



ВЕСНІК

БРЭСЦКАГА ЁНІВЕРСІТЭТА

Рэдакцыйная калегія

галоўны рэдактар
Ю. П. Голубеў

намеснік галоўнага рэдактара
М. А. Багдасараў

адказны рэдактар
Н. С. Ступень

І. В. Абрамава (Беларусь)

А. А. Афонін (Расія)

А. М. Вігчанка (Беларусь)

А. А. Волчак (Беларусь)

А. І. Градунова (Беларусь)

В. В. Грычык (Беларусь)

С. В. Емяльянчык (Беларусь)

В. Ф. Кулеш (Беларусь)

В. У. Марцірасян (Расія)

А. А. Махнач (Беларусь)

А. В. Мацвееў (Беларусь)

У. У. Салтанаў (Беларусь)

А. А. Сідаровіч (Беларусь)

А. М. Тарасюк (Беларусь)

Я. К. Яловічава (Беларусь)

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

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

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

Серыя 5

БІЯЛОГІЯ

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

НАВУКОВА-ТЭАРЭТЫЧНЫ ЧАСОПІС

Выходзіць два разы на год

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

№ 1 / 2024

У адпаведнасці з Дадаткам да загада
Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь
ад 06.02.2024 № 30 (са змяненнямі, унесенымі загадам
ад 03.05.2024 № 109) часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта.
Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі»
ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь
для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў у 2024 г.
па біялагічных, геаграфічных і геалага-мінэралагічных навуках

◇ ◇ ◇

У адпаведнасці з дагаворам паміж установай адукацыі
«Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А. С. Пушкіна»
і ТАА «Навуковая электронная бібліятэка» (ліцэнзійны дагавор
№ 457-11/2020 ад 03.11.2020) часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта.
Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі»
размяшчаецца на платформе eLIBRARY.RU
і ўключаны ў Расійскі індэкс навуковага цытавання (РІНЦ)

ЗМЕСТ

БІЯЛОГІЯ

Артемук Е. Г. Влияние тетраасукцината 24-эпикастерона на морфометрические параметры и содержание	5
Бадун Е. Г., Шуриберко А. В., Казинец Ю. Е., Кузнецов О. Е. Взаимосвязь макро- и микроэлементного состава митохондрий с антиоксидантным статусом и содержанием белков-транспортеров ZnT1, ZIP14 и MT-2 в сердце крыс на фоне пятисуточной алкогольной интоксикации.....	13
Бонь Е. Г., Максимович Н. Е., Дремза И. К., Кохан Н. В. Характеристика изменений прооксидантно-антиоксидантного баланса нейронов коры головного мозга крыс при субтотальной церебральной ишемии на фоне введения омега-3 полиненасыщенных жирных кислот.....	23
Вабищевич М. М., Шкуратова Н. В. Современная структура флоры Столинского района на примере окрестностей аг. Плотница.....	31
Демянчик В. Т., Лукьянчик М. А., Демянчик В. В. Сезонная динамика редких видов птиц на городской зимовке	40
Колмаков П. Ю. Анализ видового состава рода <i>Russula</i> Pers. в Республике Беларусь	47
Корзюк О. В. Рострегулирующая активность эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на растения амаранта трехцветного.....	59
Хомич Г. Е. Воздействие статической нагрузки на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы у людей, постоянно живущих в районах радионуклидного загрязнения.....	69
Цыбулько Н. Н., Цырибко В. Б., Алексейчик Е. В. Дефлированные почвы: диагностические критерии и распространение на территории Беларуси.....	77
Юй Чао, Лагодич А. В. Особенности синтеза шикимовой кислоты бактериями <i>Bacillus subtilis</i> с инактивированным геном шикиматкиназы.....	84

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

Богдасаров М. А., Богдасарова Ю. В., Волчек А. А., Таболин В. В. Городская среда и качество жизни как категории междисциплинарного исследования	94
Гусев А. П. Оценка современной геодинамической активности территории (на примере юго-востока Беларуси)	105
Волчек А. А., Гречаник А. В. Асинхронность в формировании максимальных скоростей ветра на территории Беларуси в современных условиях.....	115
Рылова Т. Б. О новых местонахождениях беловежских отложений плейстоцена на территории Ивацевичского района Брестской области	128

Editorial Board

editor-in-chief
Yu. P. Golubeu

deputy editor-in-chief
M. A. Bahdasarau

managing editor
N. S. Stupen

I. V. Abramava (Belarus)

A. A. Afonin (Russia)

A. M. Vitshanka (Belarus)

A. A. Volchak (Belarus)

A. I. Hradunova (Belarus)

V. V. Hrychyk (Belarus)

S. V. Yemialianchyk (Belarus)

V. F. Kulesh (Belarus)

V. U. Martsirasyan (Russia)

A. A. Makhnach (Belarus)

A. V. Matsveyeu (Belarus)

U. U. Saltanau (Belarus)

A. A. Sidarovich (Belarus)

A. M. Tarasiuk (Belarus)

Ya. K. Yalovichava (Belarus)

Series 5

BIOLOGY

SCIENCES ABOUT EARTH

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

Issued twice a year

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

№ 1 / 2024

According to the Supplement to the order of Supreme Certification Commission of the Republic of Belarus from February 06, 2024 nr 30 (with the amendments made by the order of Supreme Certification Commission from May 03, 2024 nr 109) the journal «Vesnik of Brest University.

Series 5. Biology. Sciences about earth» has been included to the List of scientific editions of the Republic of Belarus for publication of the results of scientific research in 2024 in biological, geographical and geological-mineralogical sciences

◇ ◇ ◇

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

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

CONTENTS

BIOLOGY

Alena Artsiamuk.

The Effect of 24-Epicasterone Tetrasuccinate on the Morphometric Parameters and Content Photosynthetic Pigments in *Trifolium Pratense* L. Plants.....5

Alena Badun, Aliaksei Shuryberka, Katsiaryna Kazinets, Yrii Razvodovsky, Aleh Kuzniatsou.

Relationship of the Macro- and Microelement Composition of Mitochondria with Antioxidant Status and the Content of Transporter Proteins ZnT1, ZIP14 and MT-2 in the Heart of Rats During Five-Day Alcohol Intoxication13

Elizaveta Bon, Natalia Maksimovich, Iosif Dremza, Nikita Kokhan.

Characteristics of Changes in the Prooxidant-Antioxidant Balance of the Neurons of the Cerebral Cortex of Rats with Subtotal Cerebral Ischemia on the Background of the Introduction of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids.....23

Maxim Vabishchevich, Natalia Shkuratova.

The Modern Structure of the Flora of the Stolinsky District on the Example of the Surroundings of ag. Plotnitsa31

Victar Dziamianchyk, Mihail Lukyanchik, Victor V. Dziamianchyk.

Seasonal Dynamics of Rare Bird Species in Urban Wintering40

Pavel Kolmakov.

Analysis of the Species Composition of the Genus *Russula* Pers. In the Republic of Belarus.....47

Aksana Karziuk.

Growth-Regulating Activity of Epicasterone and its Acid Conjugates on Tricolour Amaranth Plants59

Galina Khomich.

The Effect of Static Load on the Functional State on the Cardiovascular System People Who Live Permanently in the Districts Radionuclide Contamination69

Mikalai Tsybulka, Viktor Tsyribko, Elena Alexeichik.

Deflated Soils: Diagnostic Criteria and Distribution in the Territory of Belarus.....77

Yu Chao, Aliaksei Lahodzich.

Features of Shikimic Acid Synthesis by *B. Subtilis* Strains with Inactive Gene of Shikimat Kinase....84

SCIENCES ABOUT EARTH

Maksim Bahdasarau, Yuliya Bahdasarava, Alexander Volchek, Vladimir Tabolin.

Urban Environment and Quality of Life as Categories of Interdisciplinary Research.....94

Andrei Gusev.

Assessment of Contemporary Geodynamic Activity of the Territory (on the Example of the South-East of Belarus)105

Alexander Volchek, Aliona Hrachanik.

