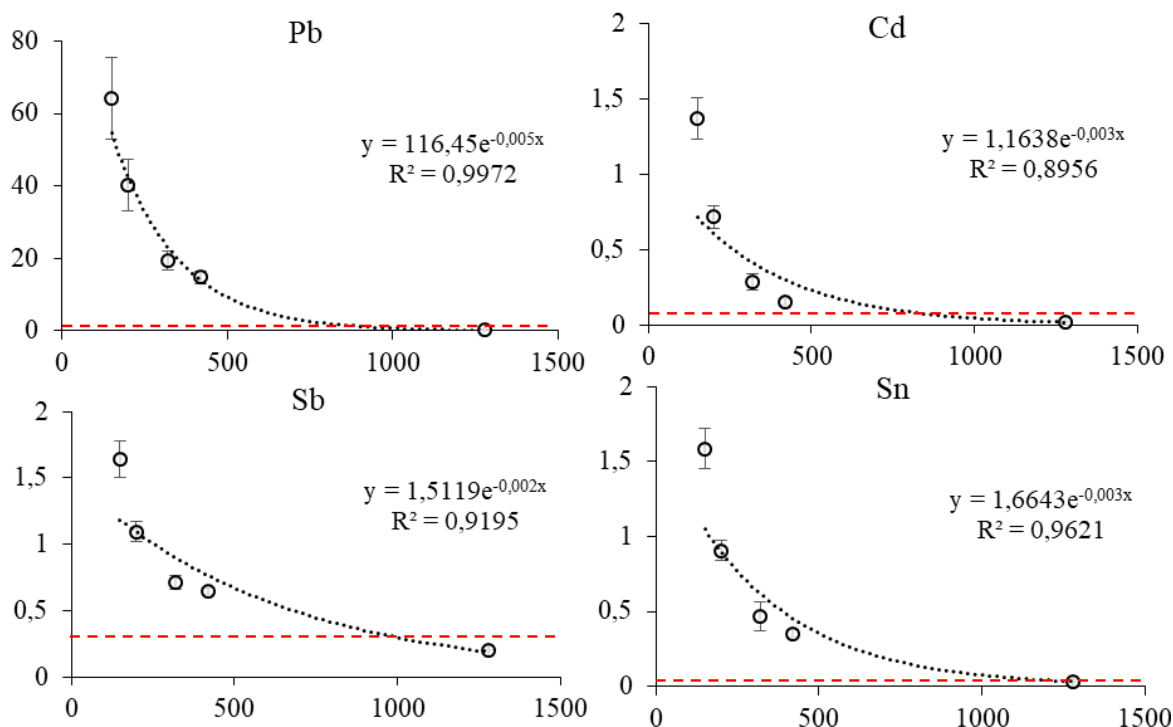
Третья ассоциация элементов (Fe, Cu, Cr, Co, Zn) расположена напротив второй и имеет с ней высокую обратную связь, причем связь между содержанием этих элементов внутри группы также довольно высока (таблица 3). Отмечается приуроченность их в первую очередь к фоновым площадкам. Повышенное содержание данных ТМ и мышьяка на территориях, удаленных от источников выбросов, объясняется влиянием как регионального, так и трансграничного переноса на данной территории. Ранее показано, что в западной части Республики Беларусь вклад внешних источников выбросов в выпадения некоторых ТМ варьирует от 90 до почти 100 % [6; 10]. В дальнейшем необходимо учитывать трансграничный перенос при выборе фоновых площадок.

Второй сценарий, который также тяготеет к группе Fe, Cu, Cr, Co, Zn, – это территории урбоэкосистем, особенно центральной части города. Повышенные содержания цинка в компонентах городских экосистем [11], в частности г. Бресте, отмечались и ранее в работах [12; 13], причем это загрязнение обусловлено в первую очередь передвижными источниками – автотранспортом.

Мышьяк, расположенный на графике между группами 1 и 3, не имеет достоверных связей ни с одним ТМ. Для марганца также не выявлено достоверных корреляций ни с одним из ТМ (таблица 3).

Согласно данным статистического анализа для юго-восточной трансекты П1 – П5 выявлена экспоненциальная зависимость между расстоянием от источника эмиссии поллютантов и содержанием Pb (коэффициент корреляции $R^2 = 0,997$, $p \leq 0,001$), Sn ($R^2 = 0,962$, $p \leq 0,001$), Sb ($R^2 = 0,919$, $p \leq 0,001$), Cd ($R^2 = 0,896$, $p \leq 0,01$) (рисунок 3), Ni ($R^2 = 0,750$, $p < 0,05$) и V ($R^2 = 0,649$, $p < 0,05$), а также линейная зависимость

для Cu ($R^2 = 0,703$, при $p < 0,05$; $y = 0,0135x + 31,095$), As ($R^2 = 0,817$, при $p < 0,05$) и Mo ($R^2 = 0,703$, $p < 0,05$).



Примечание – По оси абсцисс – расстояние (м), по оси ординат – содержание элемента в образцах сфагнума (мг/кг), горизонтальная штриховая линия обозначает содержание элемента в сфагнуме аэроловушек фоновой территории.

Рисунок 3 – Графики зависимостей между содержанием химических элементов в сфагнуме аэроловушек и расстоянием от источника техногенного загрязнения по юго-восточной трансекте (П1 – П5)

Также отмечается значительное ослабление аэральных эмиссий в точке П7 по сравнению с П6, что объясняется наличием между ними лесополосы, выполняющей роль «зеленого экрана». Известно, что крона растений может эффективно адсорбировать и уменьшать количество твердых частиц. Например, сосновый лес может поглотить около 36,4 т/га в год переносимой по воздуху пыли [14]. Поэтому применение лесозащитных полос и экранов является довольно эффективным методом, благодаря которому может улавливаться до половины выбрасываемых пылевых частиц [15].

Геохимический смысл выделения ассоциаций и обоснованность выводов подтверждают выбросы ТМ, приведенные на основании химического анализа золы свинцовой – основного продукта эмиссий аккумуляторного производства. Пыль, образующаяся в ходе технологических процессов, содержит очень высокие концентрации Sb, Ag, Bi, Pb, Cd, Sn, Ni, As и других элементов. Например, по данным [16], в технологической пыли одного из аккумуляторных заводов фиксировалась следующая ассоциация элементов (в скобках указаны средние значения коэффициента концентрации (Кс) относительно фоновых содержаний в почвах): Sb (5000), Ag (1000), Bi (670), Pb (380), Cd (330), Sn (190), Ni (75), As (46), Co (42), Cu (26), Zn (20), W (20), In (20), Tl (20).

Анализ распространения ТМ по двум направлениям выявил, что по юго-восточной трансекте в радиусе до 420 м от источника техногенных поллютантов при-

существует аэральное загрязнение Pb (коэффициент аномальности 317–1372), Sn (10–45), Cd (3–27), V (8–10), Ni (2,5 – 4), Sb (1,8 – 4,6), Mo (1,5 – 2,8).

За пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия на расстоянии 1280 м (П5) по юго-восточной трансекте выявлено превышение фоновых значений только для трех ТМ: Ni – в 1,5 раза, Pb и V – примерно в 4 раза. По запад – юго-западному направлению в 590 м от источника техногенных поллютантов (П6) выявлено превышение фона для 4 ТМ: Pb (в 20 раз), V (в 13 раз), Ni (в 6 раз) и Mo (в 2 раза). В этом же направлении за пределами СЗЗ (П7, 840 м от источника) превышение фоновых значений сохраняется для Pb (в 17 раз), V (в 3 раза) и Ni (в 1,6 раза).

Таким образом, согласно полученным данным, обоснованность выделения СЗЗ по данным направлениям, совпадающим с преобладающими ветрами, требует уточнения. В целом в окружающую среду с атмосферными выбросами попадает 28–35 % от общего загрязнения Pb, 20–21 % Zn, 16–26 % Cd [17]. Основными источниками поступления ТМ в атмосферу являются промышленность (в первую очередь металлургия, нефтепереработка, электротехническое производство, производство и переработка аккумуляторных батарей), а также автотранспорт, котельные, мусоросжигающие установки и сельскохозяйственное производство [7]. Отмечено, что в процессе переработки (регенерации) аккумуляторов выделяется значительное количество пыли, которая содержит Pb, Sb, Sn, Cu, Fe, Cd, Zn, As и другие поллютанты, при этом некоторая часть пылевых частиц не улавливается промышленными фильтрами и попадает в атмосферу. Часть ТМ (в первую очередь Pb) подвергается восстановлению на предприятии с последующим включением в производственный цикл. Степень повторного использования во многом зависит от способа регенерации и технологического процесса [16].

Применение современных методов биоиндикации и физико-химического анализа позволяет выявить несоответствие действующих нормативов (ПДК и ОДК) реальному набору элементов, загрязняющих почву вокруг конкретных источников. Так, в исследованиях Д. В. Ладонина отмечается, что почвы в импактных зонах, вследствие аэральное поступления загрязнены значительно бóльшим набором химических элементов, чем это считалось ранее [18].

В выбросах и отходах белорусских предприятий по переработке свинецсодержащего сырья также содержатся значительные концентрации элементов Fe, Cu, Sn, Sb [16; 19], учет которых практически не ведется.

Заключение

Таким образом, усовершенствованная и апробированная нами методика анализа аэротехногенного загрязнения различного происхождения была эффективна для мониторинга атмосферного воздуха в импактных зонах промышленного предприятия и урбозкосистеме на содержание Pb, Cd, Sn, Sb, V, Ni, Mo и As. Преимуществами данного метода является накопительный характер биоиндикации, что позволяет выявить суммарные концентрации элементов, а не только их точечные или пиковые значения. Были выявлены значительные превышения фоновых значений в содержании Pb, Cd, Sb, Sn, Ni, Mo на территориях, прилегающих к промышленному предприятию по переработке аккумуляторных батарей, а также Pb, Ni, Sn – для центральной части урбозкосистемы.

Выявлены тенденции к накоплению мышьяка, кадмия, железа и некоторых других элементов на фоновых территориях. Были выделены 3 ассоциации элементов и определен их геохимический смысл. Предлагаемый нами подход может быть рекомендован как для рутинного локального экомониторинга различных источников аэро-

техногенных выбросов промышленно-энергетических узлов, в т. ч. в урбоэкосистемах, так и для отслеживания глобальных процессов, включая трансграничный перенос.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Air pollution monitoring using emission inventories combined with the moss bag approach / P. Iodice [et al.] // *The Science of the total environment*. – 2015. – Nr 541. – P. 1410–1419.
2. Atmospheric trace metal pollution in the Naples urban area based on results from moss and lichen bags / S. Giordano [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2005. – Vol. 136, iss 3. – P. 431–442.
3. Moss bag biomonitoring: A methodological review / A. Ares [et al.] // *The Science of the total environment*. – 2012. – Nr 432. – P. 143–158.
4. Анищенко, Л. Н. Опыт химической брיוиндикации состояния воздуха крупной урбо-экосистемы (на примере города Брянска) / Л. Н. Анищенко // *Бюллетень Брянского отделения РБО*. – 2015. – № 1 (5). – С. 64–70.
5. Инелова, З. А. Использование и особенности культивирования мха сфагнума в биотехнологической системе для естественной фильтрации, очистки воздуха в городских условиях / З. А. Инелова, А. Е. Ермаков, Д. Едилхан // *Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География*. – 2022. – № 3 (107). – С. 67–77.
6. Алексеенок, Ю. В. Брיוиндикация атмосферных выпадений металлов и металлоидов в Республике Беларусь : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 1.6.21 / Алексеенок Юлия Владимировна ; Калинингр. гос. ун-т. – Калининград, 2021. – 22 с.
7. Best options for the exposure of traditional and innovative moss bags: A systematic evaluation in three European countries / F. Capozzi [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2016. – Vol. 214. – P. 362–373.
8. Медведев, И. Ф. Тяжелые металлы в экосистемах / И. Ф. Медведев, С. С. Деревягин. – Саратов : Ракурс, 2017. – 178 с.
9. Williams, R. J. P. Evolution was chemically constrained / R. J. P. Williams, J. Da Silva // *Journal of Theoretical Biology*. – 2003. – Nr 220. – P. 323–343.
10. Оценки уровней загрязнения свинцом территории Беларуси с высоким пространственным разрешением ЕМЕП, 2016. – URL: https://www.msceast.org/reports/4_2016_russ.pdf (дата обращения: 12.05.2025).
11. Городская среда: геоэкологические аспекты : моногр. / В. С. Хомич [и др.]. – Мн. : Бел. навука, 2013. – 301 с.
12. Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и огородных культур в урболандшафтах г. Бреста и разработка рекомендаций по снижению соответствующих рисков / ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси» ; рук. Михальчук Н. В. – Брест, 2017. – отчет ГРНТИ: 87.15.09 (№ ГР 20180040).
13. Содержание микроэлементов и структурные изменения хвои *Picea abies* (L.) Karst. в условиях городской среды / А. П. Колбас [и др.] // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі*. – 2010. – № 2. – С. 33–42.
14. Ecological compensation mechanism for urban green land and its application in Shanghai, China / Y. Wang [et al.] // *Front. Environ. Sci. Eng. China*. – 2007. – Vol. 1. – P. 320–324.
15. The spatial structures and the dust retention effects of green-land types in the workshop district of Wuhan Iron and Steel Company / Z. Zhou [et al.] // *Acta Ecol. Sin.* – 2001. – Vol. 22. – P. 2036–2040.
16. Ровин, С. Л. Исследование отходов, образующихся при производстве свинца / С. Л. Ровин, С. В. Григорьев // *Литье и металлургия*. – 2018. – № 2 (91). – С. 43–49.
17. Изменение подвижности тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зависимости от степени их гумусированности и применения высоких доз органических удобрений / В. А. Седых [и др.] // *Известия ТСХА*. – 2011. – Вып. 3. – С. 17–24.
18. Ладонин, Д. В. Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах / Д. В. Ладонин. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2019. – 312 с.
19. Оценка полиэлементного загрязнения некоторых субстратов и территорий в Брестском регионе / А. П. Колбас [и др.] // *Веснік Мозырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя І. П. Шамякіна*. – 2021. – № 2 (58). – С. 21–31.

1. Air pollution monitoring using emission inventories combined with the moss bag approach / P. Iodice [et al.] // *The Science of the total environment*. – 2015. – Nr 541. – P. 1410–1419.
2. Atmospheric trace metal pollution in the Naples urban area based on results from moss and lichen bags / S. Giordano [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2005. – Vol. 136, iss. 3. – P. 431–442.
3. Moss bag biomonitoring: A methodological review / A. Ares [et al.] // *The Science of the total environment*. – 2012. – Nr 432. – P. 143–158.
4. Anishchenko, L. N. Opyt khimicheskoi brioidikatsii sostoyaniya vozdukha krupnoi urbo-ekosistemy (na primere goroda Bryanska) / L. N. Anishchenko // *Byulleten' Bryanskogo otdeleniya RBO*. – 2015. – № 1 (5). – S. 64–70.
5. Inelova, Z. A. Ispol'zovanie i osobennosti kul'tivirovaniya mkha sfagnuma v biotekhnologicheskoi sisteme dlya estestvennoi fil'tratsii, ochistki vozdukha v gorodskikh usloviyakh / Z. A. Inelova, A. Ye. Yermekov, D. Edilkhan // *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Meditsina. Geografiya*. – 2022. – № 3 (107). – S. 67–77.
6. Alekseenok, Yu. V. Brioidikatsiya atmosferykh vypadenii metallov i metalloidov v Respublike Belarus' : avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk : 1.6.21 / Alekseenok Yuliya Vladimirovna ; Kaliningr. gos. un-t. – Kaliningrad, 2021. – 22 s.
7. Best options for the exposure of traditional and innovative moss bags: A systematic evaluation in three European countries / F. Capozzi [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2016. – Vol. 214. – P. 362–373.
8. Medvedev, I. F. Tyazhelye metally v ekosistemakh / I. F. Medvedev, S. S. Derevyagin. – Saratov : Rakurs, 2017. – 178 s.
9. Williams, R. J. P. Evolution was chemically constrained / R. J. P. Williams, J. Da Silva // *Journal of Theoretical Biology*. – 2003. – Nr 220. – P. 323–343.
10. Otsenki urovnei zagryazneniya svintsom territorii Belarusi s vysokim prostranstvennym razresheniem EMEP, 2016. – URL: https://www.msceast.org/reports/4_2016_russ.pdf (data obrashcheniya: 12.05.2025).
11. Gorodskaya sreda: geoekologicheskie aspekty : monogr. / V. S. Khomich [i dr.]. – Mn. : Bel. navuka, 2013. – 301 s.
12. Geokhimicheskaya otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv i ogorodnykh kul'tur v urbolandshaftakh g. Bresta i razrabotka rekomendatsii po snizheniyu sootvetstvuyushchikh riskov / GNU «Polesskii agrarno-ekologicheskii institut NAN Belarusi» ; ruk. Mikhal'chuk N. V. – Brest, 2017. – otchet GRNTI: 87.15.09 (№ GR 20180040).
13. Soderzhanie mikroelementov i strukturnye izmeneniya khvoi Picea abies (L.) Karst. v usloviyakh gorodskoi sredy / A. P. Kolbas [i dr.] // *Vesnik Brestskaga universiteta. Seriya. 5, Khimiya. Biyalogiya. Navuki ab Zyamli*. – 2010. – № 2. – C. 33–42.
14. Ecological compensation mechanism for urban green land and its application in Shanghai, China / Y. Wang [et al.] // *Front. Environ. Sci. Eng. China*. – 2007. – Vol. 1. – P. 320–324.
15. The spatial structures and the dust retention effects of green-land types in the workshop district of Wuhan Iron and Steel Company / Z. Zhou [et al.] // *Acta Ecol. Sin.* – 2001. – Vol. 22. – P. 2036–2040.
16. Rovin, S. L. Issledovanie otkhodov, obrazuyushchikhsya pri proizvodstve svintsy / S. L. Rovin, S. V. Grigor'ev // *Lit'e i metallurgiya*. – 2018. – № 2 (91). – S. 43–49.
17. Izmenenie podvizhnosti tyazhelykh metallov v dornovo-podzolistykh pochvakh v zavisimosti ot stepeni ikh gumusirovannosti i primeneniya vysokikh doz organicheskikh udobrenii / V. A. Sedykh [i dr.] // *Izvestiya TSKhA*. – 2011. – Vyp. 3. – S. 17–24.
18. Ladonin, D. V. Formy soedinenii tyazhelykh metallov v tekhnogenno-zagryaznennykh pochvakh / D. V. Ladonin. – M. : Izd-vo Mosk. un-ta, 2019. – 312 s.
19. Otsenka polielementnogo zagryazneniya nekotorykh substratov i territorii v Brestskom regione / A. P. Kolbas [i dr.] // *Vesnik Mozyrskaga dzyarzhavnaga pedagogichnaga universitehta imya I. P. Shamyakina*. – 2021. – № 2 (58). – S. 21–31.

**Анна Николаевна Маевская¹, Максим Альбертович Богдасаров²,
Николай Николаевич Шешко³, Дмитрий Олегович Петров⁴**

¹канд. геол.-минерал. наук, доц. каф. городского и регионального развития
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²д-р геол.-минерал. наук, проф., член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси,
проф. каф. городского и регионального развития

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³канд. техн. наук, доц., нач. науч.-исслед. части, доц. каф. природообустройства
Брестского государственного технического университета

⁴канд. техн. наук, доц., доц. каф. электронных вычислительных машин и систем
Брестского государственного технического университета

Anna Maevskaya¹, Maksim Bahdasarau², Nikolay Sheshko³, Dmitry Petrov⁴

¹Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Associate Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University

²Doctor 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

³Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department,
Associate Professor of the Department of Environmental Management
of Brest State Technical University

⁴Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Electronic Computing Machines and Systems
of Brest State Technical University

e-mail: ¹maevskaya.anna@inbox.ru; ²bogdasarov73@mail.ru

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОГНОЗА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ*

Обеспечение строительным сырьем различных отраслей народного хозяйства имеет важное стратегическое значение для устойчивого экономического развития Республики Беларусь и ее регионов. Наибольшие перспективы расширения минерально-сырьевой базы страны связаны с комплексным изучением кайнозойских отложений на основе применения цифровых технологий. Цель настоящего исследования состоит в создании цифровой геологической модели строения кайнозойских отложений территории Гродненской области как основы для прогноза новых залежей строительных полезных ископаемых в регионе. Методика построения модели включает реализацию пяти последовательных этапов от разработки концепции ее создания до непосредственно процедуры моделирования. Применение геоинформационных систем, а также метода диаграмм Вороного при создании модели позволило эффективно обработать данные геологического бурения. Сформированная цифровая геологическая модель строения кайнозойских отложений территории Гродненской области представлена в двух вариантах: объемном виде и двухмерном формате. Она обеспечила возможность установления перспектив кайнозойской толщи региона на прирост новых залежей строительных полезных ископаемых. На основе полученной модели сформирован набор структурно-геологических и прогнозно-минералогических картосхем.

Ключевые слова: Гродненская область, кайнозойские отложения, цифровая модель, строительное сырье, ГИС-технологии.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках выполнения задания «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений территории Брестской и Гродненской областей как основы для прогнозирования новых наиболее доступных месторождений минерального сырья» (№ госрегистрации 20211417) ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Experience in Eveloping a Digital Model of the Cenozoic Deposits Structure in the Grodno Region as a Basis for Forecasting the Mineral Resource Base of Construction Materials

Providing construction raw materials for various sectors of the national economy is of crucial strategic importance for the sustainable economic development of the Republic of Belarus and its regions. The greatest prospects for expanding the country's mineral resource base are associated with the comprehensive study of Cenozoic deposits using digital technologies. The objective of this study is to develop a digital geological model of the Cenozoic deposits in the Grodno region as a basis for predicting new deposits of construction minerals in the area. The methodology for constructing the model involves five sequential stages: from conceptualization to the actual modeling procedure. The use of geographic information systems (GIS) and the Voronoi diagram method enabled efficient processing of geological drilling data. The resulting digital geological model of the Cenozoic deposits in the Grodno region is presented in two formats: 3D volumetric and 2D representations. This model has made it possible to assess the potential of the Cenozoic strata in the region for new deposits of construction minerals. Based on the obtained model, a set of structural-geological and predictive-mineragenic maps has been compiled.

Key words: Grodno Region, Cenozoic deposits, digital model, construction materials, GIS technologies.

Введение

Обеспечение строительным сырьем различных отраслей народного хозяйства Республики Беларусь сохраняет свою стратегическую значимость как важнейший фактор устойчивого экономического развития. В этой связи не теряют своей актуальности исследования, направленные на расширение существующей минерально-сырьевой базы таких ресурсов.

Принимая во внимание специфику геологического строения нашей страны, можно утверждать, что перспективы расширения минерально-сырьевой базы строительных материалов в значительной степени связаны с комплексным изучением кайнозойских отложений. Уже сейчас, благодаря многолетним исследованиям белорусских геологов, накоплены обширные сведения о строении этих отложений и связанных с ними полезных ископаемых. Однако имеющаяся информация все еще остается разрозненной и требует актуализации с учетом наиболее полных данных геологического бурения. Решение этой проблемы возможно с применением современного инструментария, позволяющего обрабатывать большие объемы данных – геоинформационных систем.

Геология – одна из первых отраслей, где стали применяться геоинформационные системы для обработки информации. Именно поэтому к настоящему времени в научной литературе предложено множество разноплановых подходов к созданию цифровых геологических моделей.

В то же время такие подходы направлены на моделирование недр, вмещающих горючие и рудные виды сырья [1–3], и в меньшей степени применимы для создания моделей недр, содержащих строительное сырье [4; 5]. Связано это с тем, что сеть данных в нефтеразведке более плотная и равномерная. Именно на работу с такой сетью и ориентированы большинство инструментов в специализированных ГИС-пакетах, что не позволяет использовать их при работе с редкой и неоднородной сетью данных, наиболее присущей для участков залегания строительного сырья.

Одним из успешно апробированных и показавших свою эффективность подходов к созданию цифровых моделей недр на основе неоднородных сетей данных бурения является применение диаграммы Вороного, что подтверждается рядом примеров [6; 7]. Возможность применения данного метода апробирована и самими авторами при создании цифровой геологической модели строения кайнозойских отложений территории Брестской области [8].

Цель настоящего исследования состоит в разработке цифровой геологической модели строения кайнозойских отложений территории Гродненской области как основы для прогноза минерально-сырьевой базы строительного сырья в регионе.

Материалы и методика исследования

В основу настоящего исследования положены данные геологического бурения территории Гродненской области, предоставленные Институтом природопользования Национальной академии наук Беларуси и Научно-производственным центром по геологии Минприроды Республики Беларусь. Исходная база данных включает информацию о 20 характеристиках более чем 2000 скважин.

Методика создания цифровой модели кайнозойских отложений Гродненской области учитывает опыт, представленный в зарубежной литературе [5–7] и собственный опыт авторов, полученный при создании аналогичной модели для территории Брестской области [8; 9].

Она предполагает последовательную реализацию нескольких этапов, которые более подробно описаны ниже.

Этап 1. Формирование концептуальной основы модели.

Концепция создания цифровой модели кайнозойских отложений территории Гродненской области базируется на сочетании методов управления реляционными базами данных, растрового моделирования строения недр, генерации разноплановой геологической информации и автоматизации задач геологического моделирования.

Основные положения разработанной концепции приведены ниже.

1. Структура модели должна быть универсальной и обеспечивать возможность хранения в единой системе всей информации о строении кайнозойских отложений на территории исследуемого региона.

2. При построении модели должны учитываться такие принципы, как ее соответствие целевому назначению; согласованность по времени данных, используемых для создания модели; позиционная точность; достоверность (адекватность) отображения информации о геологической среде региона; динамичность (т. е. возможность корректировки модели на основе вновь поступающих данных); модульность построения; простота эксплуатации.

3. По своему функционалу модель должна обеспечивать следующие возможности: получение различной информации о геологическом строении кайнозойских отложений области; интегрированную обработку разнородной информации о строении кайнозойской толщи региона, полученную из различных источников; выделение участков недр, перспективных для разработки залежей строительного сырья; формирование рекомендательных направлений по освоению минерально-сырьевого потенциала территории.

4. Основным источником информации для создания модели должен выступать банк пространственно-привязанных данных, созданный по материалам геологического бурения территории региона разных лет.

5. Основным способом хранения информации в модели должны выступать реляционные базы данных, а также базы геоданных ArcGIS.

6. Развитие модели должно обеспечиваться путем создания алгоритмов автоматизации работы инструментов, применяемых для табличных вычислений, растрового анализа, оверлейных операций, картосоставительских работ.

7. Перспективы использования модели должны определяться ее функциональными возможностями. В целом разрабатываемая модель может представлять интерес для производственных и научных организаций, занимающихся геологическим изучением недр, а также учреждений высшего образования при осуществлении подготовки специалистов в области геологии, геоинформатики, географии.

Этап 2. Разработка архитектуры модели.

В основу архитектуры создаваемой модели заложено несколько функциональных блоков, каждый из которых позволяет решать специализированный набор задач. Ниже более подробно описан каждый из ключевых функциональных блоков.

– Блок «Классы объектов» предназначен для моделирования геологических объектов и вспомогательных слоев.

– Блок «База данных» отвечает за хранение числовой и текстовой информации об объектах на карте в систематизированном виде, обеспечивая возможности пространственной выборки объектов на основе заданных атрибутов.

– Блок «Импорт данных» позволяет загружать информацию в систему из внешних источников, например, баз данных Excel, Access.

– Блок «Экспорт данных» позволяет передавать обработанную и хранящуюся в структуре модели информацию в табличном виде, а также в виде векторных и растровых моделей, картосхем.

– Блок «Топология» включает совокупность правил об отображении линейных, точечных и площадных объектов.

– Блок «Наборы инструментов» содержит инструменты, которые используются для создания, управления, интеграции, анализа пространственных данных.

– Блок «Model Builder» облегчает процедуру автоматизации отдельных процессов моделирования.

– Блок «База геоданных» обеспечивает хранение наборов геоданных различных типов в единой папке файловой системы или в многопользовательской реляционной базе данных.

Этап 3. Разработка функциональной структуры модели.

Для функциональной структуры модели Гродненской области наиболее оптимальным видится ее представление в виде двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок обеспечивает ключевые этапы геологического моделирования и состоит из следующих модулей: обработка данных (обеспечивает первичный анализ и подготовку геологической информации к процессу моделирования); структурно-геологическая основа (отвечает за формирование растрового структурного каркаса модели и производных от него моделей мощности отложений и мощности вскрышных пород); литологическая основа (отвечает за построение растрового литологического каркаса модели); прогнозно-минерагеническая основа (обеспечивает формирование многопараметровой прогнозной растровой матрицы с выделением перспективных на строительные виды сырья участков недр).

Вспомогательный блок обеспечивает организацию системы хранения данных и включает следующие модули: Information (обеспечивает хранение исходных наборов данных, используемых для создания модели); Vector (обеспечивает хранение векторных слоев в формате shp-файлов); Raster (обеспечивает хранение растровых элементов модели); Map layouts (обеспечивает хранение макетов готовых картосхем); Tools (обеспечивает хранение инструментов геообработки).

Этап 4. Подбор программного обеспечения для создания модели.

В качестве основного ГИС-пакета для формирования цифровой геологической модели Гродненской области выбран пакет ArcGIS 10.5. Данный выбор обусловлен успешным опытом применения этой платформы при создании аналогичной модели для Брестской области. Для расширения функциональных возможностей основного программного обеспечения дополнительно включены в рабочий комплекс для моделирования СУБД MS Access, табличный процессор MS Excel, программное обеспе-

чение для создания трехмерной компьютерной графики Blender, система компьютерной алгебры Wolfram Mathematica.

Этап 5. Построение модели.

Процедура построения самой модели аналогична процедуре создания такой же модели для Брестской области [8] и состояла из следующих шагов:

1. Обработка данных.

Она включала систематизацию исходных данных буровой изученности в MS Access, их экспорт в настольный программный пакет ArcGIS 10.5, геостатистическую обработку в ГИС-среде, кодирование данных о литологии пород, экспорт данных в формате CSV-файла.

При разработке системы кодов для литологических типов пород, содержащихся в базе данных по Гродненской области, учитывалась система кодирования информации о литологии пород базы данных по Брестской области.

Если литологической разности уже был присвоен определенный код в базе данных Брестской области, то с этим же кодом присваивался ей, если она отмечалась в базе данных Гродненской области.

В случае, когда в базе данных Гродненской области отмечались литологические разности, которые отсутствовали в базе данных по Брестской области, им присваивалось новое кодовое значение. Ниже в таблице приведена система кодирования данных о литологии пород для базы данных Гродненской области.

Таблица – Система кодирования информации о литологических типах пород в базе данных «Буровая изученность территории Гродненской области»

Код	Литология	Код	Литология
1	Валунно-галечные породы	15	Суглинок и супесь моренные
2	Глина	16	Супесь моренная
6	Песчано-гравийные породы	17	Супесь моренная с глиной
7	Песок	18	Торф
8	Песок глауконитово-кварцевый	20	Мел
10	Песок, глина	21	Глина, песчано-гравийные породы
12	Песок, уголь, глина	22	Песок глауконитово-кварцевый с желваками фосфоритов
13	Песчано-гравийно-галечные породы	23	Песок глауконитово-кварцевый, глина
14	Суглинок моренный		

2. Создание объемной модели.

Для создания модели применялся авторский алгоритм, основанный на применении диаграммы Вороного. Он выполнен с применением самостоятельно разработанного модуля на языке программирования C++ и библиотеки Voro++ v.0.4.6 с открытым исходным кодом. Отображение модели осуществлялось посредством бесплатного профессионального открытого программного обеспечения Blender.

3. Разделение объемной модели на слои.

Ввиду того, что сеть буровых скважин неравномерно покрывала территорию Гродненской области, была проведена аппроксимация полученной объемной модели путем перевода в двухмерный формат. Процедура трансформации заключалась в разбиении объемной модели на набор растровых поверхностей с численно закодированной литологической информацией. В качестве шага разбиения использовался 1 метр, что соответствует минимальной приемлемой для добычи мощности продуктивной толщи для большинства строительных полезных ископаемых [10]. Полученные растровые поверхности и послужили основой для создания двухмерной модели.

4. Обработка растровых поверхностей.

Полученный в ходе шага 3 набор растровых поверхностей с помощью инструмента Extract Multi Values to Points настольного программного пакета ArcGIS 10.5 был преобразован в табличную базу данных LitoKod. Для обработки сформированной базы данных применялся пакет Wolfram Mathematica. По итогам обработки сформированы 17 файлов, содержащих информацию о мощности и распространении залежей (по одному для каждого типа литологии).

5. Формирование 2D модели.

Процесс создания двухмерной модели включал загрузку обработанных на четвертом шаге слоев в ГИС-оболочку; формирование набора векторных точечных слоев по каждому типу пород; привязку полученных точечных наборов данных; конвертацию точечных векторных слоев в растровые покрытия; преобразование растровых покрытий в векторный формат.

Результаты и их обсуждение

На основе методики, описанной выше, создана цифровая геологическая модель кайнозойских отложений территории Гродненской области.

Разработанная модель представляет собой комплексную базу данных, концентрирующую информацию о структурных, литологических и горно-геологических характеристиках кайнозойских отложений региона.

Как и аналогичная модель по Брестской области, она представлена в двух вариантах.

В объемном виде модель является совокупностью выпуклых многогранников, образующих объемные тела, соответствующие залежам осадочных пород. Эти тела могут рассматриваться в качестве потенциальных источников строительного сырья в регионе.

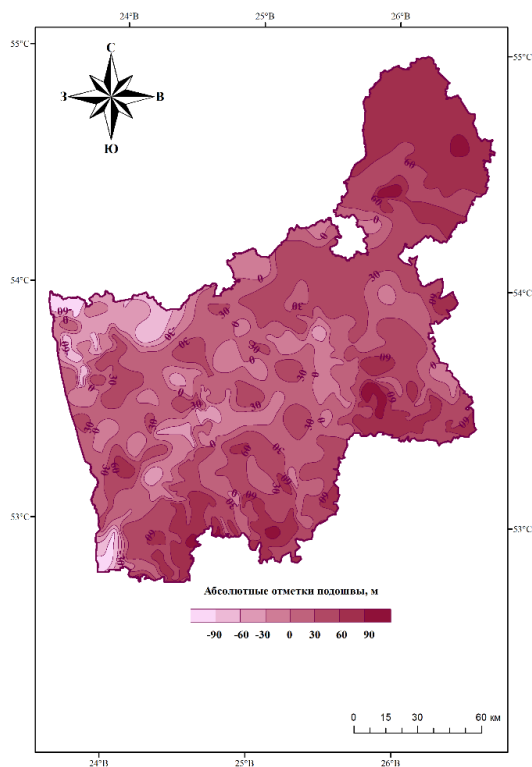
В двухмерном виде модель представляет собой файловую базу геоданных ArcGIS, которая включает наборы: векторных точечных слоев, полученных в ходе численной обработки трансформированной в слои объемной модели; растровых поверхностей по каждому из 17 типов пород; векторных полигональных слоев, отражающих установленные границы распространения залежей строительного сырья, их мощности, мощности перекрывающих отложений, отметки залегания.

На основе созданной модели подготовлены:

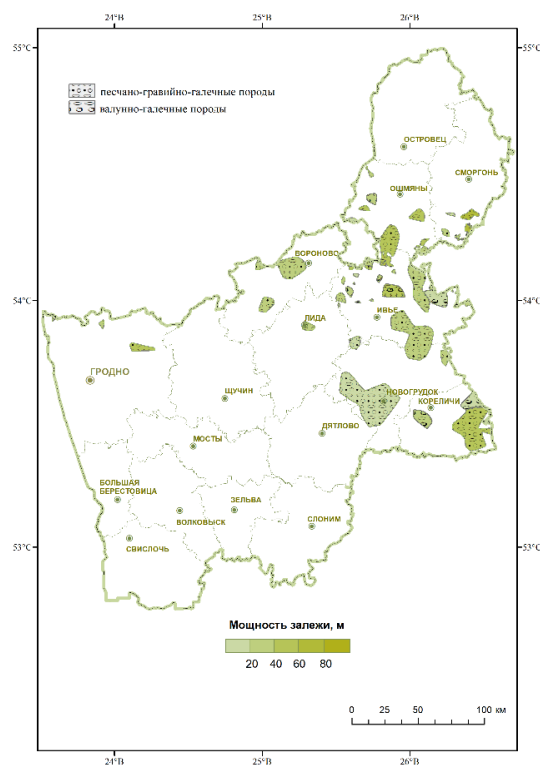
1) комплект цифровых структурно-геологических картосхем (подошвы и кровли) кайнозойских отложений территории Гродненской области и ее отдельных административных районов;

2) комплект картосхем распределения мощностей отложений и распределения мощностей перекрывающих стратиграфические горизонты толщ;

3) комплект цифровых прогнозно-минерагенических картосхем, отражающих пространственные особенности локализации наиболее значимых с точки зрения мощности и представительных в площадном отношении типов пород в регионе: песков, песчано-гравийных пород, глин, песков с прослоями глинистого материала, торфа, валунно-галечных и песчано-гравийно-галечных пород, моренных супесей и суглинков. Примеры выполненных картографических материалов показаны на рисунке ниже.



а) Картосхема изогипс четвертичных отложений на территории Гродненской области



б) Картосхема закономерностей размещения и прогноза залежей песчано-гравийно-галечных и валунно-галечных пород на территории Гродненской области

Рисунок – Пример картосхем, выполненных на основе разработанной модели

В ближайшей перспективе разработанная цифровая геологическая модель кайнозойских отложений территорий Гродненской области (по аналогии с моделью по Брестской области) будет дополнена блоком анализа приемлемости освоения залежей. Это позволит комплексно оценивать возможности освоения выявленных залежей строительного сырья с учетом правовых и социально-экономических ограничений, связанных со статусом земель.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования была разработана цифровая геологическая модель строения кайнозойских отложений территории Гродненской области.

Для ее создания применялась авторская методика, уже хорошо зарекомендовавшая себя при создании аналогичной модели для территории Брестской области. Модель выполнена в объемном варианте, а также в двухмерном виде. Она дает комплексное представление о геологическом строении кайнозойских отложений территории Гродненской области и послужила основой для создания цифровых геологических картосхем региона.

Успешное применение разработанной авторами методики цифрового геологического моделирования кайнозойских отложений подтверждает ее эффективность и возможность использования на национальном уровне.

При создании аналогичных моделей по другим областям станет возможным формирование единой целостной цифровой базы данных по залежам строительного сырья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Де Меритт, М. Моделирование подземных структур в ArcGIS / М. Де Меритт // ArcReview. – 2017. – № 2 (81). – URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2017/05/14/arcgisunderground-modelling/> (дата обращения: 22.07.2025).
2. Геологическое моделирование горизонта Ю1 Томской области / К. Е. Закревский [и др.]. – Томск : Изд. дом Томс. гос. ун-та, 2016. – 154 с.
3. Walsh, S. Bluecap: A geospatial model to assess regional economic-viability for mineral resource development / S. Walsh // Resources Policy. – 2020. – Iss. 66. – P. 1–11.
4. Контроль за месторождениями общераспространенных полезных ископаемых / С. В. Прозоров [и др.] // ArcReview. – 2006. – № 4 (39). – URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2006/10/04/monitoring-of-deposits/> (дата обращения: 18.07.2025).
5. Поклонов, В. И. Создание прогнозно-математической модели закономерностей размещения кварцевых песков для строительных работ на территории республики Марий Эл / В. И. Поклонов, Ф. В. Семенов, С. К. Иванов // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 7. – С. 23–26.
6. Васильев, П. В. Применение 3D триангуляции Делоне и диаграммы Вороного в ГИС недропользования / П. В. Васильев, Х. Ледоукс // Материалы VIII Междунар. конф. «Информатика: проблемы, методология, технологии», Воронеж, 7–8 февр. 2008 г. : в 7 т. / Воронеж. гос. ун-т ; под ред. Н. А. Тюкачева. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2008. – Т. 1. – С. 101–110.
7. Boissonnat, J-D. Reconstruction of Geological Structures from Heterogeneous and Sparse Data / J-D. Boissonnat, S. Nullans // The 4th ACM international workshop on Advances in geographic information systems : proceedings, Rockville, 15–16 November 1996 / Association for Computing Machinery ; ed.: S. Shekhar, P. Bergougnoux. – USA : INRIA, 1996. – P. 3–24.
8. ГИС-моделирование строения кайнозойской толщи Брестской области для прогноза и оценки залежей нерудного сырья / М. А. Богдасаров, А. Н. Маевская, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Горные науки и технологии. – 2024. – Т. 9, № 4. – С. 328–340. – DOI 10.17073/2500-0632-2024-03-230.
9. Геолого-генетическое моделирование кайнозойских отложений Брестской области с применением информационных технологий / А. Н. Маевская [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2023. – № 1. – С. 107–118.
10. Ярцев, В. И. Поиски и разведка месторождений минерального строительного сырья / В. И. Ярцев, В. Н. Губин, Э. А. Высоцкий. – Мн. : БГУ, 2001. – 120 с.

REFERENCES

1. De Meritt, M. Modelirovanie podzemnykh struktur v ArcGIS / M. De Meritt // ArcReview. – 2017. – № 2 (81). – URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2017/05/14/arcgis-underground-modelling/> (data obrashcheniya: 22.07.2025).
2. Geologicheskoe modelirovanie gorizonta Yu1 Tomskoi oblasti / K. Ye. Zakrevskii [i dr.]. – Tomsk : Izd. dom Toms. gos. un-ta, 2016. – 154 s.
3. Walsh, S. Bluecap: A geospatial model to assess regional economic-viability for mineral resource development / S. Walsh // Resources Policy. – 2020. – Iss. 66. – P. 1–11.
4. Kontrol' za mestorozhdeniyami obshcherasprostranennykh poleznykh iskopaemykh / S. V. Prozorov [i dr.] // ArcReview. – 2006. – № 4 (39). – URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2006/10/04/monitoring-of-deposits/> (data obrashcheniya: 18.07.2025).
5. Poklonov, V. I. Sozdanie prognozno-matematicheskoi modeli zakonomernostei razmeshcheniya kvartsevykh peskov dlya stroitel'nykh rabot na territorii respubliki Marii El / V. I. Poklonov, F. V. Semenov, S. K. Ivanov // Razvedka i okhrana nedr. – 2015. – № 7. – S. 23–26.
6. Vasil'ev, P. V. Primenenie 3D triangulyatsii Delone i diagrammy Voronogo v GIS nedropol'zovaniya / P. V. Vasil'ev, Kh. Ledouks // Materialy VIII Mezhdunar. konf. «Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii», Voronezh, 7–8 fevr. 2008 g. : v 7 t. / Voronezh. gos. un-t ; pod red. N. A. Tyukacheva. – Voronezh : IPTS VGU, 2008. – T. 1. – S. 101–110.
7. Boissonnat, J-D. Reconstruction of Geological Structures from Heterogeneous and Sparse Data / J-D. Boissonnat, S. Nullans // The 4th ACM international workshop on Advances in geo-

graphic information systems : proceedings, Rockville, 15–16 November 1996 / Association for Computing Machinery ; ed.: S. Shekhar, P. Bergougnoux. – USA : INRIA, 1996. – P. 3–24.

8. GIS-modelirovanie stroeniya kainozoiskoi tolshchi Brestskoi oblasti dlya prognoza i otsenki zalezhei nerudnogo syr'ya / M. A. Bogdasarov, A. N. Maevskaya, D. O. Petrov, N. N. Sheshko // Gornye nauki i tekhnologii. – 2024. – T. 9, № 4. – S. 328–340. – DOI 10.17073/2500-0632-2024-03-230.

9. Geologo-geneticheskoe modelirovanie kainozoiskikh otlozhenii Brestskoi oblasti s primeneniem informatsionnykh tekhnologii / A. N. Maevskaya [i dr.] // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya. – 2023. – № 1. – С. 107–118.