Asynchronicity in the Formation of Maximum Wind Speed on the Territory of Belarus in Modern Conditions.....115

Tatyana Rylova.

New Locations of Pleistocene Belovezhian Sediments on the Territory of Ivatsevichi District of Brest Region.....128

БІАЛОГІЯ

УДК 577.175.1:581.143:57.085

Елена Георгиевна Артемук

канд. биол. наук, доц., зав. каф. зоологии, генетики и химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Alena Artsiamuk

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Zoology, Genetics and Chemistry
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: artsiamuk@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕТРАСУКЦИНАТА 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *TRIFOLIUM PRATENSE* L.*

Изучена биологическая активность конъюгата 24-эпикастастерона (ЭК) – тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях клевера лугового в зависимости от типов обработки. В опытах на беспочвенной среде отмечается положительное действие тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона на рост корней клевера лугового в концентрации 10^{-9} М и 10^{-8} М. По результатам вегетационного лабораторного опыта из протестированных веществ и концентраций для клевера лугового максимальным эффектом повышения морфометрических параметров (длины корня и побега) и содержания фотосинтетических пигментов обладает тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-9} М (как при использовании предпосевной обработки семян, так и при внекорневой обработке), а также 24-эпикастастерон в концентрации 10^{-10} М при внекорневой обработке растений (опрыскивание).

Ключевые слова: brassinosteroids, 24-эпикастастерон, тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастастерона, клевер, рострегулирующая активность, фотосинтетические пигменты.

The Effect of 24-Epicasterone Tetrasuccinate on the Morphometric Parameters and Content Photosynthetic Pigments in Trifolium Pratense L. Plants

The biological activity of the 24-epicasterone (EC) conjugate – 24-epicasterone tetrasuccinate was studied on morphometric parameters and the content of photosynthetic pigments in red clover plants depending on the types of treatment. In experiments on a soilless medium, a positive effect of 24-epicasterone tetrasuccinate on the growth of meadow clover roots was noted at concentrations of 10^{-9} M and 10^{-8} M. According to the results of a vegetation laboratory experiment, of the tested substances and concentrations for red clover, the maximum effect of increasing morphometric parameters (root and shoot length) and the content of photosynthetic pigments has 24-epicasterone tetrasuccinate at a concentration of 10^{-9} M, both when using pre-sowing seed treatment and foliar treatment, as well as 24-epicasterone at a concentration of 10^{-10} M during foliar treatment of plants (spraying).

Key words: brassinosteroids, 24-epicasterone, 24-epicasterone tetrasuccinate, clover, growth-regulating activity, photosynthetic pigments.

Введение

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур в изменяющихся условиях среды остается одной из важнейших задач в растениеводстве. Сегодня наряду с общепринятыми способами улучшения качества сельскохозяйственной продукции, а также повышения его устойчивости к неблагоприятным факторам используют различные биологически активные вещества, которые способны не только повышать

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных brassinosteroidов 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 г.).

иммунитет растений к стрессовым факторам, но и не наносит вреда почве, в которой выращивается культура. К таким веществам относятся брассиностероиды (БС) – класс растительных стероидных соединений, играющих важную роль в регуляции физиологических процессов у растений [1]. Доказано, что в небольших концентрациях они оказывают положительное влияние на урожайность и качество урожая некоторых сельскохозяйственных культур [2; 3]. Имеются исследования, доказывающие защитное действие БС в определенном диапазоне концентраций, приводящее к ослаблению ингибирующих растений стрессовых факторов [4; 5]. Для возможного улучшения физико-химических, регуляторных и защитных свойств БС синтезированы их конъюгаты с другими органическими соединениями, в том числе и кислотами, обладающими определенной биологической активностью. Сегодня продолжают исследования фитостероидных гормонов – брассиностероидов – и их новых синтезированных производных (конъюгатов) [6–8] с целью определения наиболее эффективных концентраций и способов обработки, оказывающих влияние на функциональные параметры (морфометрические и биохимические), в особенности на рост и развитие растений, в частности клевера лугового *Trifolium pratense* L.

Целью данного исследования является изучение биологической активности 24-эпикастастерона и его конъюгата с янтарной кислотой на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях клевера лугового *Trifolium pratense* L.

Материалы и методы

Для изучения влияния биологической активности 24-эпикастастерона и его конъюгата – тетраасукцината 24-эпикастастерона в качестве объекта исследования был выбран клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта Слуцкий. Клевер луговой сорта Слуцкий – местный сорт, широко распространенный в хозяйствах Республики Беларусь.

24-эпикастастерон и его конъюгат – 2,3,22,23-тетраасукцинат 24-эпикастастерона (S439) синтезированы в Лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

Определение эффективных концентраций 2, 3, 22, 23-тетраасукцината 24-эпикастастерона в лабораторных условиях. Обработка исследуемыми веществами проводилась однократно в виде предварительного замачивания семян на 5 ч. Для исследований был использован широкий диапазон концентраций тетраасукцината 24-эпикастастерона – 10^{-6} – 10^{-11} М. 24-эпикастастерон (ЭК) для лабораторных исследований использовался в концентрации 10^{-10} М, при которой в предыдущих опытах оказывался максимальный эффект на морфометрические параметры (длину корня и побега) клевера лугового. Изучение морфометрических параметров клевера, характеризующих начальные этапы роста и развития сельскохозяйственных культур, проводилось по ГОСТу 12038–84 [9]. Проращивание осуществлялось на фильтровальной бумаге в термостате при 20 °С в темноте, на третьи сутки фиксировали энергию прорастания семян, на седьмые сутки определяли всхожесть, среднюю длину корней и побегов проростков клевера [10]. Все опыты проводились в четырехкратной повторности. В качестве контроля использовалась обработка водой. В результате проведенных исследований были отобраны эффективные концентрации 2, 3, 22, 23-тетраасукцината 24-эпикастастерона, оказывающие наибольший достоверный эффект на рост корней и побегов клевера лугового.

Определение воздействия ЭК и его конъюгата – тетраасукцината 24-эпикастастерона на клевер луговой в вегетационном лабораторном эксперименте при различных способах обработки. В лабораторных условиях на почвенной среде [11–13] были протестированы два способа обработки растений гормонами в отобранных концентрациях: предпосевная (замачивание семян) и внекорневая обработка (опрыскивание рас-

тений). При предпосевной обработке семена замачивали в растворе ЭК и его конъюгата – тетраэтиксукцината 24-эпикастастерона в течение пяти часов, далее высаживали в пластиковые контейнеры $9 \times 9 \times 8$ см на универсальном почвогрунте («Хозяин, Карио», Республика Беларусь) и выращивали при $22\text{--}25^\circ\text{C}$ в лабораторных условиях вегетационного эксперимента в течение месяца. При внекорневой обработке семена высаживались в контейнеры без обработки, внесение исследуемых соединений проводили путем опрыскивания растений. Внекорневая обработка проводилась дважды – на стадии всходов растений и на стадии первого настоящего тройчатого листа.

В качестве контроля растения выращивали с обработкой водой. Фиксировались значения длины подземной (корней) и надземной (побегов) частей клевера лугового, а также содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов). Для определения содержания основных фотосинтетических пигментов использовали спектрофотометрический метод [14; 15]. В качестве растворителя был выбран 100 %-й ацетон.

Статистическую обработку всех полученных результатов проводили по общепринятым методикам биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [16] с использованием программы Microsoft Excel и *t*-критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Изучение влияния конъюгата 24-эпикастастерона – тетраэтиксукцината 24-эпикастастерона (S439) на длину корня клевера лугового показало, что растения клевера положительно отзываются на предварительное замачивание в растворах исследуемого стероидного соединения в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-8} М (таблица 1, рисунок 1). Так, использование S439 в концентрации 10^{-9} М приводило к увеличению средней длины корней на 15,0 % по сравнению с контролем (различия статистически достоверны). Использование S439 в концентрации 10^{-8} М приводило к статистически достоверному увеличению средней длины корней на 22,7 % по сравнению с контролем, а побегов – на 3,5 %.

В сравнении с действием 24-эпикастастерона (ЭК) на клевер луговой (в концентрации 10^{-10} М) тетраэтиксукцинат 24-эпикастастерона (S439) в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-8} М оказывал незначительное, но все-таки более высокое воздействие на рост корней клевера лугового на начальной стадии их роста. Так, наблюдалось повышение длины корней на 1,1 и 7,9 % по сравнению с ЭК (таблица 1, рисунок 1).

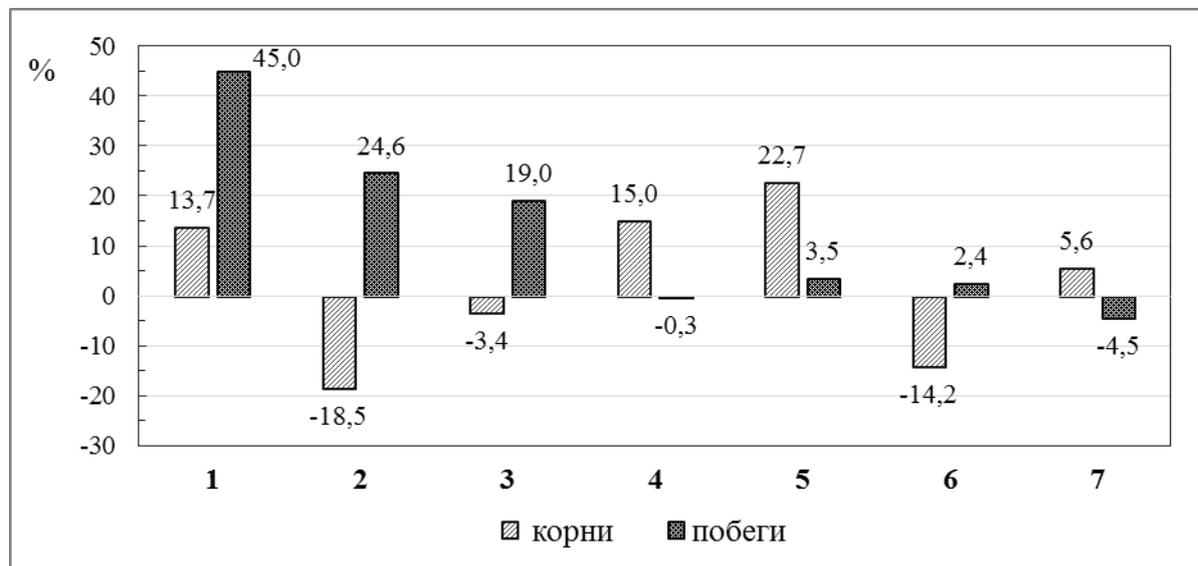
Таблица 1 – Влияние 24-эпикастастерона и тетраэтиксукцината 24-эпикастастерона на морфометрические параметры клевера лугового сорта Слуцкий в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Контроль	$23,3 \pm 0,74$	100,0	$28,9 \pm 0,65$	100,0
ЭК, 10^{-10} М	$26,5 \pm 0,42^{***}$	113,7	$41,9 \pm 0,61^{***}$	145,0
S439, 10^{-11} М	$19,0 \pm 0,47^{***}$	81,5	$36,0 \pm 0,34^{***}$	124,6
S439, 10^{-10} М	$22,5 \pm 0,59$	96,6	$34,4 \pm 0,53^{***}$	119,0
S439, 10^{-9} М	$26,8 \pm 0,75^{***}$	115,0	$28,8 \pm 0,42$	99,7
S439, 10^{-8} М	$28,6 \pm 0,58^{***}$	122,7	$29,9 \pm 0,44$	103,5
S439, 10^{-7} М	$20,0 \pm 0,62^{***}$	85,8	$29,6 \pm 0,51$	102,4
S439, 10^{-6} М	$24,6 \pm 0,72$	105,6	$27,6 \pm 0,58$	95,5

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

Таким образом, по результатам лабораторного опыта наиболее эффективными концентрациями тетраэтиксукцината 24-эпикастастерона (S439), оказывающими наибольший достоверный эффект на рост корней клевера лугового, являются 10^{-9} М и 10^{-8} М.

Эти концентрации были использованы для анализа влияния конъюгата 24-эпикастастерона – тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях клевера лугового, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта.



1 – ЭК, 10^{-10} М; 2 – S439, 10^{-11} М; 3 – S439, 10^{-10} М; 4 – S439, 10^{-9} М;
5 – S439, 10^{-8} М; 6 – S439, 10^{-7} М; 7 – S439, 10^{-6} М

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастастерона и тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона на морфометрические параметры клевера лугового сорта Слуцкий, % относительно контроля

Вегетационный лабораторный эксперимент

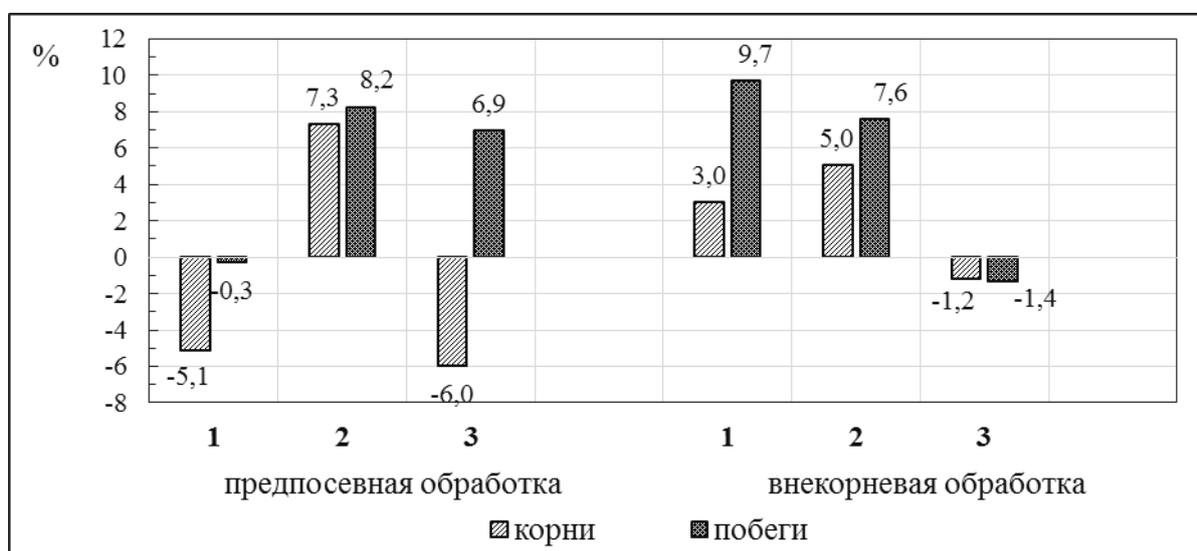
Второй блок исследований был связан с анализом влияния конъюгата 24-эпикастастерона – тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры клевера лугового, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта, с изучением параметров длины подземной и надземной частей, а также содержания основных фотосинтетических пигментов. Для проведения вегетационного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации ЭК и его конъюгата – тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на посевные качества семян, рост корней и побегов клевера лугового.

Исследование воздействия ЭК и его конъюгата S439 на морфометрические параметры клевера лугового (средняя длина корней и средняя длина побегов) показало, что только S439 в концентрации 10^{-9} М оказывал положительное влияние при предпосевной обработке семян клевера лугового (таблица 2, рисунок 2). Так, при обработке S439 в концентрации 10^{-9} М длина корней увеличивалась на 7,3 %, побегов – на 8,2 % по сравнению с контролем (различия статистически достоверны). При внекорневой обработке (двойное опрыскивание растений) положительное влияние на рост корней и побегов оказал ЭК в концентрации 10^{-10} М (длина корней увеличивалась на 3,0 % (однако различия статистически не достоверны), побегов – на 9,7 % по сравнению с контролем) и его конъюгат S439 в концентрации 10^{-9} М (длина корней была выше на 5,0 %, побегов – на 7,6 % по сравнению с контролем, различия статистически достоверны) (таблица 2, рисунок 2).