10. Yartsev, V. I. Poiski i razvedka mestorozhdenii mineral'nogo stroitel'nogo syr'ya / V. I. Yartsev, V. N. Gubin, E. A. Vysotskii. – Mn. : BGU, 2001. – 120 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 30.07.2025

Александр Александрович Сидорович

канд. геогр. наук, доц., докторант Белорусского государственного университета

Alexandr Sidorovich

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,

Doctoral Student of the Belarusian State University

e-mail: brestsid@gmail.com

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАНЯТОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Выделены исследовательские парадигмы занятости населения: рыночная, этатическая, геопро пространственная, лейбористская, демографическая, структурно-трансформационная и кризисно-транзитивная. Предложена методологическая схема комплексного исследования территориальной организации занятости населения, базирующаяся на геопро пространственной парадигме и системно-структурном подходе. Сфера занятости представляется как система, включающая четыре подсистемы: социально-демографическую, экономическую, расселенческую и институциональную. Разработка теоретико-методологических основ географического изучения участия населения в производстве общественных благ создает предпосылки для формирования в рамках социально-экономической географии самостоятельного научного направления – географии занятости населения.

Ключевые слова: *занятость населения, теория, географическая методология, территориальная организация, сфера занятости, системно-структурный подход.*

Theoretical and Methodological Foundations of Geographical Studies of Employment

The article highlights the research paradigms of employment: market, ethic, geospatial, labor, demographic, structural-transformational and crisis-transitive. A methodological scheme of a comprehensive study of the territorial organization of employment is proposed, based on the geospatial paradigm and the system-structural approach. The sphere of employment is presented as a system that includes four subsystems: socio-demographic, economic, settlement and institutional. The development of theoretical and methodological foundations for the geographical study of population participation in the production of public goods create prerequisites for the formation of an independent scientific direction within the framework of socio-economic geography – the geography of employment.

Key words: *employment, theory, geographical methodology, territorial organization, sphere of employment, system-structural approach.*

Введение

Изменения, происходящие в общественной жизни, ставят перед наукой и практикой новые вопросы и проблемы. Возникновение новых идей и подходов, накопление обширного эмпирического материала, расширение применения междисциплинарных методов исследования обуславливают развитие научного познания в целом и отдельных научных направлений в частности. В условиях демографических трансформаций на фоне глобализации, цифровизации и постиндустриализации усиливается региональная дифференциация масштабов и характера экономической активности населения. Несмотря на особую актуальность проблематики занятости населения, многие вопросы и аспекты остаются нерешенными и требуют переосмысления, анализа, обобщения, систематизации на теоретико-методологическом уровне.

Цель работы – расширение теоретико-методологических основ экономико-географического изучения занятости населения на основе уточнения ее сущности, содержания и особенностей территориальной организации.

Материалы и методика исследования

Существует множество определений сущности занятости населения, относящихся, как правило, к разным научным областям. В широком смысле под занятостью

понимается деятельность населения по удовлетворению личных и общественных потребностей с получением дохода в различных формах. При этом фундаментальным принципом выступает экономическая свобода, предполагающая самостоятельный выбор каждого индивида по поводу форм и видов участия в общественном производстве. В соответствии с белорусским законодательством занятость трактуется как «деятельность граждан, связанная с удовлетворением личных и общественных потребностей, не противоречащая законодательству и приносящая им заработную плату, вознаграждение по гражданско-правовому договору или иной доход» [1, ст. 1]. В основе такой деятельности лежит создание благ в процессе взаимодействия человека (индивида) как носителя знаний, навыков и умений со средствами производства. В еще более широком значении занятость охватывает все виды общественно полезной деятельности, включая «учебу, службу в армии, работу в домашнем хозяйстве» [2, с. 131]. В более узком смысле под занятостью понимают лишь «гарантированность обеспечения работой или активность, приносящая трудовой доход» [3, с. 975]. По нашему мнению, наиболее приемлемый подход к дефиниции занятости населения представлен в белорусском законодательстве, который учитывает два критерия – создание общественных благ и получение дохода. В то же время занятость представляет собой не только проявление экономической активности населения, но и совокупность социально-экономических отношений, сопутствующих ее реализации. В связи с этим мы предлагаем ввести понятие «сфера занятости», означающее совокупность социально-экономических отношений между институтами и субъектами экономической деятельности по поводу создания общественных благ и распределения их добавленной стоимости. Сфера занятости выступает как механизм организации и эффективного использования трудового потенциала региона, обеспечивающий баланс спроса и предложения рабочей силы, реализацию предпринимательской инициативы.

Как сложное социально-экономическое явление, занятость обеспечивает, с одной стороны, существование и развитие общества посредством создания и обмена благами, а с другой – служит основой обеспечения жизненных потребностей индивидов за счет присвоения части добавленной стоимости произведенных благ. В силу этого исследование занятости не только сводится к анализу степени вовлечения населения в экономическую деятельность относительно общей его численности и различных возрастных контингентов, но и охватывает факторы, тенденции, закономерности динамики структуры экономики и демографических процессов как отражения, соответственно, изменений общественных потребностей и совокупного состояния населения. На первый план выходят вопросы соответствия экономического и демографического развития, их синхронностью и адаптивностью к изменяющимся условиям. Устойчивое социально-экономическое развитие требует постоянного поддержания баланса между имеющейся численностью трудоспособного населения и располагаемыми материальными факторами производства. Следовательно, в основе таких исследований должна находиться методология системного анализа. Логика комплексного исследования территориальной организации занятости населения требует, с одной стороны, использования теоретических положений социально-экономической географии, а с другой – географической адаптации социологических и экономических подходов.

Данное исследование базируется на анализе отечественной и зарубежной экономической, социологической и географической литературы, нормативно-правовых документов и положений ряда сформированных теорий социально-экономического развития (рынка труда, трех секторов, постиндустриального общества, человеческого капитала, демографического перехода, опорного каркаса, поляризованного развития, жизненных циклов, пространственной диффузии инноваций). Основу методического инструментария работы составили источниковедческий анализ, методы научной абст-

ракции (дедукции и индукции), теоретического моделирования, сравнения, обобщения и систематизации, единства методологического холизма и индивидуализма, логический и историко-генетический методы.

Результаты исследования и их обсуждение

Занятость населения как сложный объект научного исследования определяет формирование разнообразных направлений и сторон ее изучения, одновременно выходящих за рамки отдельных наук и привлекающих интерес ученых разных научных сфер. То обстоятельство, что объект и предмет изучения, в качестве которых выступает занятость, в рамках таких направлений рассматриваются схожим образом вне зависимости от научной области и теоретико-методологического аппарата, применяемого исследователями, дает основание рассматривать их как исследовательские парадигмы. Последние по своей сути представляют собой совокупность теоретических и методологических положений, принятых научным сообществом в качестве образца для решения исследовательских задач. Они определяют модель постановки проблемы, задавая теоретико-методологическую схему научной деятельности [4, с. 43]. Обобщение и систематизация многочисленных исследований позволили нам выделить ряд исследовательских парадигм занятости, основанных на определенных концептуальных, ценностных и методологических установках. Первая парадигма – рыночная (классическая) – сформировалась в конце XVIII в. в первую очередь благодаря трудам британского ученого А. Смита [5] как отражение кардинальных преобразований общественной жизни в результате промышленной революции (таблица).

Таблица – Парадигмы изучения занятости населения

Парадигма	Сущность	Авторы исследований
Рыночная	Население – один из факторов производства. Концептуальный аппарат исследований базируется на оперировании категориями спроса, предложения, цены и конкуренции.	А. Смит (A. Smith), Дж. Б. Кларк (J. B. Clark), Д. Т. Мортенсен (D. Mortensen), П. Нийкамп (P. Nijkamp), Э. Н. Люттвак (E. N. Luttwak), Р. И. Капелюшников, Е. В. Ванкевич, И. В. Зенькова и др.
Этатическая	Неполная занятость и безработица рассматриваются как одна из ключевых проблем государства, препятствующих экономическому росту и создающих социальное напряжение.	Ж. Симонд де Симонди (J. Simonde de Sismondi), А. Пигу (A. Pigou), С. Г. Струмилин, Дж. М. Кейнс (J. M. Keynes), Д. Р. Кэмерон (D. R. Cameron), А. Г. Коровкин и др.
Геопространственная	Неоднородность пространственного развития в силу разного сочетания природных, социально-экономических и геополитических факторов предопределяет различия в структуре и уровне занятости населения.	А. Э. Грин (A. Green), С. Хансон (S. Hanson), Г. Пратт (G. Pratt), А. И. Алексеев, Е. А. Антипова, В. В. Воронин, Н. В. Зубаревич, Г. М. Лаппо, Т. Г. Нефедова, В. И. Переведенцев, О. Ю. Сушкова и др.
Лейбористская	Накопление капитала и технических инноваций приводит к вытеснению рабочей силы с рынка труда, что требует изменения форм производства и трудовых отношений.	К. Маркс (K. Marx), Ф. Энгельс (F. Engels), М. Розер (M. Roser), Ж. К. Куаресма (J. C. Cuaresma), С. И. Кубицкий, С. Г. Михнев и др.
Демографическая	Демографический переход приводит к трансформации рынков труда, обуславливая в контексте исторического развития избыток, а затем недостаток рабочей силы, а также половозрастные деформации населения.	З. Длугош (Z. Długosz), Т. Недомысл (T. Nedomysl), Е. Б. Бреева, Ж. А. Зайончковская, А. В. Кашепов, А. Я. Кваша, Л. Л. Рыбаковский, А. В. Топилин, А. А. Раков, Л. Е. Тихонова, М. И. Артюхин и др.

Окончание таблицы

Структурно-трансформационная	Научно-технический прогресс, глобализация и рост общего благосостояния обуславливают трансформацию структуры экономики и в целом всей общественной жизни, одновременно расширяя уровень технологизации, возможности сбыта и увеличивая уязвимость национальных экономик к мировым потрясениям.	Дж. Минсер (J. Mincer), Д. Белл (D. Bell), Г. Беккер (G. Becker), Т. Шульц (T. Schultz), Д. Аджемоглу (D. Acemoglu), М. Кастельс (M. Castells), Д. Родрик (D. Rodrik), П. Рестрепо Меса (P. Restrepo Mesa), А. Б. Берберов, С. Я. Веселовский, Н. В. Агабекова и др.
Кризисно-транзитивная	Распад многополярного мира, переход от одной экономической системы к другой сопровождаются радикальными преобразованиями сферы занятости.	В. Е. Гимпельсон, И. В. Гуськова, В. Г. Былков, В. Ю. Лапшин, Т. В. Кузьминова, Т. А. Камарова, Д. Г. Слатов и др.

В первой половине XIX в. оформляется этатическая парадигма, предполагающая необходимость государственного вмешательства в экономические процессы. Значительное влияние на развитие этой парадигмы оказали взгляды Ж. Симонда де Симонди, выступавшего за государственную поддержку мелких производителей [6, с. 181].

На этот же период приходится становление геопрограмственной парадигмы, первые концептуальные идеи которой были представлены в работе И. фон Тюнена (J. von Thünen) «Изолированное государство в его отношении к сельскому хозяйству и национальной экономике» (Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirthschaft und Nationalökonomie, 1826), в которой рассматривались закономерности размещения сельскохозяйственного производства и закладывались основы методологии пространственного исследования экономических процессов [7, с. 16].

В третьей четверти XIX в. в ответ на кризис капиталистических отношений, связанных с перепроизводством, борьбой стран и крупных предпринимателей за рынки сырья и сбыта, стала зарождаться лейбористская парадигма, ориентированная на повышение благосостояния населения и отстаивание его интересов.

В середине XX в. резкое снижение рождаемости в ведущих странах капиталистического и социалистического блоков подняло вопрос об обеспечении экономики рабочей силой и сохранении демографического потенциала в целом. Так одной из ключевых парадигм стала демографическая.

Во второй половине XX в. научно-технический прогресс и рост общего благосостояния обусловили существенные трансформации структуры занятости, когда на смену ранее доминировавшим аграрному и индустриальному секторам пришел сектор услуг. Осмысление происходящих изменений осуществляется в рамках структурно-трансформационной парадигмы. В качестве источника экономического роста рассматривается человеческий капитал, который становится приоритетом инвестирования.

Последнее десятилетие XX в. ознаменовалось крушением социалистической системы, а входившие в нее страны столкнулись с проблемой структурных преобразований и необходимостью перехода от плановой экономики к рыночной. В таких условиях сформировалась кризисно-транзитивная парадигма, получившая наибольшее распространение в странах постсоветского пространства.

Пространственная неоднородность и региональные особенности занятости, обусловленные сложным сочетанием природно-географических, социально-экономических, историко-географических и геополитических факторов, определяют необходимость проведения полимасштабных исследований территориальной организации занятости населения.

Учет пространственной неоднородности лежит в основе геопропространственной парадигмы, выступающей методологической основой экономико-географического исследования занятости населения. Ее базовыми научными принципами выступают территориальность, комплексность, региональная целостность, системность и устойчивость [4, с. 9, 30].

Развитие территориальной структуры занятости сопровождается сочетанием разнонаправленных процессов: «поляризации и выравнивания, концентрации и де-концентрации, централизации и децентрализации» [8, с. 10]. При этом регионы распределяются на центр, полупериферию и периферию [9, с. 43].

В пределах же самих регионов формируются полюсы роста, концентрирующие экономическую активность и занятое население [10, с. 21].

Анализ отечественной и зарубежной научной литературы по тематике, связанной с различными аспектами занятости, свидетельствует об ограниченном числе географических работ концептуального содержания с обоснованием подходов и методологических основ исследования. В большинстве работ лишь косвенно затрагиваются отдельные аспекты занятости либо, и, несмотря на комплексный исследовательский подход, охватывается национальный уровень в целом или отдельные регионы страны.

Комплексные полимасштабные географические исследования занятости представлены единичными работами. Отчасти примером такой работы является диссертационное исследование В. В. Воронина «Территориальная организация трудоресурсного потенциала России» (2006), включающее национальный уровень, уровень субъектов федерации и районный уровень Самарской области [11].

В связи с этим имеет место объективная необходимость принципиально новой систематизации научных взглядов в области занятости в рамках самостоятельного научного направления социально-экономической географии – географии занятости населения.

В фокусе данного направления находятся территориальная структура и пространственная организация экономической активности населения, а также разработка региональной политики в сфере занятости. Ключевыми задачами географии занятости населения выступают выявление территориальной дифференциации в уровне и структуре занятости, установление взаимовлияния территориальной структуры занятости и территориальной организации общества, определение роли занятости в региональном развитии. Занятость населения как совокупность сложных и разнообразных общественных отношений требует ее рассмотрения как локализованной во времени и пространстве социально-экономической системы с присущими ей структурой и свойствами. Такая методологическая установка реализуется посредством системно-структурного подхода, который выступает основополагающим для географических исследований [4, с. 42]. Он позволяет выделить составляющие элементы, причинно-следственные связи и механизмы взаимодействия и на этой основе раскрыть характер противоречий, генерирующих развитие сферы занятости [12, с. 17].

В силу специфики представления статистической информации и выстроенной системы государственного управления полимасштабные исследования занятости населения проводятся на уровне административно-территориальных единиц, образующих определенный иерархический уровень. Системно-структурный подход позволяет осуществить полимасштабное исследование на национальном, областном и районном уровнях, установить соподчиненность их структурных связей и отношений, обосновать механизм «центр-периферийной» дихотомии [13, с. 4].

В сфере занятости можно выделить четыре подсистемы: социально-демографическую, экономическую, расселенческую и институциональную (рисунок 1).

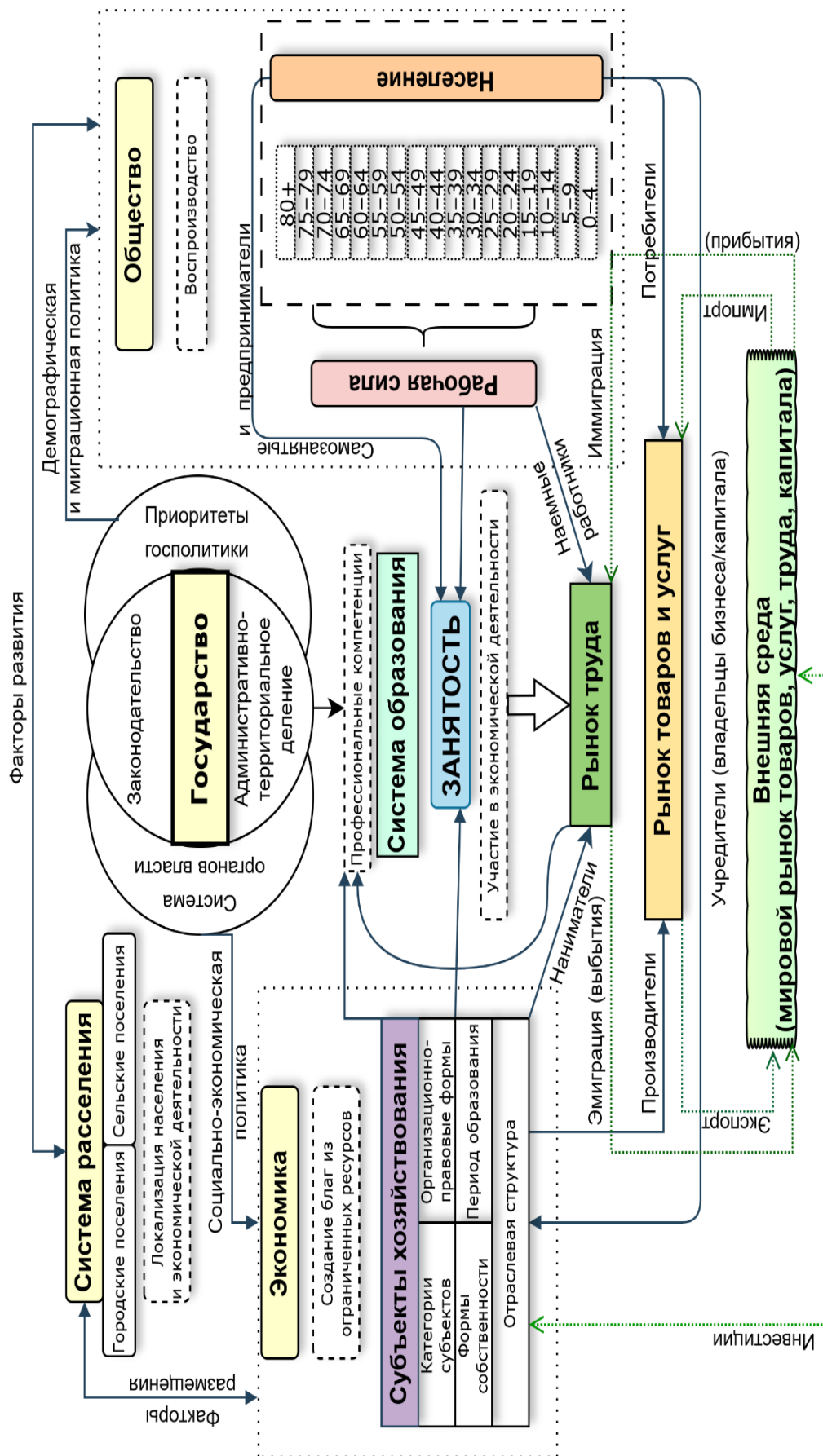


Рисунок 1 – Системный подход в изучении сферы занятости населения

Социально-демографическая (населенческая, общественная) подсистема отражает текущее состояние и потенциал предложения услуг труда и организации занятости, предпринимательства в индивидуальной форме или форме участника либо учредителя организации. Экономическая подсистема характеризует главный образ текущий и потенциальный спрос на услуги труда. Она включает ключевые параметры субъектов хозяйствования (нанимателей) региона и созданных ими рабочих мест, а также эффективность функционирования и интегрированность в мирохозяйственные связи. Занятость населения и ее структура являются объективным отражением структурных сдвигов, происходящих в национальной экономике. Чуткая их реакция на любые изменения социально-экономического положения позволяет судить о подверженности экономической системы кризисным явлениям или ее нахождении на этапе устойчивого экономического роста [14, с. 30]. Расселенческая (экистическая) подсистема выражает территориальную организацию населения и хозяйственной деятельности через систему расселения. Условия функционирования и взаимодействия между трудоспособным населением и субъектами хозяйствования задаются институциональной подсистемой, представленной государственными структурами и системой правовых норм. Посредством бюджетно-финансовой, налоговой, инвестиционной, демографической и миграционной политики обеспечивается стимулирование либо сдерживание экономической активности населения и субъектов хозяйствования. На темпы и характер регионального социально-экономического развития влияет введение преференциальных режимов.

Таким образом, методологическая схема комплексного географического исследования занятости населения на основе системно-структурного подхода может быть представлена в виде трех последовательных этапов: теоретико-методологического, расчетно-аналитического и конструктивно-прогностического (рисунок 2).



Рисунок 2 – Методологическая схема комплексного географического исследования занятости населения

На теоретико-методологическом этапе осуществляется определение объекта и предмета, постановка цели и задач исследования, обобщение опыта исследований занятости населения, установление ключевых исследовательских парадигм, разработка методики комплексного географического исследования, перечня и программы сбора статистической и эмпирической информации.

Расчетно-аналитический этап предполагает собственно проведение исследования на основе применения разнообразных методов для выявления тенденций, особенностей и закономерностей территориальной организации занятости населения. Этот этап представлен тремя крупными блоками задач: выявление пространственно-временных закономерностей формирования трудоспособного населения, установление территориальной трансформации занятости и экономико-географическая оценка резерва занятости. Для понимания механизма структурных сдвигов региональной занятости принципиальное значение приобретают факторы, ускоряющие формирование постиндустриального общества и структуры экономики, – глобализация и технологизация.

На конструктивном этапе исследования решаются конструктивно-прогностические задачи. Данный этап предполагает разработку механизмов оптимизации, достижения устойчивого развития территориальных систем и устойчивости занятости населения, разработку мер по совершенствованию региональной политики [9, с. 35]. Приоритетными задачами являются обоснование моделей управления занятостью, сочетающие согласованные параметры социально-экономического и демографического развития, проведение оценки территориально-дифференцированных рисков снижения занятости под воздействием технологизации и глобализационных процессов, разработка прогнозов численности и половозрастной структуры трудоспособного населения и трансформации территориально-отраслевой структуры экономики, предложение мер по совершенствованию территориальной организации населения.