Таблица 2 – Влияние 24-эпикастерона и тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические параметры клевера лугового сорта СЛУЦКИЙ (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Предпосевная обработка				
Контроль	46,8 ± 0,96	100,0	63,6 ± 1,0	100,0
ЭК ⁻¹⁰ М	44,4 ± 0,72*	94,9	63,4 ± 0,87	99,7
S439, 10 ⁻⁹ М	50,2 ± 0,84**	107,3	68,8 ± 1,15***	108,2
S439, 10 ⁻⁸ М	44,0 ± 1,06	94,0	68,0 ± 1,22**	106,9
Внекорневая обработка				
Контроль	49,6 ± 0,53	100,0	65,9 ± 0,97	100,0
ЭК ⁻¹⁰ М	51,1 ± 0,56	103,0	72,3 ± 1,02***	109,7
S439, 10 ⁻⁹ М	52,1 ± 0,57**	105,0	70,9 ± 1,04***	107,6
S439, 10 ⁻⁸ М	49,0 ± 0,72	98,8	65,0 ± 0,93	98,6

Примечание – * – достоверно при P ≤ 0,05; ** – при P ≤ 0,01; *** – при P ≤ 0,001.



1 – ЭК, 10⁻¹⁰ М; 2 – S439, 10⁻⁹ М; 3 – S439, 10⁻⁸ М

Рисунок 2 – Влияние 24-эпикастерона и тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические параметры клевера лугового сорта СЛУЦКИЙ, % относительно контроля

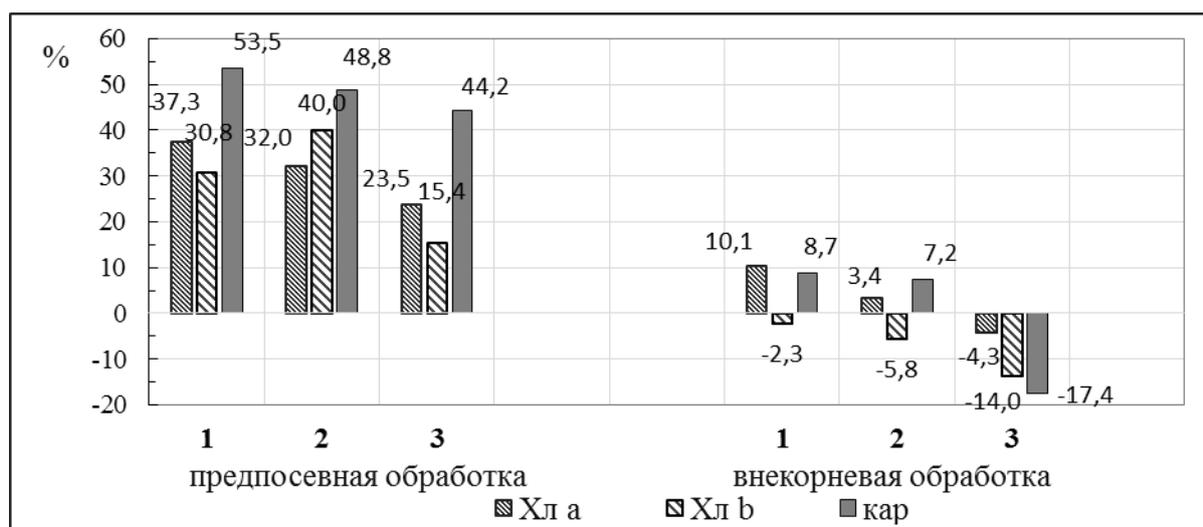
Исследование содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях клевера лугового проводилось с изучением концентрации хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов (Кар). При предпосевном замачивании семян клевера в растворах brassinosteroidов наблюдается увеличение содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях при использовании ЭК и его конъюгата S439 в концентрациях 10⁻⁹ М и 10⁻⁸ М (по сравнению с контролем). Однако эти различия статистически достоверны только для ЭК и S439 в концентрации 10⁻⁹ М. Так, содержание хлорофилла *a* увеличивается на 23,5–37,3 %, хлорофилла *b* на 15,4–40,0 % и каротиноидов – на 44,2–53,5 % по сравнению с контролем (таблица 3, рисунок 3). При внекорневой обработке увеличение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов наблюдается при использовании ЭК в концентрации 10⁻¹⁰ М (на 10,1 и 8,7 % соответственно) и его

кон'югата S439 в концентрации 10^{-9} М (на 3,4 и 7,2 % соответственно). Однако разница с контролем статистически не достоверна.

Таблица 3 – Влияние 24-эпикастерона и тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастерона на содержание фотосинтетических пигментов в листьях клевера лугового сорта Слуцкий (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Содержание, мг/г		
	хлорофилла <i>a</i>	хлорофилла <i>b</i>	каротиноидов
Предпосевная обработка			
Контроль	1,53 ± 0,10	0,65 ± 0,05	0,43 ± 0,02
ЭК ⁻¹⁰ М	2,10 ± 0,04*	0,85 ± 0,02*	0,66 ± 0,01**
S439, 10 ⁻⁹ М	2,02 ± 0,12*	0,91 ± 0,05*	0,64 ± 0,01**
S439, 10 ⁻⁸ М	1,89 ± 0,11	0,75 ± 0,04	0,62 ± 0,02**
Внекорневая обработка			
Контроль	2,08 ± 0,13	0,86 ± 0,02	0,69 ± 0,02
ЭК ⁻¹⁰ М	2,29 ± 0,03	0,84 ± 0,05	0,75 ± 0,01
S439, 10 ⁻⁹ М	2,15 ± 0,07	0,81 ± 0,02	0,74 ± 0,02
S439, 10 ⁻⁸ М	1,99 ± 0,10	0,74 ± 0,04*	0,57 ± 0,01*

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



1 – ЭК, 10^{-10} М; 2 – S439, 10^{-9} М; 3 – S439, 10^{-8} М

Рисунок 3 – Влияние 24-эпикастерона и тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастерона на содержание фотосинтетических пигментов в листьях клевера лугового сорта Слуцкий, % относительно контроля

Заклучение

В лабораторных условиях проведено двухэтапное исследование биологической активности кон'югата 24-эпикастерона (ЭК) – тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастерона по влиянию на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях клевера лугового *Trifolium pratense* L. В почвенной среде дополнительно изучены зависимости влияния исследуемого кон'югата от способов его внесения.

Показано, что в лабораторных условиях на начальном этапе развития растений наиболее эффективными концентрациями тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастерона (S439),

оказывающими наибольший достоверный эффект на рост корней клевера лугового, являются 10^{-9} М и 10^{-8} М.

По результатам вегетационного лабораторного опыта из протестированных веществ и концентраций для клевера лугового максимальным эффектом повышения морфометрических параметров (длины корня и побега) и содержания фотосинтетических пигментов обладает тетраэтилат 24-эпикастастерона (S439) в концентрации 10^{-9} М (как при использовании предпосевной обработки семян, так и при внекорневой обработке), а также 24-эпикастастерон в концентрации 10^{-10} М при внекорневой обработке растений (опрыскивание).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жабинский, В. Н. Синтез, свойства и практическое использование brassinosterоидов и родственных соединений : автореф. дис. ... д-ра хим. наук : 02.00.03 / В. Н. Жабинский ; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2000. – 46 с.
2. Кароза, С. Э. Влияние brassinosterоидов на морфометрические показатели гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) в лабораторных и полевых условиях (Брестская область) / С. Э. Кароза // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2018. – № 2. – С. 38–44.
3. Кароза, С. Э. Влияние стероидных гликозидов на начальные этапы роста и урожайность гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) в лабораторных и полевых условиях (Брестская область) / С. Э. Кароза // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2020. – № 1. – С. 45–53.
4. Особенности действия brassinosterоидов на растения в условиях солевого стресса / Н. А. Ламан [и др.] // Докл. НАН Беларуси. Биология. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 199–205.
5. Биологическая активность brassinosterоидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы. – Брест : БрГУ, 2020. – 260 с.
6. Synthesis and stress-protective action on plants of brassinosterоid conjugates with salicylic acid / R. P. Litvinovskaya [et al.] // Chemistry of Natural Compounds. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 452–457.
7. Защитное действие салицилатов brassinosterоидов на растения ярового ячменя, подвергнутых биотическому стрессу / Н. Е. Манжелесова [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 304–311.
8. Индолил-3-ацетоксипроизводные brassinosterоидов: синтез и рострегулирующая активность / Р. П. Литвиновская [и др.] // Химия природ. соединений. – 2013. – № 3. – С. 408–414.
9. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
10. Методика определения силы роста семян кормовых культур / В. И. Карпин [и др.]. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 16 с.
11. Журбицкий, З. И. Теория и практика вегетационного метода / З. И. Журбицкий. – М. : Наука, 1968. – 260 с.
12. Дуктова, Н. А. Учебная практика по физиологии и биохимии растений : программа и метод. указания / Н. А. Дуктова, А. И. Мыхлык, В. П. Моисеев. – Горки : БГСХА, 2018. – 56 с.
13. Агрохимические методы исследований : учеб.-метод. пособие / В. Н. Дышко [и др.]. – Смоленск : ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2014. – 197 с.
14. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.

15. Шульгин, И. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм / И. А. Шульгин, А. А. Ничипорович // Хлорофилл : сб. науч. ст. / под ред. А. А. Шлыка. – Минск : Наука и техника, 1974. – С. 121–136.
16. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Zhabinskij, V. N. Sintez, svojstva i praktichieskoje ispol'zovanije brassinosteroidov i rodstviennykh sojedinenij : avtorief. dis. ... d-ra khim. nauk : 02.00.03 / V. N. Zhabinskij ; Belorus. gos. un-t. – Minsk, 2000. – 46 s.
2. Karoza, S. E. Vlijanije brassinosteroidov na morfometričieskije pokazateli griechikhi posievnoj (*Fagopyrum esculentum* Moench.) v laboratornykh i polievnykh uslovijakh (Briestskaaja oblast') / S. E. Karoza // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Khimija. Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2018. – № 2. – S. 38–44.
3. Karoza, S. E. Vlijanije steroidnykh glikozidov na nachal'nyje etapy rosta i urozhajnost' grechikhi posievnoj (*Fagopyrum esculentum* Moench.) v laboratornykh i polievnykh uslovijakh (Briestskaaja oblast') / S. E. Karoza // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Khimija. Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2020. – № 1. – S. 45–53.
4. Osobiennosti dejstvija brassinosteroidov na rastienija v uslovijakh solievogo stressa / N. A. Laman [i dr.] // Dokl. NAN Bielarusi. Biologija. – 2022. – T. 66, № 2. – S. 199–205.
5. Biologichieskaja aktivnost' brassinosteroidov i steroidnykh glikozidov / S. E. Karoza [i dr.] ; pod obshch. ried. S. E. Karozy ; Briest. gos. un-t im. A. S. Pushkina. – Brest : BrGU, 2020. – 260 s.
6. Synthesis and stress-protective action on plants of brassinosteroid conjugates with salicylic acid / R. P. Litvinovskaya [et al.] // Chemistry of Natural Compounds. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 452–457.
7. Zashchitnoje dejstvije salicilatov brassinosteroidov na rastienija jarovogo jachmienia, podviergnutykh biotichieskomu stressu / N. Ye. Manzheliesova [i dr.] // Dokl. NAN Bielarusi. – 2019. – T. 63, № 3. – S. 304–311.
8. Indolil-3-acetoksi proizvodnyje brassinosteroidov: sintez i rostriegulirujushchaja aktivnost' / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Khimija prirod. sojediniy. – 2013. – № 3. – S. 408–414.
9. Siemiena siel'skohoziastviennykh kul'tur. Mietody opriedielienija vskhozhesti : GOST 12038–84. – Vvied. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.
10. Mietodika opriedielienija sily rosta siemian kormovykh kul'tur / V. I. Karpin [i dr.]. – M. : Izd-vo RGAU-MSKHA, 2012. – 16 s.
11. Zhurbickij, Z. I. Tiorija i praktika viegiatacionnogo mietoda / Z. I. Zhurbickij. – M. : Nauka, 1968. – 260 s.
12. Duktova, N. A. Uchiebnaja praktika po fiziologii i biokhimii rastienij : programma i mietod. ukazaniya / N. A. Duktova, A. I. Mykhlyk, V. P. Moisiejev. – Gorki : BGSKhA, 2018. – 56 s.
13. Agrokhimichieskije mietody issliedovaniy : uchieb.-mietod. posobije / V. N. Dyshko [i dr.]. – Smoliensk : FGBOU VPO «Smolienskaja GSKhA», 2014. – 197 s.
14. Gavrilienko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilienko, T. V. Zhigalova ; pod ried. I. P. Jermakova. – M. : Akadiemija, 2003. – 256 s.
15. Shul'gin, I. A. Raschiot sodierzhanija pigmientov s pomoshch'ju nomogram / I. A. Shul'gin, A. A. Nichiporovich // Khlorofill : sb. nauch. st. / pod ried. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1974. – S. 121–136.
16. Rokickij, P. F. Biologichieskaja statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Uradzhaj, 1973. – 320 s.

УДК 612.393.1+577.112.3+612.396.22

*Елена Генриховна Бадун¹, Алексей Владимирович Шуриберко², Екатерина Олеговна Казинец³,
Юрий Евгеньевич Разводовский⁴, Олег Евгеньевич Кузнецов⁵*

¹мл. науч. сотрудник сектора молекулярной генетики
отдела медико-биологических проблем алкоголизма

²руководитель сектора молекулярной биологии
отдела медико-биологических проблем алкоголизма

³мл. науч. сотрудник отдела медико-биологических проблем алкоголизма

⁴канд. биол. наук, зав. отделом медико-биологических проблем алкоголизма

⁵канд. биол. наук, доц., директор Института биохимии биологически активных соединений
Национальной академии наук Беларуси

Alena Badun¹, Aliaksei Shuryberka², Katsiaryna Kazinets³, Yrii Razvodovsky⁴, Aleh Kuzniatsou⁵

¹Junior Researcher of the Molecular Biology Sector
of the Department of Biomedical Problems of Alcoholism

²Head of the Sector of Molecular Biology
of the Department of Medical and Biological Problems of Alcoholism

³Junior Researcher of the Department of Biomedical Problems of Alcoholism

⁴Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Medical and Biological Problems of Alcoholism

⁵Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Director of the Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds
of National Academy of Sciences of Belarus

e-mail: ¹eshydowska@gmail.com; ²the_chemistry@tut.by; ³ekaterina.lichick@mail.ru;

⁴razvodovsky@tut.by; ⁵olegkuznetsov@inbox.ru

ВЗАИМОСВЯЗЬ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МИТОХОНДРИЙ С АНТИОКСИДАНТНЫМ СТАТУСОМ И СОДЕРЖАНИЕМ БЕЛКОВ- ТРАНСПОРТЕРОВ ZNT1, ZIP14 И MT-2 В СЕРДЦЕ КРЫС НА ФОНЕ ПЯТИСУТОЧНОЙ АЛКОГОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

Исследован элементный состав митохондрий, активность антиоксидантной системы, количество цитохрома P450 2E1, белков-транспортеров ZnT1, ZIP14 и MT-2 в сердце крыс при пятисуточной алкогольной интоксикации (АИ 5 сут.). Показано, что АИ 5 сут. приводит к повреждению кардиомиоцитов путем индукции свободнорадикальных процессов в ткани сердца, что сопровождается повышением активности каталазы, продуктов перекисного окисления липидов в сердце и плазме крови, количества сердечного митросомального цитохрома P450 2E1. При этом установлено снижение глутатионпероксидазы в сердце и восстановленного глутатиона в цельной крови и сердце на фоне АИ 5 сут. Пятисуточная алкогольная интоксикация сопровождается повышением уровня кальция и снижением магния, цинка, железа и селена в митохондриях сердца крыс, а также подавляет работу ZIP14. Использование композиции L-аргинина и L-глутаминна с цинком и магнием на фоне пятисуточной алкогольной интоксикации предупреждает окислительный стресс в ткани сердца, нивелирует изменения элементного состава митохондрий сердца, снижает количество цитохрома P450 и повышает экспрессию транспортных белков ZnT1, ZIP14, MT-2 в сердце.