Заклучение

Комплексное исследование территориальной организации занятости населения базируется на геопространственной парадигме и системно-структурном подходе. Сфера занятости рассматривается как система, включающая социально-демографическую, экономическую, расселенческую и институциональную подсистемы.

Географическая методология на основе междисциплинарного синтеза теоретических положений смежных наук и наличие собственной предметной области обуславливает объективную необходимость формирования самостоятельного научного направления в рамках социально-экономической географии – географии занятости населения. В фокусе данного направления находится территориальная структура и пространственная организация экономической активности населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О занятости населения : Закон Респ. Беларусь, 15 июня 2006 г., № 125-З // ЭТАЛОН-ONLINE. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Мн., 2025. – URL: https://etalonline.by/document/?regnum=h10600125&q_id=16058 (дата обращения: 15.01.2025).
2. Гуськова, И. В. Трансформация рынка труда России : моногр. / И. В. Гуськова. – Н. Новгород : НИМБ, 2010. – 288 с.
3. Коновалова, М. Е. Теоретические подходы в исследовании категории «занятость населения» / М. Е. Коновалова, О. Ю. Балашова // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11, ч. 4. – С. 975–979.
4. Антипова, Е. А. Геодемографические проблемы и территориальная структура сельского расселения Беларуси : моногр. / Е. А. Антипова. – Мн. : БГУ, 2008. – 326 с.
5. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов / А. Смит ; предисл. В. С. Афанасьева ; пер. с англ. под науч. ред. П. Н. Клюкина. – М. : Эксмо, 2007. – 960 с.
6. Симонд де Симонди, Ж. Новые начала политической экономии или о богатстве в его отношении к народонаселению / Ж. Симонд де Симонди ; пер., под ред. А. Ф. Кон. – М. : Соцэкгиз, 1937. – 386 с.

7. Институциональные основы новой стратегии пространственного развития российской экономики : моногр. / Отв. ред.: Е. М. Бухвальд, А. В. Виленский. – М. : Ин-т экономики РАН, 2023. – 340 с.
8. Катровский, А. П. Развитие территориальной структуры высшей школы России : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.24, 07.00.10 / Катровский Александр Петрович ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – М., 2003. – 39 с.
9. География высшей школы регионов России : моногр. / Под ред. А. П. Катровского, Т. И. Яськовой. – Смоленск : Изд-во Смол. гос. ун-та, 2020. – 322 с.
10. Лаврикова, Ю. Г. Кластеры как рыночный институт пространственного развития экономики региона : автореф. дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.05 / Лаврикова Юлия Георгиевна ; Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург, 2009. – 46 с.
11. Воронин, В. В. Территориальная организация трудовых ресурсов потенциала России : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.24 / Воронин Виктор Владимирович ; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж, 2006. – 448 л.
12. Рынок труда в России в условиях глобальных экономических кризисов: пандемия и санкционная война в период с 2014 г. по настоящее время : моногр. / Науч. рук.: Г. А. Гончаров [и др.]. – СПб. : СПбГУП, 2023. – Вып. 45. Социально-трудовые конфликты. – 240 с.
13. Трейвиш, А. И. Географическая полимасштабность развития России: город, район, страна и мир : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.24 / Трейвиш Андрей Ильич ; Ин-т географии РАН. – М., 2006. – 50 с.
14. Сарычева, Т. В. Методология комплексного статистического анализа занятости в Российской Федерации по видам экономической деятельности : дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.12 / Сарычева Татьяна Владимировна ; Рос. экон. ун-т им. Г. В. Плеханова. – М., 2017. – 415 л.

REFERENCES

1. O zanyatosti naseleniya : Zakon Resp. Belarus', 15 iyunya 2006 g., № 125-Z // ETALON-ONLINE. Zakonodatel'stvo Resp. Belarus' / Nats. tsentr pravovoi inform. Resp. Belarus'. – Mn., 2025. – URL: https://etalonline.by/document/?regnum=h10600125&q_id=16058 (data obra-shcheniya: 15.01.2025).
2. Gus'kova, I. V. Transformatsiya rynka truda Rossii : monogr. / I. V. Gus'kova. – N. Novgorod : NIMB, 2010. – 288 s.
3. Konovalova, M. Ye. Teoreticheskie podkhody v issledovanii kategorii «zanyatost' nasele-niya» / M. Ye. Konovalova, O. Yu. Balashova // Fundamental'nye issledovaniya. – 2012. – № 11, ch. 4. – S. 975–979.
4. Antipova, Ye. A. Geodemograficheskie problemy i territorial'naya struktura sel'skogo ras-seleniya Belarusi : monogr. / Ye. A. Antipova. – Mn. : BGU, 2008. – 326 s.
5. Smit, A. Issledovanie o prirode i prichinakh bogatstva narodov / A. Smit ; predisl. V. S. Afa-nas'eva ; per. s angl. pod nauch. red. P. N. Klyukina. – M. : Eksmo, 2007. – 960 s.
6. Simond de Simondi, Zh. Novye nachala politicheskoi ekonomii, ili o bogatstve v ego otnoshenii k narodonaseleniyu / Zh. Simond de Simondi ; per., pod red. A. F. Kon. – M. : Sotsekgiz, 1937. – 386 s.
7. Institutional'nye osnovy novoi strategii prostranstvennogo razvitiya rossiiskoi ekonomiki : monogr. / Отв. ред.: Е. М. Бухвал'д, А. В. Виленский. – М. : Ин-т экономики РАН, 2023. – 340 с.
8. Katrovskii, A. P. Razvitie territorial'noi struktury vysshei shkoly Rossii : avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk : 25.00.24, 07.00.10 / Katrovskii Aleksandr Petrovich ; Mosk. gos. un-t im. M. V. Lo-monosova. – M., 2003. – 39 s.
9. Geografiya vysshei shkoly regionov Rossii : monogr. / Pod red. A. P. Katrovskogo, T. I. Yas'kovoi. – Smolensk : Izd-vo Smol. gos. un-ta, 2020. – 322 s.
10. Lavrikova, Yu. G. Klastery kak rynochnyi institut prostranstvennogo razvitiya ekonomiki regiona : avtoref. dis. ... d-ra ekon. nauk : 08.00.05 / Lavrikova Yuliya Georgievna ; Ural. gos. ekon. un-t. – Ekaterinburg, 2009. – 46 s.
11. Voronin, V. V. Territorial'naya organizatsiya trudoresurnogo potentsiala Rossii : dis. ... d-ra geogr. nauk : 25.00.24 / Voronin Viktor Vladimirovich ; Voronezh. gos. un-t. – Voronezh, 2006. – 448 l.

12. Rynok truda v Rossii v usloviyakh global'nykh ekonomicheskikh krizisov: pandemiya i sanktsionnaya voyna v period s 2014 g. po nastoyashchee vremya : monogr. / Nauch. ruk.: G. A. Goncharov [i dr.]. – SPb. : SPbGUP, 2023. – Vyp. 45. Sotsial'no-trudovye konflikty. – 240 s.
13. Treivish, A. I. Geograficheskaya polimasshtabnost' razvitiya Rossii: gorod, raion, strana i mir : avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk : 25.00.24 / Treivish Andrei Il'ich ; In-t geografii RAN. – M., 2006. – 50 s.
14. Sarycheva, T. V. Metodologiya kompleksnogo statisticheskogo analiza zanyatosti v Rossiiskoi Federatsii po vidam ekonomicheskoi deyatel'nosti : dis. ... d-ra ekon. nauk : 08.00.12 / Sarycheva Tat'yana Vladimirovna ; Ros. ekon. un-t im. G. V. Plekhanova. – M., 2017. – 415 l.

Рукапіс надруковано у редакцію 14.10.2025

Александр Сергеевич Соколов

ст. преподаватель каф. экологии

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

Aleksandr Sokolov

Senior Lecturer of the Department of Ecology

of Francisk Skorina Gomel State University

e-mail: alsokol@tut.by

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ НАРОДОВ РОССИИ В БЕЛАРУСИ

Статья посвящена населению диаспор народов России в Беларуси и динамике его основных характеристик по данным переписей населения с 1926 г. Рассмотрены особенности изменения таких показателей, как абсолютная и относительная численность различных народов и их групп, степень урбанизированности, половая и лингвистическая структура. Устойчивый рост численности наблюдался в период 1959–1989 гг., за который она выросла в 2,9 раза, достигнув более 15 тыс. человек. В постсоветское время численность интенсивно снижалась (более чем в два раза к 2009 г.), основной причиной чего является этническая ассимиляция. Для населения группы народов Северного Кавказа характерно заметно более высокие темпы роста в период 1970–1989 гг., меньшие темпы убыли в постсоветское время, вследствие чего их доля в общем количестве населения народов России в Беларуси постоянно повышается. Закономерностями изменения лингвистической структуры является снижение доли населения с родным этническим языком в пользу русского языка, для населения северокавказских народов темпы снижения значительно ниже, чем для остальных.

Ключевые слова: *население Беларуси, народы России, этническое пространство, этническое разнообразие, чуваш, мордва, башкиры, осетины, родной язык, домашний язык.*

Dynamics of the Number and Linguistic Structure of Population of the Peoples of Russia in Belarus

The article is devoted to the population of Russia peoples' diasporas in Belarus and dynamics of its main characteristics according to the population censuses since 1926. The features of the change in such indicators as the absolute and relative number of different peoples and their groups, degree of urbanization, gender and linguistic structure are considered. A steady increase in the population was observed in the period 1959–1989, during which it grew 2.9 times, reaching more than 15 thousand people. In the post-Soviet period, the population has been rapidly declining – more than twofold by 2009, the main reason for which is ethnic assimilation. The population of the North Caucasus group of peoples is characterized by significantly higher growth rates in the period 1970–1989, lower rates of decline in the post-Soviet period, as a result of which their share in the total population of the peoples of Russia in Belarus is constantly increasing. The patterns of change in the linguistic structure are a decrease in the proportion of the population with a native ethnic language in favor of the Russian language; for the population of the North Caucasian peoples, the rate of decline is significantly less than for the rest.

Key words: *population of Belarus, peoples of Russia, ethnic space, ethnic diversity, Chuvash, Mordvins, Bashkirs, Ossetians, native language, spoken language.*

Введение

Этническое разнообразие является важным социальным ресурсом как способствующим обогащению культурного пространства, так и, согласно выводам ряда исследователей [1; 2], способным стимулировать экономический рост. В Республике Беларусь, помимо традиционно проживающих этносов (белорусы, русские, украинцы, поляки, евреи, литовцы, цыгане), которых можно рассматривать как коренное население Беларуси, проживает большое количество диаспор государств как постсоветского пространства, так и дальнего зарубежья.

Изучению национальный диаспор различных народов в Беларуси посвящено большое число исследований. Основная их часть касается титульных народов союзных республик бывшего СССР [3–5], другим народам постсоветского пространства, включая народы России, посвящены лишь отдельные публикации [6; 7].

Среди диаспор Беларуси можно выделить «старые» (основная часть которых прибыла в Беларусь в советское время, а сейчас демонстрирует снижение численности) и «новые» (мигрирующие в страну в настоящее время и в основном увеличивающие численность).

Диаспоры коренных народов России относятся к «старым», исследователи отмечают среди них выраженные процессы этнической ассимиляции.

Целью работы является выявление особенностей динамики численности населения народов России в Беларуси и его характеристик начиная с 1926 г.

Материалы и методика исследований

Основным материалом исследования стали данные переписей населения 1926–2019 гг. [8–10], отражающие численность и социально-демографические характеристики населения отдельных национальностей.

Объект исследования – этнические группы, численность которых в Беларуси была не менее 30 человек в 1989 г., когда перепись зафиксировала максимальное количество их представителей.

Результаты исследований и их обсуждение

В 1926 г. общая численность рассматриваемых народов России в БССР составляла 1947 человек, из которых 93,9 % были представители мордвы (11-е место среди всех национальностей Беларуси по численности населения) и чуваша (12-е место). Их население состояло почти полностью из мужчин (98,6 и 97,2 % соответственно), что было связано с тем, что почти все они являлись военнослужащими, размещенными на территории БССР.

Народы Северного Кавказа были представлены незначительно: их численность составляла 2,1 % от общей численности рассматриваемых народов России.

К 1939 г. численность населения народов России увеличилась почти в три раза, а северокавказских народов – в 25 раз, и последние стали составлять 15 % мигрантов.

В общей численности населения народов России продолжали доминировать мордва и чуваша (11 и 14 место среди всех национальностей Беларуси соответственно), однако их доля снизилась до 46 % за счет значительного увеличения численности других народов и увеличения этнического разнообразия, которое оценивалось с помощью индекса Шеннона. Если в 1926 г. численность, превышающую 100 человек, имели только мордва и чуваша, то в 1939 г. – уже 11 народов. Более 200 человек насчитывали 9 народов, более 500 – 5 (таблица 1).

Всего численность населения народов России в 1939 г. составляла около половины максимальной их численности в 1989 г. (таблица 2), лишь численность бурятов в 1939 г. была самой высокой за весь рассматриваемый период.

Следующая перепись населения прошла в 1959 г. и зафиксировала демографические последствия многочисленных событий, произошедших в межпереписной период и существенно повлиявших на все характеристики структуры населения.

Общая численность народов России снизилась на треть, причем численность народов Северного Кавказа показала заметно меньшие темпы снижения (таблица 3).

Существенно увеличилась доля женского населения, хотя оно и продолжило уступать мужскому в два раза.

Более половины численности населения продолжили составлять мордва и чуваша, которые переместились вниз в списке наиболее многочисленных народов (14-е и 16-е места), уступив титульным народам республик Закавказья.

С 1959 г. начался стабильный рост численности населения народов России, продолжившийся до 1989 г., когда она выросла почти в три раза. В 1970 г. чуваша

впервые вышли на первое место по численности, обогнав мордву; доля этих двух народов последовательно снижалась с 41,8 % в 1970 г. до 23,6 % в 1989 г.

Темпы прироста численности народов Северного Кавказа в 1979 г. превзошли аналогичный показатель для прочих народов, а в 1989 г. эта разница стала почти двукратной; доля этих северокавказских народов выросла соответственно с 16,1 % в 1970 г. до 21,6 % в 1989 г.

Таблица 1 – Динамика численности народов России в Беларуси в 1926–2009 гг.

Национальность	Год							
	1926	1939	1959	1970	1979	1989	1999	2009
Чуваши	739	1503	1061	1922	2243	3323	2242	1277
Мордва	1051	2042	1276	1737	2063	2620	1677	877
Башкиры	8	764	346	673	772	1252	1091	607
Удмурты	45	745	365	591	774	1205	844	481
Карелы	19	208	298	653	770	918	524	302
Марийцы	18	468	277	437	575	906	708	416
Коми	21	534	401	473	560	798	490	212
Осетины	18	421	424	567	622	797	759	554
Лезгины	5	83	110	165	244	652	470	404
Чеченцы	7	71	53	78	140	298	376	265
Аварцы		27	63	76	163	293	228	149
Коми-пермяки	3		53	117	211	285	182	109
Кабардинцы	3	106	70	87	118	178	157	69
Даргинцы		23	45	35	60	162	119	88
Кумыки		46	23	41	83	162	329	360
Буряты	1	231	108	87	148	158	89	53
Якуты	1	9	33	43	81	139	55	52
Адыгейцы		113	45	57	57	139	46	34
Лакцы		17	15	47	49	120	72	64
Ингуши	1	29	19	53	57	116	129	88
Калмыки	1	96	70	34	48	102	51	35
Табасараны		2	13	20	36	102	58	57
Абазины		9	4	7	18	78	7	13
Хакасы		64	24	26	41	72	33	25
Ненцы		2	1	20	21	60	34	49
Карачаевцы		29	22	43	28	56	17	22
Черкесы	6		12	19	34	50	19	13
Балкарцы		17	15	16	67	43	23	15
Ногайцы		22	4	5	20	40	14	8
Вепсы		25	10	32	13	33	12	8
Всего	1947	7706	5260	8161	10 116	15 157	10 855	6706
Из них народы Северного Кавказа	40	1015	937	1316	1796	3286	2823	2203
Другие народы	1907	6691	4323	6845	8320	11 871	8032	4503

С 1989 г. численность населения народов России стала последовательно уменьшаться и к 2009 г. снизилась более чем в два раза, причем темпы снижения в 1999–2009 гг. были заметно выше, чем в 1989–1999 гг.

Темпы снижения численности народов Северного Кавказа были в два раза ниже, чем у остальных народов.

В результатах переписи населения 2019 г. приводятся сведения только о первых по численности населения 29 народах, в число которых входят чувашы (21-е место), мордва (24-е место) и башкиры (28-е место).

К 2019 г. численность чувашей снизилась в 1,9 раза по сравнению с 2009 г. и в 1989 г. стала составлять 20 % численности (убыль за 10 лет – 48 %). Численность

мордвы снизилась в 2,1 раза (16,3 % численности в 1989 г., убыль за 10 лет – 51 %), башкир – в 1,8 раза (27,1 % численности в 1989 г., убыль за 10 лет – 44 %).

Продолжил снижение и показатель числа мужчин на 1000 женщин: у чувашей с 752 в 2009 г. до 652 в 2019 г., у мордвы с 874 до 690, у башкир с 984 до 948.

Столь резкое снижение численности произошло вследствие миграций, естественной убыли и особенно этнической ассимиляции.

После обретения Республикой Беларусь независимости проживающие в Беларуси народы России, ранее объединенные с белорусами общим государством, на всей территории которого они являлись «домашними» и единым институтом советского гражданства, были поставлены перед необходимостью найти свою нишу в социокультурной среде; перед ними возникла необходимость решить проблему национальной и общественной самоидентификацией [11].

Таблица 2 – Динамика численности народов России в Беларуси в 1926–2009 гг. к уровню 1989 г., %

Национальность	Год							
	1926	1939	1959	1970	1979	1989	1999	2009
Чуваши	22,2	45,2	31,9	57,8	67,5	100	67,5	38,4
Мордва	40,1	77,9	48,7	66,3	78,7	100	64,0	33,5
Башкиры	0,6	61	27,6	53,8	61,7	100	87,1	48,5
Удмурты	3,7	61,8	30,3	49	64,2	100	70	39,9
Карелы	2,1	22,7	32,5	71,1	83,9	100	57,1	32,9
Марийцы	2	51,7	30,6	48,2	63,5	100	78,1	45,9
Коми	2,6	66,9	50,3	59,3	70,2	100	61,4	26,6
Осетины	2,3	52,8	53,2	71,1	78	100	95,2	69,5
Лезгины	0,8	12,7	16,9	25,3	37,4	100	72,1	62
Чеченцы	2,3	23,8	17,8	26,2	47	100	126,2	88,9
Аварцы		9,2	21,5	25,9	55,6	100	77,8	50,9
Коми-пермяки	1,1		18,6	41,1	74	100	63,9	38,2
Кабардинцы	1,7	59,6	39,3	48,9	66,3	100	88,2	38,8
Даргинцы		14,2	27,8	21,6	37	100	73,5	54,3
Кумыки		28,4	14,2	25,3	51,2	100	203,1	222,2
Буряты	0,6	146,2	68,4	55,1	93,7	100	56,3	33,5
Якуты	0,7	6,5	23,7	30,9	58,3	100	39,6	37,4
Адыгейцы		81,3	32,4	41	41	100	33,1	24,5
Лакцы		14,2	12,5	39,2	40,8	100	60	53,3
Ингуши	0,9	25	16,4	45,7	49,1	100	111,2	75,9
Калмыки	1	94,1	68,6	33,3	47,1	100	50	34,3
Табасараны		2,0	12,7	19,6	35,3	100	56,9	55,9
Абазины		11,5	5,1	9	23,1	100	9	16,7
Хакасы		88,9	33,3	36,1	56,9	100	45,8	34,7
Ненцы		3,3	1,7	33,3	35	100	56,7	81,7
Карачаевцы		51,8	39,3	76,8	50	100	30,4	39,3
Черкесы	12		24,0	38	68	100	38	26
Балкарцы		39,5	34,9	37,2	155,8	100	53,5	34,9
Ногайцы		55	10	12,5	50	100	35	20
Вепсы		75,8	30,3	97	39,4	100	36,4	24,2
Всего	12,8	50,8	34,7	53,8	66,7	100	71,6	44,2
Из них народы Северного Кавказа	1,2	30,9	28,5	40	54,7	100	85,9	67
Другие народы	16,1	56,4	36,4	57,7	70,1	100	67,7	37,9

Таблица 3 – Изменение характеристик населения народов России в Беларуси в 1926–2009 гг.

	Год							
	1926	1939	1959	1970	1979	1989	1999	2009
Цепной прирост, %								
Все народы	–	295,8	–31,7	55,2	24,0	49,8	–28,4	–38,2
Народы Северного Кавказа	–	2437,5	–7,7	40,4	36,5	83	–14,1	–22
Другие народы	–	250,9	–35,4	58,3	21,5	42,7	–32,3	–43,9
Степень урбанизированности, %								
Все народы	93,8	...	57,8	...	...	77,5	75,2	76,9
Народы Северного Кавказа	77,5	...	52,3	...	...	80,6	80,6	81,9
Другие народы	94,1	...	58,9	...	...	76,7	73,3	74,5
Все население Беларуси	17,6		30,8			65,4	69,3	74,3
Число мужчин на 1000 женщин								
Все народы	28 060	...	2116	...	...	1190	994	956
Народы Северного Кавказа	3000	...	3338	...	...	1608	1573	1544
Другие народы	32 456	...	1937	...	...	1098	846	757
Соотношение численности								
Отношение ДН/НСК	47,7	6,6	4,6	5,2	4,6	3,6	2,8	2
Индекс разнообразия Шеннона	2,08	3,34	3,46	3,43	3,53	3,64	3,63	3,73

Примечание – НСК – народы Северного Кавказа; ДН – другие народы.

В этих условиях значительное число населения диаспор, длительно проживающих в Беларуси, выбирает титульную белорусскую общегражданскую идентичность, отказываясь от статуса национального меньшинства, или русскую идентичность, значительно более распространенную в Беларуси, чем их этническая. При этом в качестве «рудимента» предыдущей идентичности в качестве родного языка при переписи первое время еще может указываться этнический язык. В таблице 4 показана динамика численности населения, указавшего родные языки титульных народов России, и доля среди них населения, идентифицирующего себя как белорусов и русских. За 2009–2019 гг. численность назвавших этнические языки родными снизилась в 2,4 раза, а доля среди них назвавших себя белорусами или русскими выросла с 8 до 15 %.