Ключевые слова: алкогольная интоксикация, миокард, перекисное окисление липидов, антиоксидантная система, аминокислоты, микроэлементы, цитохром P450 2E1, металлотионеин-2.

Relationship of the Macro- and Microelement Composition of Mitochondria with Antioxidant Status and the Content of Transporter Proteins ZnT1, ZIP14 and MT-2 in the Heart of Rats During Five-Day Alcohol Intoxication

The elemental composition of mitochondria, the activity of the antioxidant system, the amount of cytochrome P450 2E1, transporter proteins ZnT1, ZIP14 and MT-2 in the heart of rats during five-day alcohol intoxication (AI 5 days) were studied. It has been shown that AI for 5 days leads to damage to cardiomyocytes by inducing free radical processes in the heart tissue, which is accompanied by an increase in the activity of catalase, lipid peroxidation products in the heart and blood plasma, and the amount of cardiac microsomal cytochrome P450 2E1. At the same time, a decrease in glutathione peroxidase in the heart and reduced glutathione in whole blood and heart was established against the background of AI for 5 days. Five-day alcohol intoxication is ac-

accompanied by an increase in calcium levels and a decrease in magnesium, zinc, iron and selenium in the mitochondria of the heart of rats, and also suppresses the functioning of ZIP14. The use of a composition of L-arginine and L-glutamine with zinc and magnesium against the background of five-day alcohol intoxication prevents oxidative stress in heart tissue, neutralizes changes in the elemental composition of heart mitochondria, reduces the amount of cytochrome P450 and increases the expression of transport proteins ZnT1, ZIP14, MT-2 in the heart.

Key words: alcohol intoxication, myocardium, lipid peroxidation, antioxidant system, amino acids, trace elements, cytochrome P450 2E1, metallothionein-2.

Введение

Алкогольная интоксикация (АИ) сопровождается кардиотоксическим действием, ингибируя активность ферментов цикла Кребса, дыхательной цепи митохондрий, снижая мембранный потенциал и респираторную активность митохондрий сердца. Нарушение функций митохондрий кардиомиоцитов приводит к изменению ионного транспорта в клетке и снижению их сократительной способности. Как следствие, при длительном и интенсивном воздействии АИ на миокард могут наблюдаться нарушения минерального гомеостаза и сдвиг биохимических показателей, приводящие к структурным изменениям в сердечной мышце [1]. Предполагаемые механизмы, ведущие к кардиотоксичности этанола, включают изменения в составе мембран, рецепторах, ионных каналах, внутриклеточных Ca^{2+} , переходных процессах и структурных белках, нарушение сократимости саркомера, окислительного стресса и апоптоза [2]. Метаболизм этанола через микросомальную этанол-окисляющую систему, включающую цитохром P450 2E1 (CYP2E1), играет важную роль в индуцированном этанолом окислительном стрессе, сопровождающемся интенсивным образованием активных форм кислорода, что способствует активации процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и нарастанию окислительных повреждений в клетке [2; 3]. Значимым источником активных форм кислорода (АФК) также являются биоэнергетические процессы в митохондриях. В совокупности окислительные повреждения, в том числе алкоголь-индуцированные, связаны с нарушением биоэнергетических процессов, снижением активности ферментов антиоксидантной системы, включая каталазу и глутатионпероксидазу [4].

В настоящее время широкое распространение получило изучение отдельных компонентов клетки (аминокислот, жирных кислот, химических элементов) в условиях АИ. Как показано в работах исследователей, алкогольная интоксикация влияет на пул свободных аминокислот в мозге [5], печени, скелетной мускулатуре и миокарде крыс [6]. Анализ литературных данных выявил ряд исследований, где было показано изменение содержания микроэлементов в образцах крови [7–9] и печени [10] пациентов с диагностированной алкогольной зависимостью. Подтверждена связь между развитием митохондриальной дисфункции и дефицитом микроэлементов (Ca, Fe, Zn, Se и др.) [11], которая обусловлена участием химических элементов в структуре металлопротеинов и в качестве кофакторов митохондриальных ферментов. В то же время недостаточно изучено содержание химических элементов при различных формах алкогольной интоксикации, отсутствуют данные о нарушении элементного состава митохондрий сердца.

Нарушение равновесия макро- и микроэлементов приводит к изменениям функционирования ферментов, механизмов регуляции генов, сдвигу окислительно-восстановительных процессов [12]. Непосредственное участие в синтезе и регуляции активности белков и ферментов принимают цинк и селен (металлотионеин (МТ) и глутатионпероксидаза (GPX)), которые необходимы для работы антиоксидантной системы [13]. Гомеостаз Ca^{2+} и Zn^{2+} тесно связаны друг с другом посредством внутриклеточного управления АФК, обеспечивая про-/антиоксидантный баланс кардиомиоцитов [14]. Ионы цинка, связанные с тиоловыми группами в МТ, являются лабильными к воздействию окислителей (H_2O_2 , NO и др.), что приводит к высвобождению цинка [15]. Антиоксидантные свойства цинка обусловлены индукцией экспрессии МТ и синтеза глутатиона,

регуляцией продукции оксидантов и окислительно-восстановительных сигналов [16]. Регуляция внутриклеточной концентрации ионов цинка жестко регулируется переносчиками цинка (ZnT, ZIP) и металлотионеином [18]. Прием цинка ослабляет вызванное этанолом истощение цинка и подавляет повышенную этанолом активность цитохрома P450 2E1 (CYP2E1), при этом увеличивает активность алкогольдегидрогеназы (АДГ). АДГ представляет собой металлофермент Zn, удаление Zn из АДГ приводит к полной потере его каталитической активности. Таким образом, вызванное этанолом истощение запасов цинка потенциально связано с изменением пути метаболизма этанола, к примеру, в «алкогольной печени» происходит переключение реакции от АДГ к CYP2E1 [17].

Злоупотребление этанолом ассоциировано с нарушением элементного баланса и развитием многих сердечно-сосудистых заболеваний. Вероятными путями воздействия этанола, помимо токсического и окислительного повреждения, является влияние на транспортные пути ионов металлов. В обзорных статьях и оригинальных исследованиях изучена роль металлотионеинов при различных заболеваниях (сахарный диабет II типа, ишемическая болезнь сердца, онкология) [16; 18]. При этом недостаточно данных о роли металлотионеинов и белков-транспортёров при различных режимах алкогольной интоксикации.

Цель работы – изучение элементного состава митохондрий, активности антиоксидантной системы, цитохрома P450, белков-транспортёров ZnT1, ZIP14 и MT-2 в сердце крыс при пятисуточной алкогольной интоксикации, исследование возможности коррекции активности аминокислотным препаратом с цинком и магнием.