Таблица 4 – Численность населения Беларуси, назвавшего языки народов России родными, и доля в ней назвавших себя белорусами и русскими в 2009–2019 гг.

Родной язык	Год					
	2009	2019	2009	2019	2009	2019
	Всего, человек		белорусы, %		русские, %	
Языки народов Дагестана	1124	388	4,5	5,7	0,6	2,1
Языки других народов Северного Кавказа	571	340	5,8	21,2	1,2	8,2
Языки финно-угорских народов	653	301	4	15,3	6,7	7
Горно-алтайские и хакаские языки	147	22	10,2	13,6	1,4	9,1
Языки тюркских народов Поволжско-Уральского региона (кроме татарского)	551	255	4,4	4,7	4,7	4,3
Палеоазиатские и тунгусо-манчжурские языки	229	69	10,9	7,2	0,9	1,4

Еще одним существенным фактором ассимиляции является межэтническая брачность в условиях небольшого количества представителей этнического меньшинства и его дисперсного расселения. Выходцы из таких семей, как правило, выбирают титульную идентичность, поэтому среди населения рассматриваемых народов очень низкая доля населения в молодых возрастах (для примера на рисунке приведена половозрастная пирамида чувашей).

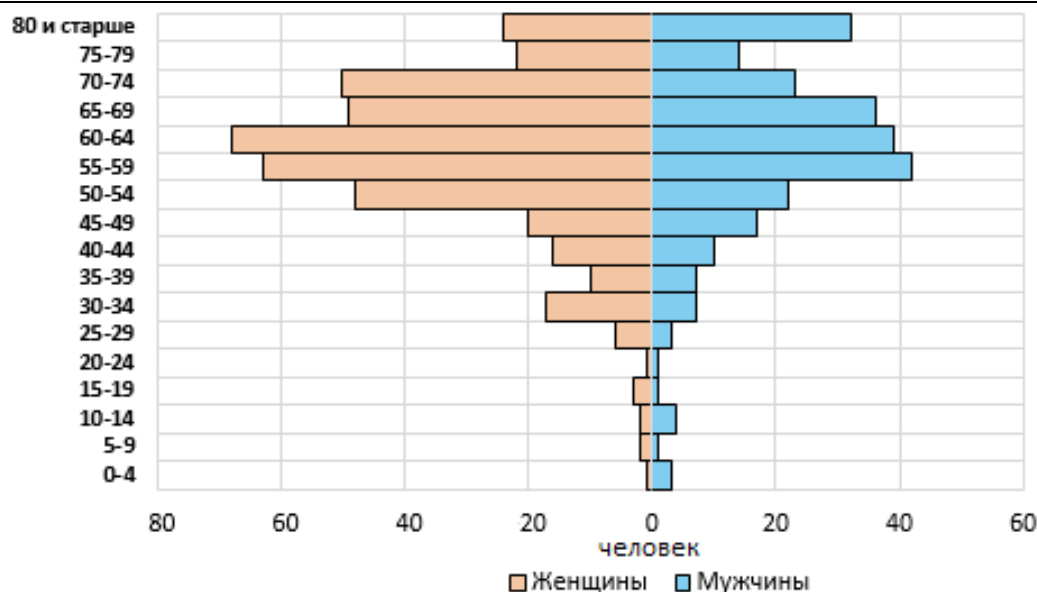


Рисунок – Половозрастная пирамида чувашского населения Беларуси, 2019 г.

Влияет на этническую ассимиляцию и ассимиляция языковая, когда представители народов России выбирают в качестве родного языка наиболее распространенный в Беларуси русский язык. В таблице 5 показана динамика доли родных языков среди населения народов России в 1926, 1959 и 2009 гг. Хорошо заметен тренд на уменьшение доли этнических языков и увеличение доли русского языка при незначительной доле белорусского языка. У народов Северного Кавказа доля этнических языков как родных снижается намного меньшими темпами и в 2009 г. была в два раза выше, чем у других народов.

Таблица 5 – Родные языки народов России в Беларуси в 1926, 1959 и 2009 гг., %

Национальность	Год								
	1926	1959	2009	1926	1959	2009	1926	1959	2009
	Язык этноса			Русский язык			Белорусский язык		
Чуваши	93,4	41,7	27,7	5	55,4	67,4	1,5	2,9	2,7
Мордва	86,4	33,7	17,8	13,3	61,6	77,1	0,2	4,5	2,7
Башкиры	75	59,2	22,2	25	32,1	68,9		2,3	2,3
Удмурты	77,8	42,7	19,5	15,6	54,2	76,7	4,4	2,7	1,9
Карелы	52,6	15,1	11,9	47,4	70,5	78,5		3,4	4,6
Марийцы	94,4	58,5	26,2	5,6	40,4	67,8		1,1	2,6
Коми	47,6	50,6	29,2	42,9	45,4	64,2	9,5	4	4,2
Осетины	33,3	52,1	25,8	66,7	43,2	63,5		2,1	4,2
Лезгины	20	58,2	38,9	80	24,5	49,5		8,2	4,2
Чеченцы	71,4	79,2	56,6	28,6	20,8	35,8			1,9
Аварцы		85,7	49		12,7	39,6		1,6	2
Коми-пермяки	100	26,4	8,3		60,4	81,7		5,7	3,7
Кабардинцы	66,7	68,6	40,6	33,3	25,7	58,0		5,7	
Даргинцы		86,7	40,9		8,9	51,1		4,4	2,3
Кумыки		8,7	70,8		13	18,3			0,8
Буряты		49,1	15,1	100	49,1	77,4		1,9	3,8
Якуты	100	51,5	21,2		36,4	73,1		12,1	1,9
Адыгейцы		35,6	23,5		60	55,9		4,4	5,9
Лакцы		53,3	21,9		33,3	73,4		13,3	1,6
Ингуши		63,2	29,5	100	36,8	55,7			8
Калмыки		60	17,1	100	40	65,7			5,7

Окончание таблицы 5

Табасараны		69,2	54,4		15,4	31,6		15,4	5,3
Абазины		75	15,4			69,2		25	
Хакасы		41,7	12		50	76		8,3	
Ненцы			4,1			71,4		100	12,2
Карачаевцы		18,2	40,9		40,9	59,1			
Черкесы	83,3	58,3	30,8	16,7	33,3	61,5			7,7
Балкарцы		80	26,7		13,3	73,3		6,7	
Ногайцы		100	25			50			
Вепсы		30	12,5		70	87,5			
Всего	87,3	44,2	28,8	11,7	50,2	63,6	0,9	3,4	3
Из них народы Северного Кавказа	47,5	58,2	42,8	52,5	33,1	47		3,5	3
Другие народы	88,1	41,2	21,9	10,9	53,9	71,8	0,9	3,4	2,9

Более подробно показана динамика лингвистической структуры крупнейших народов России (таблица 6), в которой практически отсутствует население с домашним этническим языком, а доля русского как родного к 2019 г. составила более 70 %.

Таблица 6 – Родные и домашние языки населения наиболее многочисленных в Беларуси народов России, %

Национальность	Год								
	1999	2009	2019	1999	2009	2019	1999	2009	2019
	Язык этноса			Русский язык			Белорусский язык		
Родной язык									
Чуваши	36,8	27,7	23,8	58,3	67,4	71,5	4,7	2,7	3,9
Мордва	29,5	17,8	18,3	65,1	77,1	79,6	5,2	2,7	1,6
Башкиры	26,3	22,2	18	48,1	68,9	74,3	23,1	2,3	2,9
Домашний язык									
Чуваши	0,6	0,2		93,6	93,8	97,4	5,7	4,3	2,6
Мордва	0,5	0,2	0,2	93,6	94,6	97,9	6	3,6	1,2
Башкиры	0,6	0,5	0,3	85,6	96,4	96,5	13,4	1,5	2,9

Заключение

Основными чертами динамики численности населения народов России в Беларуси является ее увеличение до 1989 г., когда она достигла максимума (более 15 тыс. человек), а затем наблюдалось ее интенсивное снижение. Для этих народов всегда была характерна более высокая степень урбанизированности, чем для населения Беларуси в целом, однако в настоящее время эти показатели сравнялись. Также характерно постоянное увеличение числа женщин и доли населения, считающего родным русский язык. Население северокавказских народов отличается постоянно увеличивающейся долей в общем количестве населения народов России, большей степенью урбанизированности, более высоким числом мужчин на 1000 женщин (в два раза выше, чем у других народов), более низкими темпами уменьшения доли этнического и увеличения доли русского языка как родного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рожина, Е. А. Этническое разнообразие и экономическая диверсификация: анализ регионов России / Е. А. Рожина, Р. И. Васильева // Народонаселение. – 2024. – Т. 27, № 1. – С. 82–94.
2. Суслов, Н. И. Этническое разнообразие в российских регионах и экономический рост: теоретическая модель и ее апробация на панельных данных / Н. И. Суслов, Е. Н. Исупова, А. И. Иванова // Проблемы прогнозирования. – 2022. – № 2 (191). – С. 35–47.

3. Соколов, А. С. Структура и динамика населения диаспор народов Закавказья и Средней Азии в Белоруссии / А. С. Соколов // Псковский регионологический журнал. – 2023. – Т. 19, № 3. – С. 53–74.
4. Злотников, А. Г. Диаспоры кавказских народов в Республике Беларусь / А. Г. Злотников, Р. В. Маньшин // Демографический и миграционный портрет Кавказа. Серия «Демография. Социология. Экономика». – 2019. – Т. 5, № 2. – С. 115–124.
5. Tichomirow, A. Armenians in Belarus Today and in the Past / A. Tichomirow // Armenians in Post-Socialist Europe / Eds. K. Siekierski and S. Troebst. – Köln ; Weimar ; Wien, 2016. – P. 107–120.
6. Шульгов, Е. Н. Динамика численности мордвы в союзных республиках СССР и миграции мордовского населения / Е. Н. Шульгов // Самарский научный вестник. – 2018. – № 2 (23). – С. 174–179.
7. Холышкова, А. Д. Динамика чувашского населения Беларуси между переписями 2009 и 2019 гг. / А. Д. Холышкова // XVI Машеровские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых : в 2 т. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2022. – Т. 2. – С. 142–144.
8. Переписи населения Российской Империи, СССР, 15 новых независимых государств // Демоскоп. – URL: <https://www.demoscope.ru/weekly/ssp/census.php?cy=2> (дата обращения: 16.06.2025).
9. Национальный состав Республики Беларусь и распространенность языков : стат. сб. / Редкол.: Г. И. Гасюк (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2001. – 451 с.
10. Итоговые данные переписей населения Республики Беларусь / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – URL: <https://census.belstat.gov.by> (дата обращения: 16.06.2025).
11. Чаптыкова Т. И. Национальная диаспора как объект этносоциологического исследования : автореф. дис. ... канд. социол. наук : 22.00.01 / Чаптыкова Татьяна Ивановна ; Рос. акад. гос. службы при Президенте Рос. Федерации. – М., 1997. – 19 с.

REFERENCES

1. Rozhina, Ye. A. Etnicheskoe raznoobrazie i ekonomicheskaya diversifikatsiya: analiz regionov Rossii / Ye. A. Rozhina, R. I. Vasil'eva // Narodonaselenie. – 2024. – Т. 27, № 1. – С. 82–94.
2. Suslov, N. I. Etnicheskoe raznoobrazie v rossiiskikh regionakh i ekonomicheskii rost: teoreticheskaya model' i ee aprobatsiya na panel'nykh dannyykh / N. I. Suslov, Ye. N. Isupova, A. I. Ivanova // Problemy prognozirovaniya. – 2022. – № 2 (191). – С. 35–47.
3. Sokolov, A. S. Struktura i dinamika naseleniya diaspor narodov Zakavkaz'ya i Srednei Azii v Belorussii / A. S. Sokolov // Pskovskii regionologicheskii zhurnal. – 2023. – Т. 19, № 3. – С. 53–74.
4. Zlotnikov, A. G. Diaspory kavkazskikh narodov v Respublike Belarus' / A. G. Zlotnikov, R. V. Man'shin // Demograficheskii i migratsionnyi portret Kavkaza. Seriya «Demografiya. Sotsiologiya. Ekonomika». – 2019. – Т. 5, № 2. – С. 115–124.
5. Tichomirow, A. Armenians in Belarus Today and in the Past / A. Tichomirow // Armenians in Post-Socialist Europe / Eds. K. Siekierski and S. Troebst. – Köln ; Weimar ; Wien, 2016. – P. 107–120.
6. Shul'gov, Ye. N. Dinamika chislennosti mordvy v soyuznykh respublikakh SSSR i migratsii mordovskogo naseleniya / Ye. N. Shul'gov // Samarskii nauchnyi vestnik. – 2018. – № 2 (23). – С. 174–179.
7. Kholyushkova, A. D. Dinamika chuvashskogo naseleniya Belarusi mezhdu perepisyami 2009 i 2019 gg. / A. D. Kholyushkova // XVI Masherovskie chteniya : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh : v 2 t. – Vitebsk : VGU im. P. M. Masherova, 2022. – Т. 2. – С. 142–144.
8. Perepisi naseleniya Rossiiskoi Imperii, SSSR, 15 novykh nezavisimyykh gosudarstv // Demoskop. – URL: <https://www.demoscope.ru/weekly/ssp/census.php?cy=2> (data obrashcheniya: 16.06.2025).
9. Natsional'nyi sostav Respubliki Belarus' i rasprostranennost' yazykov : stat. sb. / Redkol.: G. I. Gasyuk (gl. red.) [i dr.]. – Mн., 2001. – 451 s.
10. Itogovye dannye perepisei naseleniya Respubliki Belarus' / Nats. stat. kom. Resp. Belarus'. – URL: <https://census.belstat.gov.by> (data obrashcheniya: 16.06.2025).
11. Chaptykova T. I. Natsional'naya diaspora kak obyekt etnosotsiologicheskogo issledovaniya : avtoref. dis. ... kand. sotsiol. nauk : 22.00.01 / Chaptykova Tat'yana Ivanovna ; Ros. akad. gos. sluzhby pri Prezidente Ros. Federatsii. – М., 1997. – 19 s.

Дмитрий Петрович Плакс*канд. геол.-минерал. наук, доц., доц. каф. «Горные работы»
Белорусского национального технического университета***Dmitry Plax***Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining Work
of Belarusian National Technical University**e-mail: agnatha@mail.ru*

ЗОНАЛЬНОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ И КОРРЕЛЯЦИЯ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БЕЛАРУСИ ПО ИХТИОФАУНЕ

Анализ вертикального распределения остатков ихтиофауны в девонских отложениях на территории Беларуси позволил выделить в них три местные ихтиозоны и проследить двадцать восемь ихтиозон, выделенных ранее по ихтиофауне для Главного девонского поля и Тимано-Печорской провинции. Зоны по бесчелюстным и рыбам позволяют определять возраст вмещающих пород, выполнять расчленение и проводить корреляцию девонских отложений как внутри исследуемого района, так и с сопредельными и далеко удаленными регионами, где отсутствуют ортостратиграфические группы беспозвоночных, на основе которых построены зональные международные шкалы, но с достаточной полнотой изучены позвоночные.

Ключевые слова: бесчелюстные, рыбы, ихтиофауна, девонские отложения, ихтиозоны, корреляция, позвоночные, стратиграфия, Беларусь.

Zonal Division and Correlation of the Devonian Deposits of Belarus on Ichthyofauna

The analysis of the vertical distribution of the remains of ichthyofauna in the Devonian deposits in the territory of Belarus made it possible to identify three local ichthyozones in them and to trace twenty eight ichthyozones previously distinguished by ichthyofauna for the Main Devonian Field and the Timan-Pechora region. The ichthyozones allow us to determine the age of the host rocks, to perform the subdivision and correlation of Devonian deposits both within the studied area and with adjacent and remote regions where the orthostratigraphic groups of invertebrates on the basis of which international zonal scales are constructed are absent, but where vertebrates have been studied with sufficient completeness.

Key words: agnathans, fishes, Devonian deposits, ichthyofauna, ichthyozones, correlation, stratigraphy, vertebrates, Belarus.

Введение

Ихтиофауна широко распространена в девоне Беларуси. Она представлена телодонтами, гетеростраками, остеостраками, плакодермами, хрящевыми рыбами, акантодами, саркоптеригиями и актиноптеригиями. Из перечисленных групп на территории республики телодонты и чрезвычайно редкие остеостраки известны в основном только из отложений нижнего девона. Гетеростраки известны преимущественно из отложений нижнего, среднего и низов верхнего девона. Акантоды и плакодермы широко распространены в отложениях нижнего, среднего и верхнего девона. Саркоптеригии и актиноптеригии наиболее часто встречаются в отложениях среднего и верхнего девона, а хрящевые рыбы известны главным образом из верхнедевонских отложений.

Изучение указанных групп бесчелюстных и рыб имеет большое практическое значение, т. к. они широко используются для датировки возраста, расчленения и корреляции девонских отложений Беларуси. На территории страны в девоне их остатки в основном встречаются в терригенных и терригенно-карбонатных образованиях, в меньшей степени – в карбонатных отложениях. Представлены они в основном преимущественно скелетными элементами (туберкулами, чешуями, тессерами, зубами,

плавниковыми шипами, пластинками и иными обломками элементов скелета) и чрезвычайно редко частично сочлененными скелетами.

Девонская ихтиофауна на территории Беларуси имеет длительную историю изучения. На первых этапах ее открытия в девонских отложениях страны она изучалась очень поверхностно, т. к. ее находки были единичными, и никто целенаправленно ее поисками в этих отложениях не занимался. По этим причинам таксономическое разнообразие, фациальное распределение, стратиграфическая ценность ихтиофауны были неясными. С 1980 по 2000 г. были предприняты более целенаправленные поиски остатков ихтиофауны, главным образом акантод из нижне- и среднедевонских отложений Беларуси, которые позволили Ю. Ю. Валюквичюсу [1–4] за этот период исследований выяснить их стратиграфическую значимость для вышеуказанных отложений. Остальные группы позвоночных (телодонты, гетеростраки, плакодермы, саркоптеригии, актиноптеригии и др.) все так же оставались очень слабо изученными на территории страны. Их таксономический состав, фациальная приуроченность и стратиграфический потенциал не были в полной мере выясненными. Впоследствии благодаря комплексным исследованиям автора изученность девонской ихтиофауны на территории Беларуси существенно возросла [5]. Ее стратиграфическая значимость для девонских, а именно верхнеэмско-франских отложений, была обоснована, и впервые на ее основе для этих отложений была разработана зональная шкала [6; 7], которая затем была введена в Стратиграфическую схему девонских отложений Беларуси 2010 г. [8]. К настоящему времени автором получено много новых данных по девонской ихтиофауне Беларуси. Поэтому назрела острая необходимость обновления зональной шкалы по ихтиофауне для девона страны.

Материал и методы исследования

Материалом исследований послужили различные скелетные элементы бесчелюстных и рыб, которые собирались в течение более 20 лет из кернов скважин, а также естественных и искусственных обнажений, вскрывших девонские отложения на территории Беларуси. При проведении исследований также широко использовались литературные источники, в которых были упомянуты и описаны находки девонской ихтиофауны, позволившие более полно проанализировать комплексы позвоночных на территории страны. Изучение остатков ихтиофауны осуществлялось с применением световой и электронной микроскопии, томографического метода, метода изучения гистологического строения остатков в шлифах, в пришлифовках и методов биостратиграфического и литолого-фациального анализа.

Результаты и их обсуждение

Проведенные многолетние исследования по изучению девонской ихтиофауны Беларуси позволил автору установить 27 ихтиокомплексов и 15 подкомплексов позвоночных (для витебского, полоцкого, саргаевского, воронежского, старобинского, боровского и калиновского комплексов) региональных стратиграфических подразделений девона Беларуси и провести биостратиграфическое расчленение отложений, а также выяснить особенности распределения таксонов позвоночных в различных фациальных обстановках девонских отложений, т. к. в зависимости от фациальной принадлежности пород, их литологического состава меняется стратиграфическая важность отдельных групп ихтиофауны.

Таким образом, на основе детального изучения комплексов позвоночных, пространственных в девонских отложениях страны, автором предложены три местные ихтиозоны в девоне Беларуси и прослежены двадцать восемь ихтиозон (таблицы 1 и 2), выделенных ранее по позвоночным для Главного девонского поля и Тимано-

Печорской провинции. Все выделенные новые и ранее прослеженные зоны по ихтиофауне предлагается внести в региональную часть новой Стратиграфической схемы девонских отложений Беларуси. Установленные зоны по ихтиофауне обеспечивают детальное расчленение и корреляцию девонских отложений Беларуси. Благодаря отчетливой смене по видаминдексам и ассоциаций ихтиофаунистическая зональность приобретает важное значение в девонских отложениях республики.