Материалы и методы исследования

Исследование было выполнено на крысах-самцах линии Wistar массой 260–270 г, содержащихся в стандартных условиях вивария Института биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси. Все эксперименты с животными выполняли в соответствии с соблюдением требований Директивы Европейского Парламента и Совета Европейского союза № 2010/63/EU от 22.09.2010 о защите животных, используемых для научных целей. Опыты проводили на трех экспериментальных группах животных: «Контроль» – животные, которым интрагастрально вводили воду в эквивалентных количествах (n = 10); «АИ 5 сут.» – форсированная пятисуточная алкогольная интоксикация (n = 11) моделировалась по Majchrowicz с модификацией метода (на протяжении 5,5 суток с интервалом 12 ч животным интрагастрально вводили 25 %-й водный раствор этанола в дозе 5 г/кг) [21]; «АИ 5 суток + композиция» – на фоне «АИ 5 сут.» дополнительно (1 раз в 24 ч) интрагастрально вводили композицию L-глутамина и L-аргинина гидрохлорида в дозе по 250 мг/кг, семиводный сульфат цинка 15,4 мг/кг, безводный сульфат магния 62 мг/кг (n = 12).

Определение активности каталазы (КФ 1.11.1.6) (ммоль H_2O_2 × мин/г белка), глутатионпероксидазы (ГПО, КФ 1.11.1.9) (мкмоль восстановленного глутатиона × мин/г белка) в гомогенатах сердца осуществляли спектрофотометрическими методами. Активность глутатион-S-трансферазы (КФ 2.5.1.18) определяли в гомогенате сердца кинетическим спектрофотометрическим методом и выражали в мкмоль 2,4-динитрохлорбензола × мин/мг белка. Концентрацию свободных SH-групп (восстановленный глутатион) в цельной крови, плазме и сердце определяли по методу Элмана с модификациями. Об интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) судили по количеству окрашенных продуктов, образованных с 2-тиобарбитуратовой кислотой, методом Ohkawa, концентрацию ТБК-реагирующих соединений (ТБК РС) выражали в нмоль/г ткани. Содержание общего белка определяли по методу Бредфорда. Показатели (каталаза, ГПО, глутатион-S-трансфераза, глутатион (восст.), ТБК РС) в крови, плазме и сердце определяли на спектрофотометре Cary-100 Scan (Varian, Австрия) по ранее предложенным методикам в работе [19]. Определение количества CYP2E1, MT-2, ZnT1, ZIP14 в гомоге-

натах миокарда (путем центрифугирования (10 минут при 15 000 g) 9 % гомогената сердца на калий-фосфатном буфере) проводили иммуноферментным анализом при помощи наборов реагентов (FineTest, Китай) согласно инструкции производителя.

Элементный анализ митохондрий сердца выполнен при помощи метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной (аргоновой) плазмой (NexION2000B, PerkinElmer, США): митохондрии предварительно (трижды) промывали 0,25М раствором сахарозы; аликвоту 50 мкл, содержащую 1 мг митохондрий, обрабатывали 100 мкл минерализующей смеси (70 % HNO_3 и 30 % H_2O_2 в соотношении 3 : 1) в течение 60 мин. при 90 °С, после чего доводили объем раствора до 1 мл деионизированной водой. Сбор и обработку данных проводили в программном аппарате TotalQuant™ программы Syngistix 2.4. Для калибровки использовали внешний стандарт химических элементов (N9301721) производства PerkinElmer (США). В качестве внутреннего стандарта использовали изотоп европия 153.

Статистическую обработку результатов исследования проводили с помощью пакета прикладных статистических программ StatSoft STATISTICA 13.0, GraphPad Prism 6, Microsoft Excel 2016. Результаты представлены в виде среднего арифметического, и ошибка среднего значения $M \pm m$. В случае ненормального распределения данных использовали методы непараметрической статистики (однофакторный дисперсионный анализ, критерий Краскела – Уоллиса), данные представляли в виде медианы (Me) и рассеяния (Q1 и Q3 процентилей). Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимали 0,05. Достоверность различий средних величин и корреляционных взаимоотношений проводили с помощью t-критерия Стьюдента и коэффициента Пирсона для изучения ассоциаций ферментов и химических элементов.

Результаты и их обсуждение

Пятисуточная алкогольная интоксикация сопровождалась достоверным повышением активности каталазы на 20,4 % ($p < 0,05$) в гомогенате миокарда, уменьшением концентрации восстановленного глутатиона в цельной крови на 23,9 % ($p < 0,05$) и тенденцией к снижению его в плазме крови (таблица).

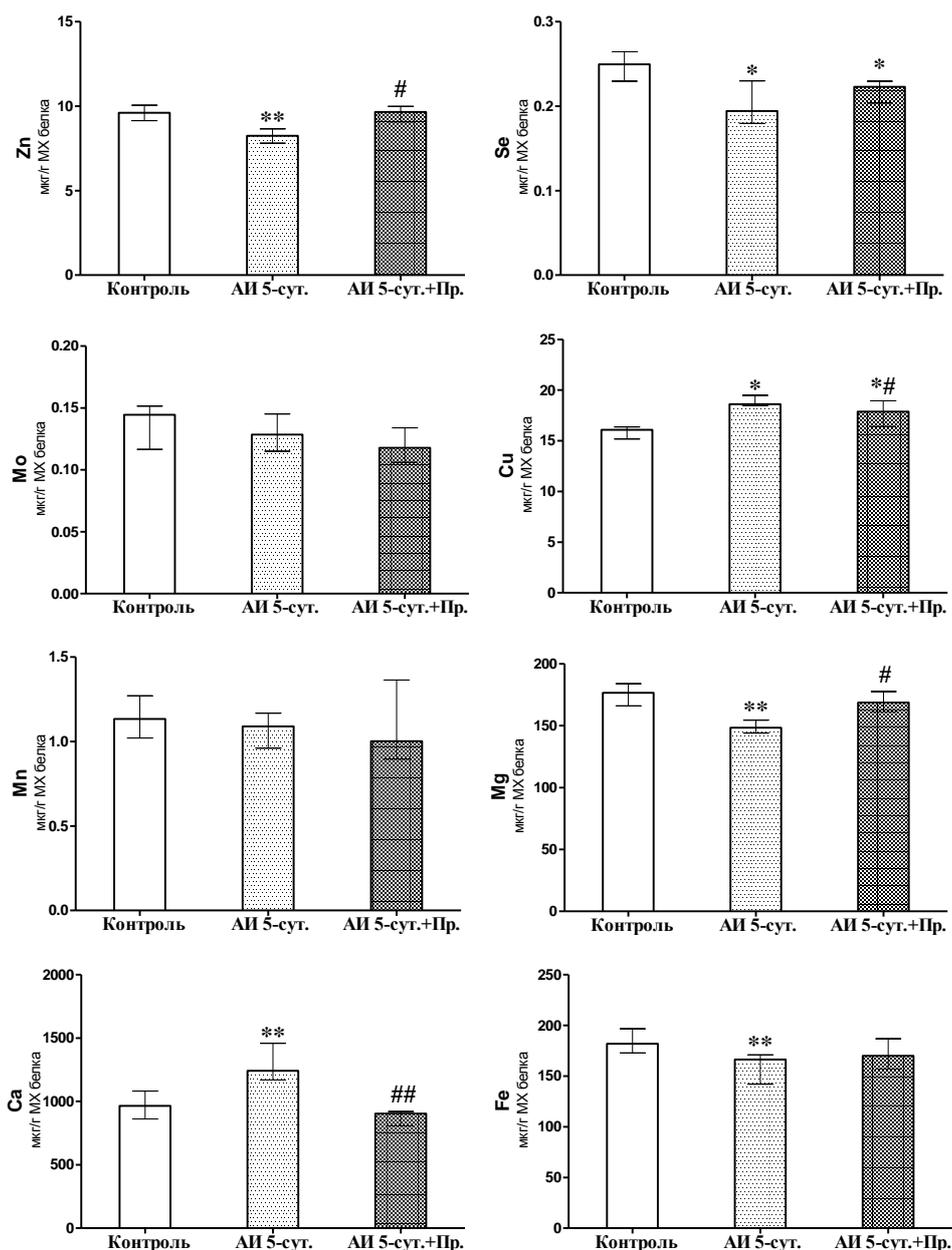
Таблица – Показатели функционирования антиоксидантной системы при пятисуточной алкогольной интоксикации