Таблица 1 – Ихтиозоны для лохковско-франских отложений Беларуси (по [6] с дополнениями и уточнениями)

Международная (Общая) стратиграфическая шкала, [9-10]						Региональные стратиграфические подразделения [8]		Ихтиофауна		
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Надгоризонт, горизонт	Слои	Зона				
						по агнатам	по плакодермам	по акантодам		
Девонская	Верхний	Франский	Верхний	Чернинский						
				Сколодинский						
				Анисимовский						
				Кустовницкий						
				Воронежский	Птичские					
					Стреличевские					
				Речицкий		<i>Traquairosteus ? falcatus</i>	<i>Bothriolepis maxima</i>			
				Средний	Семилужский	Верховские				
						Буйновичские	<i>Psammosteus megalopteryx</i>			
						Моисеевские				
	Нижний	Саргаевский	Ведричские							
			Сарьянские	<i>Psammosteus maeandrinus</i>	<i>Bothriolepis cellulosa</i>					
			Скрыгаловские							
	Средний	Живетский	Верхний	Ланский		<i>Psammosteus praecursor</i>	<i>Bothriolepis obrutschewi</i>	<i>Devononchus concinnus</i>		
				Убортский		<i>Placosteus undulatus</i>	<i>Bothriolepis prima</i>			
			Средний			<i>Psammolepis paradoxa</i>	<i>Asterolepis ornata</i>			
				Полоцкий	Морочские	<i>Psammolepis abavica</i>	<i>Microbrachius</i>	<i>Diplacanthus gravis</i>		
					Столинские	<i>Pycnosteus tuberculatus</i>	<i>Asterolepis dellei</i>			
			Нижний	Горыньские						
				Эйфельский	Верхний	Костюковичский	<i>Schizosteus striatus</i>	<i>Coccosteus cuspidatus</i>	<i>Nostolepis kernavensis</i>	
Средний			Городокский		<i>Pycnolepis splendens</i>	<i>Asterolepis estonica</i>	<i>Ptychodictyon rimosum</i>			
Нижний			Освейский				<i>Cheiracanthoides estonicus</i>			
Нижний			Эмский	Верхний	Адровский		<i>Guerichosteus heterolepis</i>		<i>Laliacanthus singularis</i>	
	Витебский	Лепельские			<i>Skamolepis fragilis</i>	<i>Valentinaspis profundus</i>				
	Правский									
		Поховковский		Чортковский		<i>Traquairaspis</i>		<i>Nostolepis minima</i>		
Борцовский			<i>Turinia pager</i>	<i>Nikolivia gutta</i>						

Основными критериями при выделении ихтиозон были:

1) интервал распространения таксона, охватывающий полный стратиграфический диапазон;

2) первое появление таксона в определенной части разреза и максимальная частота его встречаемости;

3) интервал, заключенный между первым появлением какого-либо характерного таксона данной зоны и первым появлением характерного таксона вышележащей зоны;

4) интервал, заключенный между уровнем исчезновения характерного таксона подстилающей зоны и характерного таксона рассматриваемой зоны [11].

Таблица 2 – Ихтиозоны для фаменских отложений Беларуси

Международная (Общая) стратиграфическая шкала, [9, 10]				Региональные стратиграфические подразделения [8]		Ихтиофауна
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Надгоризонт	Слои	
Д е в о н с к а я	В е р х н и й	Ф а м е н с к и й	В е р х н и й	Калиновский	Велижские	
					Повчинские	
				Боровской	Верхне-боровские	
					Нижне-боровские	
				Ствижский		
				Старобинский	Верхнестаробинские	
					Нижнестаробинские	
			С р е д н и й	Стрешинский	Любанские	
					Осовецкие	
				Оресский	Шатилковские	
					Найдовские	
				Лебедянский	Залесские	
					Боричевские	
			Н и ж н и й	Петриковский		<i>Phoebodus tumerae</i>
				Елецкий	Дроздовский	<i>Phoebodus gothicus</i>
					Туровский	
				Задонский	Вишанский	
					Тремлянский	
				Тонежский		<i>Phoebodus typicus</i>
					Кузьмичевский	
				Домановичский		

Выделенные ихтиозоны и зональные комплексы позвоночных позволяют проводить корреляцию девонских отложений Беларуси с синхронными комплексами как внутри белорусского региона, так и с сопредельными, несопредельными и далеко удаленными регионами, где позвоночные изучены с достаточной полнотой. Ниже приводятся зоны по ихтиофауне и корреляции по ним.

Отложения борщовского горизонта лохковского яруса нижнего девона на территории Беларуси распространены только в юго-западной части страны. На территории Волынской моноклинали борщовскому горизонту соответствуют отложения домачевской и нижней части дубицкой свит, а на территории Подляско-Брестской впадины – образования каменюкской свиты [8; 12; 13]. Отложения домачевской свиты и, по всей видимости, низы дубицкой свиты являются аналогами каменюкской свиты и отвечают телодонтовой зоне *Nikolivia gutta* [14] и нижней части акантодовой зоны *Nostolepis minima* [4; 15]. По ихтиофауне они сопоставляются с отложениями примерно нижней и средней части тильжеской свиты (горизонта) стран Балтии [16–18], с породами борщовской свиты (горизонта) Волино-Подоллии [15; 19; 20], с нижней частью пироговской толщи центральных районов Восточно-Европейской платформы [15], с породами нижней части диттона Англии (Welsh Borders) [21], со свитой Френкельригген серии Ред Бей Западного Шпицбергена [22; 23], верхней частью реликтовской свиты Новой Земли [24], с образованиями североземельской и нижней половиной подъемнинской свиты архипелага Северная Земля [23; 25–27], приблизительно с нижней частью овинпармских отложений Тимано-Печорской провинции [15; 28; 29] и белокаменскими слоями Центрального Таймыра [15; 30].

Отложения чортковского горизонта лохковского яруса нижнего девона на территории Беларуси распространены только в пределах Волынской моноклинали. Здесь они представлены верхней частью дубицкой свиты и орховской свитой [8; 12; 13], которые отвечают по акантодам – верхней части зоны *Nostolepis minima* [4; 15] и коррелируются с верхней половиной средней части и верхней частью тильжеской свиты (горизонта) стран Балтии [15], с большей частью (кроме самой верхней части) чортковского горизонта Волино-Подоллии [19], с верхней частью пироговской толщи центральных районов Восточно-Европейской платформы [15], приблизительно с низами средней части диттона Англии [21], со свитой Бен Невис серии Ред Бей Шпицбергена [23], с верхней частью овинпармских отложений Тимано-Печорской провинции [15; 28; 29], с верхней половиной подъемнинской свиты архипелага Северная Земля [25–27] и с нижней частью урюмских слоев Центрального Таймыра [15; 30]. В целом по ихтиофауне отложения борщовского и чортковского горизонтов на территории Беларуси соответствуют гетеростраковой зоне «*Traquairaspis*», телодонтовой зоне *Turinia pagei* [22]) и акантодовой зоне *Nostolepis minima* [4; 14; 15]. Отложения борщовского и чортковского горизонтов по ихтиофауне также можно сопоставить с образованиями михайловских слоев Уфимского амфитеатра Среднего Урала [31].

Ихтиофауна из отложений верхнего лохкова, прагиена и нижнего эмса нижнего девона на территории Беларуси неизвестна из-за отсутствия этих отложений [8; 13].

Отложения витебского горизонта верхнего эмса нижнего девона широко развиты на территории Беларуси. В пределах Оршанской впадины, на Жлобинской седловине, на Северо-Припятском плече, на северном, северо-восточном, восточном и юго-восточном склонах Белорусской антеклизы витебскому горизонту соответствует витебская свита, на территории белорусской части Балтийской синеклизы и Латвийской седловины – древятская свита [8; 13]. На большей части территории распространения витебский горизонт по литологическим признакам подразделяется на обольские и лепельские слои [8]. В пределах Припятского прогиба отложения витебского горизонта установлены только в его краевой западной и северной частях, где они

представлены залютической свитой, в центральных и восточных районах северной зоны они охарактеризованы цидовской свитой, и в юго-восточных районах северной зоны – чистолужской свитой [8]. Отложения обольских и лепельских слоев витебского горизонта на территории страны отвечают телодонтовой зоне *Skamolepis fragilis*, плакодермовой зоне *Valentinaspis profundus*, акантодовой зоне *Laliacanthus singularis* [4; 6; 7; 32; 33]. Они коррелируются по ихтиофауне с образованиями резекненского горизонта (свиты) стран Балтии [15; 16; 34; 35], нижней частью ряжского горизонта (новобасовскими слоями) центральной части Восточно-Европейской платформы [15; 36; 37], вероятно, с серией Сарклет Шотландии [38], с самыми низами серии Грей Хук Шпицбергена [18; 22] и со слоями *Wijdeaspis arctica* Центрального Таймыра [15; 30].

Отложения адровского горизонта эйфельского яруса среднего девона развиты в пределах белорусской части Балтийской синеклизы, на Латвийской и Жлобинской седловинах, в Оршанской впадине, на северном, северо-восточном, восточном и юго-восточном склонах Белорусской антеклизы, на Северо-Припятском плече, в Припятском прогибе, на северо-западных сводах Воронежской антеклизы и представлены образованиями адровской свиты [8; 13]. Адровский горизонт на территории Беларуси по гетеростракам отвечает зоне *Guerichosteus heterolepis* (до ревизии этого зонального вида В. Н. Глинским [39] зона была *Schizosteus heterolepis*) [6; 7], по акантодам – зоне *Laliacanthus singularis* [4; 6; 7; 32]. На территории Центрального девонского поля возрастным аналогом адровского горизонта является верхняя часть ряжского горизонта (осетровские слои), из которого известны гетеростраки *Guerichosteus heterolepis* (Preobr.) [36]. На территории Главного девонского поля адровский горизонт коррелируется с пярнуским горизонтом, который характеризуется подобным комплексом позвоночных [15–17; 40]. В Шотландии адровской части разреза по ихтиофауне может соответствовать нижняя группа плитняков Кейтнис [38].

Освейский горизонт эйфельского яруса среднего девона представлен освейской свитой в типовых разрезах Балтийской синеклизы, большей части Вилейского погребенного выступа, Оршанской впадины, Жлобинской и Латвийской седловин, Бобруйского погребенного выступа, Северо-Припятского плеча, западной, северной и центральной зонах Припятского прогиба, северо-западного свода Воронежской антеклизы [8; 13]. На территории северо-западной части Белорусской антеклизы освейскому горизонту соответствует болошинская свита [41], а в пределах Речицко-Шатилковской и Березинской ступеней Припятского прогиба – мармовичская свита [42]. В целом отложения освейского горизонта на территории Беларуси соответствуют акантодовой зоне *Cheiracanthoides estonicus* [6; 7; 15] и сопоставляются по ихтиофауне с образованиями вадьяского подгоризонта наровского горизонта Литвы [15; 17; 32; 40; 43], породами дорогобужского горизонта Московской синеклизы [15; 36] и, по всей видимости, с плитняками Стромнесс Шотландии [38].

Отложения городокского горизонта (свиты) эйфельского яруса среднего девона достаточно широко распространены в пределах вышеупомянутых тектонических структур на территории Беларуси. Они соответствуют гетеростраковой местной зоне *Rusnolepis splendens*, акантодовой зоне *Ptychodictyon rimosum* [6; 7; 15; 43] и коррелируются по ихтиофауне с образованиями лейвуского подгоризонта наровского горизонта Литвы [17; 32], клинцовским и мосоловским горизонтами Московской синеклизы [15; 36] и, по всей видимости, с образованиями Роббери Хед Шотландии [38] и со свитой Форкдален серии Грей-Хук Западного Шпицбергена [44]. Отдельно стоит отметить, что отложения освейского и городокского горизонтов отвечают местной плакодермовой зоне *Asterolepis estonica* [6; 7].

Отложения костюковичского горизонта эйфельского яруса среднего девона на большей части площади распространения в пределах страны представлены костю-

ковичской свитой [8; 13]. На территории Латвийской седловины и в пределах белорусской части Балтийской седловины костюковичскому горизонту соответствует браславская свита [8]. На территории западной части Припятского прогиба, в пределах Туровской и Старобинской центриклиналей, рассматриваемому горизонту отвечает вульковская свита [45]. На территории Республики Беларусь костюковичские отложения отвечают по гетеростракам зоне *Schizosteus striatus*, по плакодермам – зоне *Coccosteus cuspidatus*, а по акантодам – зоне *Nostolepis kernavensis* [4; 6; 7; 32] и сопоставляются по позвоночным с отложениями великомостовской подсвиты нижней части лопушанской свиты (лановский горизонт) Волыно-Подоллии [19], с образованиями черноморского горизонта на территории Центрального девонского поля (Россия) [15], с отложениями кярнавского подгоризонта наровского горизонта на территории Литвы [15; 17; 43], рыбными слоями Аканаррас и верхней частью нижней группы плитняков Кейтнис Шотландии [38; 40; 46].

Полоцкий горизонт (свита) живетского яруса среднего девона характеризуется относительно широким распространением на территории Беларуси. Он включает в себя горынские, столинские и морочские слои [8; 13]. В целом полоцкий горизонт соответствует акантодовой зоне *Diplacanthus gravis* [4; 6; 7; 15; 32]. Горынские слои и нижняя часть столинских слоев полоцкого горизонта являются возрастными аналогами арукюлаского горизонта живетского яруса среднего девона Главного девонского поля и, предположительно, отвечают гетеростраковым зонам *Pycnosteus palaeformis* и *P. pauli* [16; 40; 47]. Верхняя часть столинских слоев и морочские слои сопоставляются с буртнийским горизонтом живетского яруса среднего девона Главного девонского поля. Верхняя часть столинских слоев соответствует плакодермной зоне *Asterolepis dellei* и гетеростраковой зоне *Pycnosteus tuberculatus*, а морочские слои – гетеростраковой зоне *Psammolepis abavica* и плакодермной зоне *Microbrachius* [6; 7]. В центральных областях Восточно-Европейской платформы полоцкому горизонту соответствуют воробьевский, ардамовский и муллинский горизонты старооскольского надгоризонта акантодовой зоны *Diplacanthus gravis* [15], а в Волыно-Подоллии – подлипецкая подсвита верхней части лопушанской свиты, пелчинская, крыжовская и батятычская свиты [19]. В Шотландии возрастным аналогом горынских слоев и нижней части столинских слоев является верхняя группа плитняков Кейтнис, а верхней части столинских слоев и морочским слоям могут соответствовать отложения Джон о'Гротс [38; 40; 46].

Убортский горизонт живетского яруса среднего девона на большей части Припятского прогиба и на территории Северо-Припятского плеча характеризуется убортской свитой, в пределах Петриковского погребенного выступа – гаврильчицкой свитой, в Оршанской впадине и на северо-западных склонах Воронежской антеклизы – хотимской свитой [8; 13]. На территории Латвийской седловины к убортскому горизонту отнесены выходы терригенных пород в низовьях р. Сарьянка, соответствующие устьевской свите. Отложения убортского горизонта Беларуси соответствует по гетеростракам зоне *Psammolepis paradoxa*, а по плакодермам – *Asterolepis ornata* [6; 7]. Этот горизонт по ихтиофауне коррелируется с породами гауйского горизонта, развитыми на территории Главного девонского поля [16; 47; 48], с отложениями ястребовской свиты на территории Центрального девонского поля [49], а также с образованиями пашийского горизонта, распространенными на западном склоне Урала, в Волго-Уральской области и на востоке центральных районов Восточно-Европейской платформы [36].

Отложения желонского горизонта франского яруса верхнего девона в пределах Оршанской впадины, Жлобинской и Брагинско-Лоевской седловин, в Припятском прогибе, на Северо-Припятском плече, на Гомельской структурной перемычке

и северо-западном склоне Воронежской антеклизы представлены одноименной желонской свитой [8; 13]. На территории Латвийской седловины рассматриваемым отложениям соответствует дегтяревская свита [50]. На территории Беларуси отложения желонского горизонта отвечают по гетеростракам местной зоне *Placosteus undulatus* – *Psammosteus praecursor* (до проведенной В. Н. Глинским ревизии [51] вид *Placosteus undulatus* (Ag.) был *Psammolepis undulata* (Ag.)), а по плакодермам – *Bothriolepis prima* – *B. obrutschewi* [6; 7] и по ихтиофауне могут сопоставляться с отложениями чаплыгинской свиты Центрального девонского поля [48; 49; 52], с породами тиманского горизонта Южного Тимана [53] с отложениями аматского горизонта Главного девонского поля [16; 48]. В Шотландии убортскому и желонскому горизонтам по ихтиофауне соответствуют слои Нэрн [38; 40], в Бельгии – слои Фромелен, в Гренландии – верхняя часть слоев *Asterolepis saevesoederberghi*, на Шпицбергене – серия Мимердален, а в США – формации Кэтсберг и Ред Хил [54].

Отложения саргаевского горизонта франского яруса верхнего девона распространены как в северной и северо-восточной частях республики (в Латвийской седловине и в Оршанской впадине), так и на юго-востоке – в Припятском прогибе, на Северо-Припятском плече, Брагинско-Лоевской и Жлобинской седловинах. В местных стратиграфических схемах данному горизонту в Оршанской впадине отвечает суражская свита [55], в Припятском прогибе – сосновская свита [8]. В Туровской и Старобинской центриклиналях нерасчлененные отложения саргаевского и семилукского горизонтов выделяются как цнянская свита [17]. В составе горизонта выделяются скрыгаловские, сарьянские и ведричские слои [8]. Позвоночные установлены преимущественно в скрыгаловских и сарьянских слоях горизонта. Скрыгаловские и сарьянские слои по гетеростракам соответствуют зоне *Psammosteus maeandrinus*, а по плакодермам – *Bothriolepis cellulosa* [6; 7]. Из отложений ведричских слоев саргаевского горизонта зональных таксонов ихтиофауны пока не установлено. Возраст отложений этих слоев в разрезах скважин и обнажений определяется на основе привлечения данных по беспозвоночным, конодонтам и миоспорам. Отложения скрыгаловских и сарьянских слоев саргаевского горизонта по позвоночным сопоставляются с отложениями снетогорских и псковских слоев плявиньского горизонта Главного девонского поля, а также с породами нижней части устьярегской свиты Южного Тимана [53] и соответствуют плакодермовой зоне *Bothriolepis cellulosa* [16; 48]. В Стратиграфической схеме девонских отложений Беларуси [8] отложения ведричских слоев саргаевского горизонта отвечают чудовским слоям плявиньского горизонта и дубниковскому горизонту Главного девонского поля [16; 48; 56].

Саргаевские отложения по ихтиофауне также сравнительно хорошо коррелируются с одноименными отложениями Московской синеклизы в ее центральной и южной частях [36; 48; 49; 57]. Также саргаевские отложения Беларуси можно скоррелировать с ремезовскими образованиями Вольно-Подолыи [58].

Отложения семилукского горизонта франского яруса верхнего девона развиты как на северо-востоке страны, так и на Северо-Припятском плече, на Гомельской структурной перемычке, в Жлобинской седловине и Припятском прогибе. На территории республики отложения этого горизонта подразделяются на моисеевские, буйновичские и верховские слои [8].

Семилукский горизонт в пределах Юго-восточного структурно-фациального района представлен светлогорской свитой [8], в составе которой выделяются моисеевские и буйновичские слои. В восточной части Северо-Припятского плеча отложения семилукского горизонта выделяются в качестве гусевицкой свиты [59; 60]. В пределах Оршанской впадины горизонт представлен отложениями богушевской свиты, стратиграфический объем которой, по всей видимости, более полный по сравнению

с разрезом светлогорской свиты [55; 61]. В западных районах Припятского прогиба горизонту соответствует кормянская свита [8]. Немногочисленные остатки позвоночных в семилукских отложениях выявлены только в моисеевских и буйновичских слоях, отвечающих зоне по гетеростракам *Psammosteus megalopteryx*.

Отложения семилукского горизонта хорошо сопоставляются с даугавским горизонтом Главного девонского поля [16; 48], нижней частью золочевского горизонта Волыно-Подоллии [58], одноименным горизонтом Центрального девонского поля [49; 57] и доманиковским горизонтом Тимано-Печорской провинции [48].

Образования речицкого горизонта франского яруса верхнего девона распространены в Припятском прогибе, на Северо-Припятском плече, на Гомельской структурной перемычке, Брагинско-Лоевской седловине, в южной части Жлобинской седловины и в Оршанской впадине [8; 13; 62]. На большей части Припятского прогиба, Северо-Припятском плече, территории Брагинско-Лоевской седловины и на юге Жлобинской седловины горизонт представлен отложениями одноименной речицкой свиты [8]. В кальдерах диатрем Еленецкого блока на Жлобинской седловине речицкий горизонт представлен отложениями еленецкой свиты [8]. На территории Оршанской впадины к отложениям речицкого горизонта относятся породы глинисто-мергельного состава, залегающие в основании образований воронежского горизонта. В целом отложения речицкого горизонта позвоночными охарактеризованы достаточно хорошо. По ихтиофауне они соответствуют гетеростраковой зоне *Traquairosteus ? falcatus* и плакодермовой зоне *Bothriolepis maxima* [6; 7; 63] и сопоставляются с образованиями снежского горизонта Главного девонского поля [16; 48], отложениями верхней части золочевского горизонта Волыно-Подоллии [58], породами петинского горизонта Центрального девонского поля [48; 49; 57] и аккумуляциями ветласянского горизонта Тимано-Печорской провинции [48; 56; 63].

В отложениях воронежского горизонта франского яруса верхнего девона остатки позвоночных установлены в породах стреличевских и птичских слоев в пределах Припятского прогиба. Они характеризуются небольшой многочисленностью таксонов и присутствием вида-индекса *Phoebodus bifurcatus* Ginter et Ivanov в стреличевских слоях [64]. В образованиях евлановского надгоризонта немногочисленные остатки ихтиофауны обнаружены в кустовнических, анисимовских и сколодинских отложениях в пределах Припятского прогиба и Северо-Припятского плеча. Все найденные в этих отложениях таксоны рыб характеризуются очень широким диапазоном стратиграфического распределения и поэтому непригодны для определения возраста этих отложений. Позвоночные из отложений чернинского горизонта на территории Беларуси вообще достоверно неизвестны. Таким образом, расчленение и корреляция вышеперечисленных стратиграфических подразделений по ихтиофауне пока невозможно. Их расчленение и сопоставление осуществляется по другим группам органических остатков.

Отложения домановичского горизонта фаменского яруса верхнего девона развиты в пределах Припятского прогиба и Северо-Припятского плеча. Единичные находки ихтиофауны установлены пока только в западных районах Припятского прогиба в отложениях домановичской свиты [8]. Породы этого стратиграфического уровня отвечают косвенно основанию зоны *Phoebodus typicus*. Данные отложения сопоставляются с сесавской пачкой элейской свиты Прибалтики [8; 16] и нижней частью волгоградского горизонта России [48; 65].

В вышезалегающих задонских отложениях фаменского яруса верхнего девона ихтиофауна достоверно выявлена в образованиях кузьмичевского, тонежского и тремлянского горизонтов (свит) в пределах Припятского прогиба. В отложениях вишанского горизонта (свиты), развитого также на территории Припятского прогиба, пока

рыбы не установлены, но в них встречаются много беспозвоночных и конодонтов, некоторые из которых важны для корреляции этих образований. Отложения кузьмичевского и тонежского горизонтов по ихтиофауне соответствуют зоне *Phoebodus typicus*. Отложения тремлянского горизонта отвечают низам зоны *Phoebodus gothicus*. Что касается сопоставления вышеуказанных отложений, то оно может быть таковым: отложения кузьмичевского горизонта коррелируются с циммерманской пачкой элейской свиты Прибалтики [8; 16], образования тонежского, тремлянского и вишанского горизонтов параллелизуются с отложениями ионишского горизонта стран Балтии [8; 16; 48]; в целом отложения задонского надгоризонта сопоставляются с одноименными отложениями центральных районов Восточно-Европейской платформы [36; 48].

Отложения елецкого надгоризонта фаменского яруса верхнего девона, включающие породы туровского и дроздовского горизонтов, распространены только на территории Припятского прогиба. Остатки ихтиофауны установлены и в туровских, и в дроздовских отложениях и представлены преимущественно хрящевыми рыбами. Эти отложения отвечают верхней части ихтиозоны *Phoebodus gothicus*. Отложения елецкого надгоризонта коррелируются с нижней частью курсаского горизонта Прибалтики [16] и достаточно хорошо сопоставляются с одноименными отложениями Центрального девонского поля [36; 48].

Петриковские отложения фаменского яруса верхнего девона распространены в пределах Припятского прогиба. Находки остатков ихтиофауны в этих отложениях довольно разнообразны, но в основном представлены актиноптеригиями. Породы этого стратиграфического интервала отвечают местной ихтиозоне *Phoebodus turnerae*. Данные отложения сопоставляются приблизительно с верхней частью курсаского горизонта Прибалтики [16] и нижней частью устьепечорского горизонта Тимано-Печорской провинции [66].

Из соленосных отложений лебедянского, оресского и стрешинского горизонтов фаменского яруса верхнего девона остатки рыб неизвестны.

Отложения старобинского горизонта (свиты) фаменского яруса верхнего девона развиты только в пределах Припятского прогиба. Наиболее многочисленные находки остатков ихтиофауны выявлены пока в верхнестаробинских слоях этого горизонта по сравнению с нижнестаробинскими, и они представлены в основном акантодами, саркоптеригиями и актиноптеригиями. Вид *Serpensiugum pushkini* Newman et Plax известен только из отложений нижнестаробинских слоев старобинского горизонта Беларуси [67], который может выступать в качестве руководящего таксона для этого стратиграфического уровня. Отложения старобинского горизонта по ихтиофауне могут коррелироваться с нижней частью кетлерского горизонта Прибалтики [16], приблизительно с верхней частью западнобугской свиты Волыно-Подоллии [19; 68] и нижней частью озерского горизонта центральной России [36].

Отложения ствижского горизонта (свиты) фаменского яруса верхнего девона Припятского прогиба содержат таксоны рыб, относящиеся преимущественно к группе транзитных. Поэтому их корреляция осуществляется в основном по миоспорам и остракодам. Образования этого горизонта, предполагаем, являются аналогами верхней части кетлерского горизонта стран Балтии [8; 16] и верхней части озерского горизонта центральной России [69].

В породах нижеборовских и вышеборовских слоев боровского горизонта (свиты) фаменского яруса верхнего девона Припятского прогиба в основном преобладают остатки саркоптеригий и актиноптеригий. Зональные виды рыб пока не выявлены. Корреляция этих отложений производится главным образом на основе миоспор и остракод. По ним отложения нижеборовских слоев боровского горизонта сопоставляются с отложениями шкверельской свиты Прибалтики [16] и породами хован-

ского горизонта центральных районов Восточно-Европейской платформы [36], а аналоги отложений верхнеборовских слоев боровского горизонта Беларуси на вышеуказанных территориях отсутствуют [8].

Из пород повчинских слоев калиновского горизонта (свиты) фаменского яруса верхнего девона Припятского прогиба известны как акантоды, так и преимущественно неопределимые до вида актиноптеригии. Корреляция этих отложений производится по миоспорам и остракодам. Возможно, аналогами повчинских слоев калиновского горизонта на западном склоне Южного Урала является нижняя часть гумеровского горизонта. В центральных районах Восточно-Европейской платформы этим слоям соответствует перерыв в седиментации [13].

Комплекс позвоночных велижских слоев калиновского горизонта фаменского яруса верхнего девона Припятского прогиба охарактеризован также немногочисленными акантодами и преимущественно представителями актиноптеригий пока без установленных по ним зональных форм. Из акантодовых рыб только для этого уровня характерен вид *Modicucollum golubtsovi* Newman et Plax [67].

Корреляция этих отложений тоже осуществляется преимущественно на основании данных по миоспорам и остракодам. Выявлено, что аналогов велижских слоев калиновского горизонта на Восточно-Европейской платформе достоверно не установлено. Вероятно, ими является верхняя часть гумеровского горизонта западного склона Южного Урала. В Западной Европе аналогами велижских слоев выступает верхняя часть хангенбергских сланцев [70–72].

Заклучение

На основе детального изучения ихтиокомплексов распространенных в девонских отложениях на территории Беларуси автором предложены три местные ихтиозоны (*Pycnolepis splendens* для городокского горизонта, *Placosteus undulatus* – *Psammosteus praecursor* для желонского горизонта и *Phoebodus turnerae* для петриковского горизонта) и прослежены двадцать восемь ихтиозон (*Nikolivia gutta*, *Nostolepis minima*, «*Traquairaspis*», *Turinia pagei*, *Skamolepis fragilis*, *Valentinaspis profundus*, *Laliacanthus singularis*, *Guerichosteus heterolepis*, *Cheiracanthoides estonicus*, *Ptychodictyon rimosum*, *Schizosteus striatus*, *Coccosteus cuspidatus*, *Nostolepis kernavensis*, *Diplacanthus gravis*, *Asterolepis dellei*, *Pycnosteus tuberculatus*, *Psammolepis abavica*, *Microbrachius*, *Psammolepis paradoxa*, *Asterolepis ornata*, *Bothriolepis prima* – *B. obrutschewi*, *Psammosteus maeandrinus*, *Bothriolepis cellulosa*, *Psammosteus megalopteryx*, *Traquairosteus ? falcatus*, *Bothriolepis maxima*, *Phoebodus typicus* и *Phoebodus gothicus*), выделенных ранее по позвоночным для Главного девонского поля и Тимано-Печерской провинции. Выявленные ихтиозоны и комплексы позвоночных позволяют достаточно подробно производить расчленение девонских отложений территории Беларуси и проводить по ним корреляцию с одновозрастными отложениями, развитыми как на сопредельных, так и удаленных территориях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Валюкявичюс, Ю. Ю. Акантоды наровского горизонта Главного девонского поля / Ю. Ю. Валюкявичюс ; ред. В. Н. Каратайте-Талимаа. – Вильнюс : Мокслас, 1985. – 144 с.
2. Валюкявичюс, Ю. Ю. Комплекс чешуй акантодов из основания среднего девона Прибалтики и Белоруссии / Ю. Ю. Валюкявичюс, В. Н. Каратайте-Талимаа // Биофации и фауна силурийских и девонских бассейнов Прибалтики. – Рига : Зинатне, 1986. – С. 110–122.
3. Валюкявичюс, Ю. Ю. Новые виды акантодов из среднего девона Прибалтики и Белоруссии / Ю. Ю. Валюкявичюс // Палеонтологический журнал. – 1988. – № 2. – С. 80–86.

4. Valiukevičius, J. Acanthodians and zonal stratigraphy of Lower and Middle Devonian in East Baltic and Byelorussia / J. Valiukevičius // *Palaeontographica Abt. A.* – 1998. – Vol. 248. – P. 1–53.
5. Плакса, Д. П. Девонская (позднеэмско-франская) ихтиофауна Беларуси и ее стратиграфическое значение / Д. П. Плакса : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Плакса Дмитрий Петрович ; Ин-т геохимии и геофизики НАН Беларуси. – Мн., 2007. – 23 с.
6. Плакса, Д. П. Введение зональных шкал по позвоночным в стратиграфическую схему девонских отложений Беларуси / Д. П. Плакса // *Доклады НАН Беларуси.* – 2008. – Т. 52, № 4. – С. 83–88.
7. Плакс, Д. П. О девонской ихтиофауне Беларуси / Д. П. Плакс // *Літасфера.* – 2008. – № 2 (29). – С. 66–92.
8. Девонская система / Т. Г. Обуховская [и др.] // *Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснит. зап. / Ред. С. А. Кручек [и др.].* – Мн. : ГП «БелНИГРИ», 2010. – С. 98–114 (с стратиграфическими схемами девонских отложений Беларуси (2 л.)).
9. The ICS International Chronostratigraphic Chart 2024/12 / К.М. Cohen [et al.]. – International Commission on Stratigraphy, IUGS. – URL: www.stratigraphy.org (date of access: 03.10.2025).
10. Общая стратиграфическая шкала // Межведомственный стратиграфический комитет России (МСК). – 2024. – URL: https://karpinskyinstitute.ru/info/str_scale-03-24.pdf (дата обращения: 03.10.2025).
11. Стратиграфический кодекс России. – Изд. 3-е, испр. и доп. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. – 96 с.
12. Пушкин, В. И. Положение границы силур – девон и стратиграфия нижнего девона Белоруссии / В. И. Пушкин, С. А. Кручек // *Доклады АН БССР.* – 1978. – Т. XXII, № 11. – С. 1013–1016.
13. Девонская система / С. А. Кручек, А. С. Махнач, В. К. Голубцов, Т. Г. Обуховская // *Геология Беларуси ; под. общ. ред. А. С. Махнач.* – Минск, 2001. – С. 186–236.
14. Plax, D. P. Ichthyofauna from the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of the southwestern part of Belarus / D. P. Plax // *Літасфера.* – 2015. – № 2 (43). – С. 19–36.
15. Valiukevičius, J. Acanthodian biostratigraphy and interregional correlations of the Devonian of the Baltic States, Belarus, Ukraine and Russia / J. Valiukevičius, S. Kruchek // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project).* – 2000. – Vol. 223. – P. 271–289.
16. Девон и карбон Прибалтики / В. С. Сорокин [и др.] ; ред. В. С. Сорокин. – Рига : Зинатне, 1981. – 502 с.
17. Валюкявичюс, Ю. Ю. Девонская система / Ю. Ю. Валюкявичюс, В. К. Голубцов // *Геологическая карта СССР (новая серия). Объяснительная записка. Лист N-(34), (35).* – 1 : 1 000 000, 10 км в 1 см. – Вильнюс ; Л., 1986. – С. 53–68.
18. Talimaa, V. N. Significance of thelodonts (Agnatha) in correlation of the Upper Ordovician to Lower Devonian of the northern part of Eurasia / V.N. Talimaa // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project).* – 2000. – Vol. 223. – P. 69– 80.
19. Plax D. P. Devonian ichthyofauna of the Volyn Monocline / D. P. Plax // *Літасфера.* – 2011. – № 2 (35). – С. 12–21.
20. Voichyshyn, V. The Early Devonian armoured agnathans of Podolia, Ukraine / V. Voichyshyn // *Palaeontologia Polonica.* – 2011. – Vol. 66. – 211 p.
21. Dineley, D. L. Fossil Fishes of Great Britain / D. L. Dineley, S. J. Metcalf // *Geological Conservation Review Series.* – 1999. – Vol. 16. – xxi + 675 p.
22. Каратайте-Талимаа, В. Н. Телодонты силура и девона СССР и Шпицбергена / В. Н. Каратайте-Талимаа. – Вильнюс : Мокслас, 1978. – 336 с.
23. Blicek, A. R. M. Upper Silurian and Devonian heterostracan pteraspidomorphs (Vertebrata) from Severnaya Zemlya (Russia): a preliminary report with biogeographical and biostratigraphical implications / A. R. M. Blicek, V. Karatajūtė-Talimaa, E. Mark-Kurik // *Geodiversitas.* – 2002. – Vol. 24 (4). – P. 805–820.
24. Burrowa, C. J. Acanthodians from the Silurian–Devonian boundary beds of Novaya Zemlya Archipelago, Russia / C. J. Burrowa, A. O. Ivanov, V. B. Ershova // *GFF.* – 2018. – Vol. 140, nr 3. – P. 241–248.

25. Каратаюте-Талимаа, В. Н. Телодонты. Биостратиграфические очерки / В. Н. Каратаюте-Талимаа, Т. Мярсс // Стратиграфия силура и девона архипелага Северная Земля ; под ред. Р. Г. Матухина и В. В. Меннера. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1999. – С. 12–127.
26. Valiukevičius, J. Devonian acanthodians from Severnaya Zemlya Archipelago (Russia) / J. Valiukevičius // *Geodiversitas*. – 2003. – Vol. 25, nr 1. – P. 131–204.
27. Юрьева, З. П. Нижнедевонские отложения северо-востока европейской части России (стратиграфия, корреляция) / З. П. Юрьева. – Сыктывкар : ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. – 164 с.
28. Valiukevičius, J. New Silurian to Middle Devonian acanthodians of the Timan-Pechora region / J. Valiukevičius // *Acta Geologica Polonica*. – 2003. – Vol. 53, nr 3. – P. 209–245.
29. Юрьева, З. П. Нижнедевонская карбонатная клиноформа Хорейверской впадины Тимано-Североуральского региона (стратиграфия, корреляция) / З. П. Юрьева, Ю. Ю. Валюкявичюс // *Литосфера*. – 2014. – № 2. – С. 26–38.
30. Валюкявичюс, Ю. Ю. Акантоды и их стратиграфическое значение / Ю. Ю. Валюкявичюс // Стратиграфия и фауна нижнедевонских отложений тарейского опорного разреза (Таймыр) / Ком. по геологии и использованию недр России, Всерос. науч.-исслед. ин-т геологии и минерал. ресурсов Мирового океана. – СПб. : Недра, 1994. – С. 131–197, 236–243.
31. Märss, T. On the Silurian and lowermost Devonian vertebrates of the Ufa Amphitheatre, the Central Urals, with emphasis on agnathans and correlations with the East Baltic / T. Märss // *Estonian Journal of Earth Sciences*. – 2025. – Vol. 74, 2. – P. 96–119.
32. Valiukevičius, J. Acanthodian zonal sequence of Early and Middle Devonian in the Baltic basin / J. Valiukevičius // *Geologija*. – 1994. – Nr 17. – P. 115–125.
33. Plax, D. P. Formal description of *Valentinaspis profundus* gen. et sp. n., a placoderm fish and zone fossil from the Emsian of Belarus and Estonia / D. P. Plax, M. J. Newman // *Fossil Record 9. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*. – 2023. – Vol. 94. – P. 525–532.
34. Древнейшие отложения среднего девона Эстонии / А. Клеесмент [и др.] // Геология кристаллического фундамента и осадочного чехла Прибалтики / под ред. А. Я. Лунц. – Рига : Зинатне, 1975. – С. 168–183.
35. Лярская, Л. А. Резекненская свита и ее возрастные аналоги / Л. А. Лярская // Стратиграфия фанерозоя Прибалтики. – Рига : Зинатне, 1978. – С. 22–39.
36. Девон Воронежской антеклизы и Московской синеклизы / Г. Д. Родионова [и др.]. – М., 1995. – 265 с.
37. Государственная геологическая карта Российской Федерации (третье поколение). Центрально-Европейская серия. Лист N-36 (M-36). – Смоленск. Пояснительная записка / Г. В. Воротникова [и др.]. – 1 : 1 000 000, 10 км в 1 см. – СПб. : Картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2011. – 267 с.
38. Trewin, N. H. Old Red Sandstone / N. H. Trewin, M. F. Thirlwall // *The Geology of Scotland*. – 4-th ed. – London : Geological Society, 2002. – P. 213–249.
39. Glinskiy, V. N. New data on psammosteid heterostracans (Pteraspidomorpha) and acanthodians (Acanthodii) from the Pärnu Regional Stage (Lower Eifelian, Middle Devonian) of Estonia / V. N. Glinskiy, D. V. Pinakhina // *Estonian Journal of Earth Sciences*. – 2018. – Vol. 67 (1). – P. 76–87.
40. Mark-Kurik, E. The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus / E. Mark-Kurik // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project)*. – 2000. – Vol. 223. – P. 309–324.
41. Плакс, Д. П. Новые местные стратиграфические подразделения верхнего силура и среднего девона северо-западной части Белорусской антеклизы / Д. П. Плакс, С. А. Кручек, В. Ю. Обуховская // *Литасфера*. – 2016. – № 1 (44). – С. 3–25.
42. Голубцов, В. К. О галогенном типе разреза наровского горизонта среднего девона в Припятской впадине / В. К. Голубцов // Некоторые вопросы стратиграфии и палеонтологии палеозойских и мезозойских отложений Белоруссии. – Мн., 1974. – С. 69–79.
43. Валюкявичюс, Ю. Ю. Акантоды наровского горизонта Главного девонского поля / Ю. Ю. Валюкявичюс. – Вильнюс, 1985. – 144 с.
44. Валюкявичюс, Ю. Ю. Чешуи акантод из эйфельских отложений Шпицбергена / Ю. Ю. Валюкявичюс // *Палеонтологический журнал*. – 1979. – Т. 13. – С. 482–492.
45. Плакс, Д. П. О стратиграфии отложений эйфельского яруса среднего девона западной части Припятского прогиба / Д. П. Плакс, С. А. Кручек, В. Ю. Обуховская // *Литасфера*. – 2016. – № 2 (45). – С. 29–47.

46. Plax, D. P. Middle Devonian acanthodians from Belarus – new data and interregional biostratigraphy / D. P. Plax, M. J. Newman // *Acta Geologica Polonica*, 2021. – Vol. 71 (4). – P. 393–414.
47. Ivanov, A. Devonian vertebrate localities in the Luga River basin (Leningrad Region, Russia) / A. Ivanov, O. Lebedev // *Guidebook for the field trip*. – St. Petersburg, 2011. – P. 1–37.
48. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Carboniferous on the East European Platform / Esin [et al.] // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project)*. – 2000. – Vol. 223. – P. 341–359.
49. Обручева, О. П. Рыбы Центрального девонского поля / О. П. Обручева, Е. Д. Обручева // *Очерки по филогении и систематике рыб и бесчелюстных*. – М., 1977. – С. 24–28.
50. Plax, D. P. On the Zhelon deposits (Frasnian, Upper Devonian) of the Latvian Saddle in the basins of the Saryanka and Rositsa Rivers (Belarus) / D. P. Plax, Yu. V. Zaika // *Природные ресурсы*. – 2020. – № 2. – С. 18–35.
51. Glinskiy, V. Phylogenetic relationships of psammosteid heterostracans (Pteraspidoformes), Devonian jawless vertebrates / V. Glinskiy // *Biological Communications*. – 2018. – Vol. 62 (4). – P. 219–243.
52. Moloshnikov, S. V. Devonian Antiarchs (Pisces, Antiarchi) from Central and Southern European Russia / S. V. Moloshnikov // *Paleontological Journal*. – 2008. – Vol. 42, Nr 7. – P. 691–773.
53. Иванов, А. О. Комплексы ихтиофауны франского яруса Южного Тимана / А. О. Иванов // *Геология девона Северо-Востока европейской части СССР : тез. докл.* – Сыктывкар, 1991. – С. 23–24.
54. Лярская, Л. А. Панцирные рыбы девона Прибалтики (Asterolepididae) / Л. А. Лярская. – Рига : Зинатне, 1981. – 151 с.
55. Обуховская, В. Ю. Палеонтологическая характеристика и стратиграфия франских отложений северо-восточной части Оршанской впадины / В. Ю. Обуховская // *Актуальные проблемы геологии Беларуси и смежных территорий : материалы междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. НАН Беларуси А. С. Махнач, Минск, 9–10 дек. 2008 г.* – Мн., 2008. – С. 206–212.
56. Ivanov, A. Late Devonian vertebrates of the Timan / A. Ivanov, E. Lukševičs // *Daba un Muzejs*. – 1996. – Nr 6. – P. 22–33.
57. Молошников, С. В. Морфология, систематика, особенности эволюции и стратиграфическое значение древних рыб: Antiarchi / С. В. Молошников // *Жизнь Земли*. – 2014. – Т. 35–36. – С. 203–220.
58. Константиненко, Л. И. Девоньская система / Л. И. Константиненко, О. Ю. Котляр, О. И. Берченко // *Стратиграфия верхнего протерозоя та фанерозоя України / гол. ред. П. Ф. Гожик*. – Київ : ІГН НАН України : Логос, 2013. – Т. 1. – С. 200–243.
59. Стратиграфия девонских отложений Уваровичско-Урицкой площади (юго-восток Беларуси) / С. А. Кручек, Т. Г. Обуховская, М. Г. Левый, В. Ю. Обуховская // *Проблемы алмазоносности Беларуси*. – Мн., 1999. – С. 57–71.
60. Обуховская, В. Ю. Стратиграфия франских отложений восточной части Северо-Припятского плеча и сопредельных структур / В. Ю. Обуховская, Т. Ф. Саченко, С. А. Кручек // *Літасфера*. – 2007. – № 1 (26). – С. 29–39.
61. Решения Межведомственного регионального стратиграфического совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем Белоруссии, 1981 (с унифицированными стратиграфическими корреляционными таблицами). – Л. : ВСЕГЕИ, 1983.
62. Плакс, Д. П. Ихтиофауна из верхнефранских отложений Беларуси / Д. П. Плакс // *Фундаментальная и прикладная палеонтология : Материалы LXIV сессии Палеонтол. о-ва при РАН, Санкт-Петербург, 2–6 апр. 2018 г. ; редкол.: Т. Н. Богданова [и др.]*. – СПб., 2018. – С. 217–218.
63. Plax, D. P. Vertebrate Assemblages of the Rechitsian Time (Beginning of the Late Frasnian, Late Devonian) in the East European Platform / D. P. Plax, O. A. Lebedev, P. A. Beznosov // *Paleontological Journal* – 2024. – Vol. 58, suppl. 4. – P. S329–S357.
64. Ivanov, A. O. New Chondrichthyan Assemblages from the Upper Devonian-Carboniferous of Belarus / A. O. Ivanov, D. P. Plax // *Paleontological Journal*. 2024. – Vol. 58, suppl. 4. – P. S391–S402.

65. Avkhimovich, V. I. Correlation of Uppermost Devonian and Lower Carboniferous microspore zonations in Byelorussia, Poland and Western Europe / V. I. Avkhimovich, E. Turnau, Cr. Clyton // *Annales de la Societe geologique de Belgique*. – 1993. – Т. 115, fasc. 2 (1992). – Р. 453–458.
66. Зональная стратиграфия фанерозоя России / науч. ред. Т. Н. Корень. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. – 256 с.
67. Newman, M. Late Devonian (Famennian) acanthodians (Acanthodii) from Belarus and their correlation elsewhere in Laurasia / M. Newman, D. P. Plax // *Fossil Record 10. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 100*. – 2025. – Р. 153–166.
68. Плакс, Д. П. Ихтиофауна из отложений старобинского горизонта верхнего фамена Припятского прогиба Беларуси / Д. П. Плакс // *Закономерности эволюции и биостратиграфия : Материалы LXX сессии Палеонтол. о-ва при РАН, Санкт-Петербург, 1–5 апр. 2024 г. ; редкол.: М. А. Ткаченко [и др.]*. – СПб. : Картф-ка Ин-та Карпинского, 2024. – С. 254–255.
69. Бывшева, Т. В. Этапы развития флоры (по спорам) на рубеже девона и карбона / Т. В. Бывшева, Е. В. Чибрикова, В. И. Авхимович // *Граница девона и карбона на территории СССР*. – Мн., 1988. – С. 326–335.
70. Higgs, K. Spore stratigraphy at the Devonian – Carboniferous boundary in the northern «Rheinisches Schiefergebirge», Germany / K. Higgs, M. Streel // *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg*. – 1984. – Nr 67. – Р. 157–179.
71. Авхимович, В. И. Характерный разрез пограничных отложений девона и карбона Припятской впадины / В. И. Авхимович, В. К. Голубцов, Э. К. Демиденко // *Граница девона и карбона на территории СССР*. – Мн., 1988. – С. 40–52.
72. Стратиграфическая схема девонских отложений Беларуси / Т. Г. Обуховская [и др.] // *Літасфера*. – 2005. – № 1 (22). – С. 69–88.

REFERENCES

1. Valyukyavichyus, Yu. Yu. Akantody narovskogo gorizonta Glavnogo devonskogo polya / Yu. Yu. Valyukyavichyus ; red. V. N. Karatayute-Talimaa. – Vil'nyus : Mokslas, 1985. – 144 s.
2. Valyukyavichyus, Yu. Yu. Kompleks cheshui akantodov iz osnovaniya srednego devona Pribaltiki i Belorussii / Yu. Yu. Valyukyavichyus, V. N. Karatayute-Talimaa // *Biofatsii i fauna siluriiskikh i devonskikh basseinov Pribaltiki*. – Riga : Zinatne, 1986. – S. 110–122.
3. Valyukyavichyus, Yu. Yu. Novye vidy akantodov iz srednego devona Pribaltiki i Belorussii / Yu. Yu. Valyukyavichyus // *Paleontologicheskii zhurnal*. – 1988. – № 2. – S. 80–86.
4. Valiukevičius, J. Acanthodians and zonal stratigraphy of Lower and Middle Devonian in East Baltic and Byelorussia / J. Valiukevičius // *Palaeontographica Abt. A*. – 1998. – Vol. 248. – P. 1–53.
5. Plaksa, D. P. Devonskaya (pozднеemssko-franskaya) ikhtiofauna Belarusi i ee stratigraficheskoe znachenie / D. P. Plaksa : avtoref. dis. ... kand. geol.-miner. nauk / Plaksa Dmitrii Petrovich ; In-t geokhimii i geofiziki NAN Belarusi. – Minsk, 2007. – 23 s.
6. Plaksa, D. P. Vvedenie zonal'nykh shkal po pozvonochnym v stratigraficheskuyu skhemu devonskikh otlozhenii Belarusi / D. P. Plaksa // *Doklady NAN Belarusi*. – 2008. – Т. 52, № 4. – С. 83–88.
7. Plaks, D. P. O devonskoi ikhtiofaune Belarusi / D. P. Plaks // *Litasfera*. – 2008. – № 2 (29). – С. 66–92.
8. Devonskaya sistema / Т. Г. Обуховская [и др.] // *Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : об'яснит. зап.* / Red. S. A. Kruchek [и др.]. – Minsk : GP «BeLNIGRI», 2010. – С. 98–114 (s stratigraficheskimi skhemami devonskikh otlozhenii Belarusi (2 l.)).
9. The ICS International Chronostratigraphic Chart 2024/12 / K.M. Cohen [et al.]. – International Commission on Stratigraphy, IUGS. – URL: www.stratigraphy.org (date of access: 03.10.2025).
10. Obshchaya stratigraficheskaya shkala // *Mezhvedomstvennyi stratigraficheskii komitet Rossii (MSK)*. – 2024. – URL: https://karpinskyinstitute.ru/info/str_scale-03-24.pdf (data obrashcheniya: 03.10.2025).
11. *Стратиграфический кодекс России*. – Изд. 3-е, испр. и доп. – СПб. : Изд-во VSEGEI, 2019. – 96 с.
12. Pushkin, V. I. Polozhenie granitsy silur – devon i stratigrafiya nizhnego devona Belorussii / V. I. Pushkin, S. A. Kruchek // *Doklady AN BSSR*. – 1978. – Т. XXII, № 11. – С. 1013–1016.

13. Devonskaya sistema / S. A. Kruchek, A. S. Makhnach, V. K. Golubtsov, T. G. Obukhovskaya // Geologiya Belarusi ; pod. obshch. red. A. S. Makhnacha. – Minsk, 2001. – S. 186–236.
14. Plax, D. P. Ichthyofauna from the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of the southwestern part of Belarus / D. P. Plax // Літасфера. – 2015. – № 2 (43). – С. 19–36.
15. Valiukevičius, J. Acanthodian biostratigraphy and interregional correlations of the Devonian of the Baltic States, Belarus, Ukraine and Russia / J. Valiukevičius, S. Kruchek // Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project). – 2000. – Vol. 223. – P. 271–289.
16. Devon i karbon Pribaltiki / V. S. Sorokin [i dr.] ; red. V. S. Sorokin. – Riga : Zinatne, 1981. – 502 s.
17. Valyukyavichyus, Yu. Yu. Devonskaya sistema / Yu. Yu. Valyukyavichyus, V. K. Golubtsov // Geologicheskaya karta SSSR (novaya seriya). Ob'yasnitel'naya zapiska. List N-(34), (35). – 1 : 1 000 000, 10 km v 1 sm. – Vil'nyus ; L., 1986. – S. 53–68.
18. Talimaa, V. N. Significance of thelodonts (Agnatha) in correlation of the Upper Ordovician to Lower Devonian of the northern part of Eurasia / V. N. Talimaa // Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project). – 2000. – Vol. 223. – P. 69–80.
19. Plax D. P. Devonian ichthyofauna of the Volyn Monocline / D. P. Plax // Літасфера. – 2011. – № 2 (35). – С. 12–21.
20. Voichyshyn, V. The Early Devonian armoured agnathans of Podolia, Ukraine / V. Voichyshyn // Palaeontologia Polonica. – 2011. – Vol. 66. – 211 p.
21. Dineley, D. L. Fossil Fishes of Great Britain / D. L. Dineley, S. J. Metcalf // Geological Conservation Review Series. – 1999. – Vol. 16. – xxi + 675 p.
22. Karatayute-Talimaa, V. N. Telodonty silura i devona SSSR i Shpitsbergena / V. N. Karatayute-Talimaa. – Vil'nyus : Mokslas, 1978. – 336 s.
23. Blicek, A. R. M. Upper Silurian and Devonian heterostracan pteraspidomorphs (Vertebrata) from Severnaya Zemlya (Russia): a preliminary report with biogeographical and biostratigraphical implications / A. R. M. Blicek, V. Karatayute-Talimaa, E. Mark-Kurik // Geodiversitas. – 2002. – Vol. 24 (4). – P. 805–820.
24. Burrowa, C. J. Acanthodians from the Silurian–Devonian boundary beds of Novaya Zemlya Archipelago, Russia / C. J. Burrowa, A. O. Ivanov, V. B. Ershova // GFF. – 2018. – Vol. 140, nr 3. – P. 241–248.
25. Karatayute-Talimaa, V. N. Telodonty. Biostratigraficheskie ocherki / V. N. Karatayute-Talimaa, T. Myarss // Stratigrafiya silura i devona arhipelaga Severnaya Zemlya ; pod red. R. G. Matukhina i V. V. Mennera. – Novosibirsk : SNIIGGIMS, 1999. – S. 12–127.
26. Valiukevičius, J. Devonian acanthodians from Severnaya Zemlya Archipelago (Russia) / J. Valiukevičius // Geodiversitas. – 2003. – Vol. 25, nr 1. – P. 131–204.
27. Yur'eva, Z. P. Nizhnedevonskie otlozheniya severo-vostoka evropeiskoi chasti Rossii (stratigrafiya, korrelyatsiya) / Z. P. Yur'eva. – Syktyvkar : IG Komi NTS URO RAN, 2020. – 164 s.
28. Valiukevičius, J. New Silurian to Middle Devonian acanthodians of the Timan-Pechora region / J. Valiukevičius // Acta Geologica Polonica. – 2003. – Vol. 53, nr 3. – P. 209–245.
29. Yur'eva, Z. P. Nizhnedevonskaya karbonatnaya klinofoma Khoreiverskoi vpadiny Tiano-Severoural'skogo regiona (stratigrafiya, korrelyatsiya) / Z. P. Yur'eva, Yu. Yu. Valyukyavichyus // Litosfera. – 2014. – № 2. – S. 26–38.
30. Valyukyavichyus, Yu. Yu. Akantody i ikh stratigraficheskoe znachenie / Yu. Yu. Valyukyavichyus // Stratigrafiya i fauna nizhnedevonskikh otlozhenii tareiskogo opornogo razreza (Taimyr) / Kom. po geologii i ispol'zovaniyu nedr Rossii, Vseros. nauch.-issled. in-t geologii i mineral. resursov Mirovogo okeana. – SPb. : Nedra, 1994. – S. 131–197, 236–243.
31. Märss, T. On the Silurian and lowermost Devonian vertebrates of the Ufa Amphitheatre, the Central Urals, with emphasis on agnathans and correlations with the East Baltic / T. Märss // Estonian Journal of Earth Sciences. – 2025. – Vol. 74, 2. – P. 96–119.
32. Valiukevičius, J. Acanthodian zonal sequence of Early and Middle Devonian in the Baltic basin / J. Valiukevičius // Geologija. – 1994. – Nr 17. – P. 115–125.
33. Plax, D. P. Formal description of *Valentinaspis profundus* gen. et sp. n., a placoderm fish and zone fossil from the Emsian of Belarus and Estonia / D. P. Plax, M. J. Newman // Fossil Record 9. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin. – 2023. – Vol. 94. – P. 525–532.

34. Drevneishie otlozheniya srednego devona Estonii / A. Kleesment [i dr.] // *Geologiya kristallicheskogo fundamenta i osadochnogo chekhla Pribaltiki* / pod red. A. Ya. Lunts. – Riga : Zinatne, 1975. – S. 168–183.
35. Lyarskaya, L. A. Rezeknenskaya svita i ee vozrastnye analogi / L. A. Lyarskaya // *Stratigrafiya fanerozoya Pribaltiki*. – Riga : Zinatne, 1978. – S. 22–39.
36. Devon Voronezhskoi anteklizy i Moskovskoi sineklizy / G. D. Rodionova [i dr.]. – M., 1995. – 265 s.
37. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii (tret'e pokolenie). Tsentral'no-Evropeiskaya seriya. List N-36 (M-36). – Smolensk. Poyasnitel'naya zapiska / G. V. Vorotnikova [i dr.]. – 1 : 1 000 000, 10 km v 1 sm. – SPb. : Kartogr. f-ka VSEGEI, 2011. – 267 s.
38. Trewin, N. H. Old Red Sandstone / N. H. Trewin, M. F. Thirlwall // *The Geology of Scotland*. – 4-th ed. – London : Geological Society, 2002. – P. 213–249.
39. Glinskiy, V. N. New data on psammosteid heterostracans (Pteraspidomorpha) and acanthodians (Acanthodii) from the Pärnu Regional Stage (Lower Eifelian, Middle Devonian) of Estonia / V. N. Glinskiy, D. V. Pinakhina // *Estonian Journal of Earth Sciences*. – 2018. – Vol. 67 (1). – P. 76–87.
40. Mark-Kurik, E. The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus / E. Mark-Kurik // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project)*. – 2000. – Vol. 223. – P. 309–324.
41. Plaks, D. P. Novye mestnye stratigraficheskie podrazdeleniya verkhnego silura i srednego devona severo-zapadnoi chasti Belorusskoi anteklizy / D. P. Plaks, S. A. Kruchek, V. Yu. Obukhovskaya // *Litasfera*. – 2016. – № 1 (44). – C. 3–25.
42. Golubtsov, V. K. O galogennom tipe razreza narovskogo gorizonta srednego devona v Pripyatskoi vpadine / V. K. Golubtsov // *Nekotorye voprosy stratigrafii i paleontologii paleozoiskikh i mezozoiskikh otlozhenii Belorussii*. – Mn., 1974. – S. 69–79.
43. Valyukyavichyus, Yu. Yu. Akantody narovskogo gorizonta Glavnogo devonskogo polya / Yu. Yu. Valyukyavichyus. – Vil'nyus, 1985. – 144 s.
44. Valyukyavichyus, Yu. Yu. Cheshui akantod iz eifel'skikh otlozhenii Shpitsbergena / Yu. Yu. Valyukyavichyus // *Paleontologicheskii zhurnal*. – 1979. – T. 13. – C. 482–492.
45. Plaks, D. P. O stratigrafii otlozhenii eifel'skogo yarusa srednego devona zapadnoi chasti Pripyatskogo progiba / D. P. Plaks, S. A. Kruchek, V. Yu. Obukhovskaya // *Litasfera*. – 2016. – № 2 (45). – S. 29–47.
46. Plax, D. P. Middle Devonian acanthodians from Belarus – new data and interregional biostratigraphy / D. P. Plax, M. J. Newman // *Acta Geologica Polonica*, 2021. – Vol. 71 (4). – P. 393–414.
47. Ivanov, A. Devonian vertebrate localities in the Luga River basin (Leningrad Region, Russia) / A. Ivanov, O. Lebedev // *Guidebook for the field trip*. – St. Petersburg, 2011. – P. 1–37.
48. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Carboniferous on the East European Platform / Esin [et al.] // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project)*. – 2000. – Vol. 223. – P. 341–359.
49. Obrucheva, O. P. Ryby Tsentral'nogo devonskogo polya / O. P. Obrucheva, Ye. D. Obrucheva // *Ocherki po filogenii i sistematike ryb i beschelyustnykh*. – M., 1977. – S. 24–28.
50. Plax, D. P. On the Zhelon deposits (Frasnian, Upper Devonian) of the Latvian Saddle in the basins of the Saryanka and Rositsa Rivers (Belarus) / D. P. Plax, Yu. V. Zaika // *Природные ресурсы*. – 2020. – № 2. – C. 18–35.
51. Glinskiy, V. Phylogenetic relationships of psammosteid heterostracans (Pteraspidoformes), Devonian jawless vertebrates / V. Glinskiy // *Biological Communications*. – 2018. – Vol. 62 (4). – P. 219–243.
52. Moloshnikov, S. V. Devonian Antiarchs (Pisces, Antiarchi) from Central and Southern European Russia / S. V. Moloshnikov // *Paleontological Journal*. – 2008. – Vol. 42, nr 7. – P. 691–773.
53. Ivanov, A. O. Kompleksy ikhtiofauny franskogo yarusa Yuzhnogo Timana / A. O. Ivanov // *Geologiya devona Severo-Vostoka evropejskoj chasti SSSR : tez. dokl.* – Syktyvkar, 1991. – S. 23–24.
54. Lyarskaya, L. A. Pantsirnye ryby devona Pribaltiki (Asterolepididae) / L. A. Lyarskaya. – Riga : Zinatne, 1981. – 151 s.
55. Obukhovskaya, V. Yu. Paleontologicheskaya kharakteristika i stratigrafiya franskikh otlozhenii severo-vostochnoi chasti Orshanskoi vpadiny / V. Yu. Obukhovskaya // *Aktual'nye problemy*

geologii Belarusi i smezhnykh territorii : materialy mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. 90-letiyu so dnya rozhdeniya akad. NAN Belarusi A. S. Makhnacha, Minsk, 9–10 dek. 2008 g. – Mn., 2008. – S. 206–212.

56. Ivanov, A. Late Devonian vertebrates of the Timan / A. Ivanov, E. Lukševičs // Daba un Muzejs. – 1996. – Nr 6. – P. 22–33.

57. Moloshnikov, S. V. Morfologiya, sistematika, osobennosti evolyutsii i stratigraficheskoe znachenie drevnih ryb: Antiarchi / S. V. Moloshnikov // Zhizn' Zemli. – 2014. – T. 35–36. – S. 204–220.

58. Konstantinenko, L. I. Devon'ska sistema / L. I. Konstantinenko, O. Yu. Kotlyar, O. I. Berchenko // Stratigrafiya verkh'n'ogo proterozoyu ta fanerozoyu Ukrainy / gol. red. P. F. Gozhik. – Kyiv : IGN NAN Ukrainy : Logos, 2013. – T. 1. – S. 200–243.

59. Stratigrafiya devonskikh otlozhenii Uvarovichsko-Uritskoi ploshchadi (yugo-vostok Belarusi) / S. A. Kruchek, T. G. Obukhovskaya, M. G. Levyi, V. Yu. Obukhovskaya // Problemy almazonosnosti Belarusi. – Mn., 1999. – S. 57–71.

60. Obukhovskaya, V. Yu. Stratigrafiya franskikh otlozhenii vostochnoi chasti Severo-Pripyatskogo plecha i sopredel'nykh struktur / V. Yu. Obukhovskaya, T. F. Sachenko, S. A. Kruchek // Litasfera. – 2007. – № 1 (26). – S. 29–39.

61. Resheniya Mezhdovedomstvennogo regional'nogo stratigraficheskogo soveshchaniya po razrabotke unifitsirovannykh stratigraficheskikh skhem Belorussii, 1981 (s unifitsirovannymi stratigraficheskimi korrelyatsionnymi tablitsami). – L. : VSEGEI, 1983.

62. Plaks, D. P. Ikhtiofauna iz verkhnefranskikh otlozhenii Belarusi / D. P. Plaks // Fundamental'naya i prikladnaya paleontologiya : Materialy LXIV sessii Paleontol. o-va pri RAN, Sankt-Peterburg, 2–6 apr. 2018 g. ; redkol.: T. N. Bogdanova [i dr.]. – SPb., 2018. – S. 217–218.

63. Plax, D. P. Vertebrate Assemblages of the Rehtsian Time (Beginning of the Late Frasnian, Late Devonian) in the East European Platform / D. P. Plax, O. A. Lebedev, P. A. Beznosov // Paleontological Journal. – 2024. – Vol. 58, suppl. 4. – P. S329–S357.

64. Ivanov, A. O. New Chondrichthyan Assemblages from the Upper Devonian-Carboniferous of Belarus / A. O. Ivanov, D. P. Plax // Paleontological Journal. 2024. – Vol. 58, suppl. 4. – P. S391–S402.

65. Avkhimovich, V. I. Correlation of Uppermost Devonian and Lower Carboniferous microspore zonations in Byelorussia, Poland and Western Europe / V. I. Avkhimovich, E. Turnau, Cr. Clyton // Annales de la Societe geologique de Belgique. – 1993. – T. 115, fasc. 2 (1992). – P. 453–458.

66. Zonal'naya stratigrafiya fanerozoya Rossii / nauch. red. T. N. Koren'. – SPb. : Izd-vo VSEGEI, 2006. – 256 s.

67. Newman, M. Late Devonian (Famennian) acanthodians (Acanthodii) from Belarus and their correlation elsewhere in Laurasia / M. Newman, D. P. Plax // Fossil Record 10. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 100. – 2025. – P. 153–166.

68. Plaks, D. P. Ikhtiofauna iz otlozhenii starobinskogo gorizonta verkhnego famena Pripyatskogo progiba Belarusi / D. P. Plaks // Zakonomernosti evolyutsii i biostratigrafiya : Materialy LXX sessii Paleontol. o-va pri RAN, Sankt-Peterburg, 1–5 apr. 2024 g. ; redkol.: M. A. Tkachenko [i dr.]. – SPb. : Kartf-ka In-ta Karpinskogo, 2024. – S. 254–255.

69. Byvsheva, T. V. Etapy razvitiya flory (po sporam) na rubezhe devona i karbona / T. V. Byvsheva, Ye. V. Chibrikova, V. I. Avkhimovich // Granitsa devona i karbona na territorii SSSR. – Mn., 1988. – S. 326–335.

70. Higgs, K. Spore stratigraphy at the Devonian – Carboniferous boundary in the northern «Rheinisches Schiefergebirge», Germany / K. Higgs, M. Streel // Cour. Forsch. Inst. Senckenberg. – 1984. – Nr 67. – P. 157–179.

71. Avkhimovich, V. I. Kharakternyi razrez pogranichnykh otlozhenii devona i karbona Pripyatskoi vpadiny / V. I. Avkhimovich, V. K. Golubtsov, E. K. Demidenko // Granitsa devona i karbona na territorii SSSR. – Mn., 1988. – S. 40–52.

72. Stratigraficheskaya skhema devonskikh otlozhenii Belarusi / T. G. Obukhovskaya [i dr.] // Litasfera. – 2005. – № 1 (22). – S. 69–88.

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;
- міжрадковы інтэрвал – адзінары;
- 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 13.10.2025 № 206). 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. 6 об.]). Не дапускаецца выкарыстанне канцавых зносак.

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:

- выписка 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 правэркі тэксту на прадмет арыгінальнасці пры дапамозе інструмента «Антыплагіят».

Усе артыкулы абавязкова праходзяць «сляпое» рэцэнзаванне. 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. Кізу

Падпісана ў друк 05.12.2025. Фармат 60×84/8. Папера афсетная. Гарнітура Таймс. Рызаграфія.

Ум. друк. арк. 21,16. Ул.-выд. арк. 15,65. Тыраж 50 экз. Заказ № 445.

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.