Показатель	«Контроль»	«АИ 5 суток»	«АИ 5 суток + композиция»
9 % гомогенат сердца			
Каталаза	2,45 ± 0,06	2,95 ± 0,16*	2,42 ± 0,11*
ГПО	56,01 ± 2,20	40,90 ± 1,64**	47,02 ± 1,92*#
Глутатион (восст.)	0,35 ± 0,01	0,21 ± 0,01*	0,31 ± 0,01
Глутатион-S-трансфераза	2,30 ± 0,13	2,80 ± 0,25	2,31 ± 0,20
ТБК РС	60,08 (51,30; 62,80)	97,61 (92,47; 103,49)**	69,33 (62,37; 76,47)##
Кровь			
Глутатион (восст.)	0,46 ± 0,03	0,35 ± 0,02*	0,52 ± 0,02##
ТБК РС	133,53 ± 7,09	133,59 ± 5,01	115,54 ± 6,69
Плазма крови			
Глутатион (восст.)	58,86 ± 4,18	50,80 ± 4,84	36,95 ± 5,43
ТБК РС	7,56 ± 0,29	10,67 ± 1,33*	8,52 ± 0,33

Примечание – * – $p < 0,05$ в сравнении с контролем; ** – $p < 0,01$ в сравнении с контролем; # – $p < 0,05$ по сравнению с этанолом; ## – $p < 0,01$ в сравнении с этанолом.

Активность ГПО в сердце снижалась на 27 % ($p < 0,01$), а уровень восстановленного глутатиона снижался на 24 % ($p < 0,05$). При этом на фоне АИ 5 сут. наблюдалось

достоверное увеличение ТБК РС в плазме крови и сердце на 41,1 % ($p < 0,05$) и 62,4 % ($p < 0,01$) соответственно. Эти изменения могут свидетельствовать об алкоголь-индуцированном образовании АФК, приводящих к окислительному повреждению кардиомиоцитов. Использование композиции аминокислот с цинком и магнием на фоне АИ 5 сут. предупреждало повышение активности каталазы и ГПО, а также возвращало концентрацию восстановленного глутатиона в цельной крови и ТБК РС в плазме крови к значениям, близким к контрольным. Анализ элементного состава митохондрий сердца при АИ 5 сут. установил значимое снижение уровня цинка (14,15 %), селена (22,16 %), магния (15,96 %), железа (8,56 %) на фоне увеличения меди и кальция на 15,64 и 28,81 % в сравнении с контрольной группой соответственно (рисунок 1).



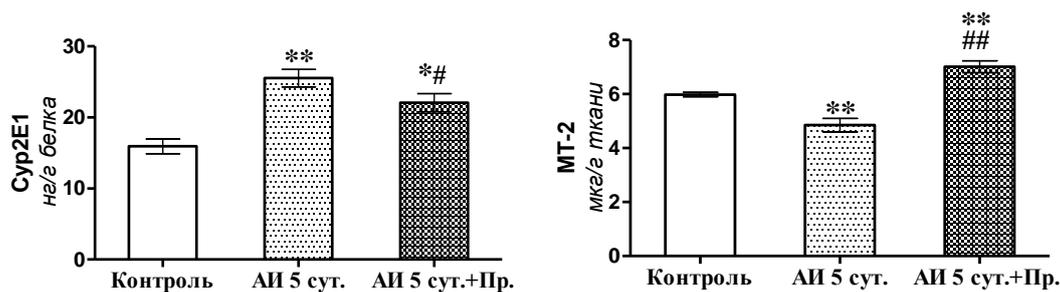
Примечание – * – $p < 0,05$ в сравнении с контролем; ** – $p < 0,01$ в сравнении с контролем;
 # – $p < 0,05$ по сравнению с алкогольной интоксикацией 5 сут;
 ## – $p < 0,01$ в сравнении с алкогольной интоксикацией 5 сут.

Рисунок 1 – Содержание элементов в митохондриях сердца крыс при моделировании пятисуточной алкогольной интоксикации

Степень понижения уровня химических элементов увеличивалась в ряду селен > магний > цинк > молибден > железо > марганец. При сравнительном анализе наблюдается увеличение соотношения уровня Cu/Zn и Cu/Se в митохондриях сердца при АИ 5 сут. в сравнении с контрольной группой.

Следует отметить, что проведенный корреляционный анализ выявил отрицательную взаимосвязь между митохондриальным кальцием и АДФ-стимулированным дыханием митохондрий сердца ($R = -0,738$, $p < 0,01$) [20]. При этом установлена взаимосвязь АДФ-стимулированного дыхания митохондрий сердца с субстратным дыханием митохондрий сердца ($R = 0,785$, $p < 0,05$). Поступление кальция в митохондрии зависит как от митохондриального мембранного потенциала, так и от концентрации кальция в митохондрии. Повышение митохондриального кальция создает условия активации поры высокой проводимости, ресопряжению окислительного фосфорилирования, высвобождению цитохрома с (что может подтверждаться снижением на 8,56 % концентрации митохондриального железа) и, как следствие, к гибели митохондрий [2; 21]. К неблагоприятным явлениям относится и снижение митохондриального магния (15,96 %), необходимого для работы ферментных систем и процессов фосфорилирования. Применение исследуемой композиции восстанавливало уровни Mg, Ca, Zn, Se, но не Fe и Cu.

Показано, что пятисуточная алкогольная интоксикация сопровождалась увеличением микросомального цитохрома P450 (на 60,2 %, $p < 0,01$) в миокарде крыс (рисунок 2).



Примечание – * – $p < 0,05$ в сравнении с контролем; ** – $p < 0,01$ в сравнении с контролем;
– $p < 0,05$ по сравнению с алкогольной интоксикацией 5 сут;
– $p < 0,01$ в сравнении с алкогольной интоксикацией 5 сут.

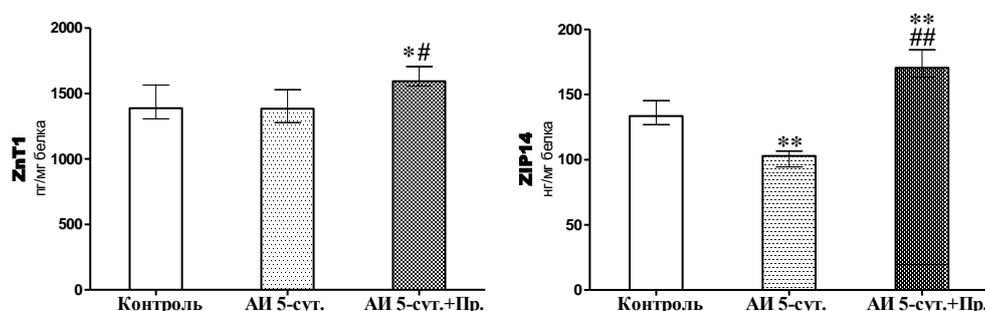
Рисунок 2 – Цитохром P 450 и металлотионеин-2 в цитозоле сердца крыс при пятисуточной алкогольной интоксикации

Ранее нами было установлено, что пятисуточная алкогольная интоксикация сопровождалась увеличением креатинкиназы (КК) в плазме крови [20]. В настоящей работе установлена положительная корреляция КК и CYP2E1 ($r = 0,714$, $p < 0,05$). При этом выявлена отрицательная корреляция КК с митохондриальным цинком ($R = -0,745$, $p < 0,01$) и магнием ($R = -0,773$, $p < 0,01$). Кроме того, митохондриальное железо положительно коррелировало с митохондриальным цинком ($R = 0,655$, $p < 0,05$), магнием ($R = 0,727$, $p < 0,01$) и изоцитратдегидрогеназой ($R = 0,781$, $p < 0,01$). Эти результаты указывают на то, что сверхэкспрессия цитохрома P450 связана с нарушением гомеостаза химических элементов в митохондриях сердца.

При пятисуточной алкогольной интоксикации наблюдалось достоверное снижение экспрессии белка MT-2 на 18,9 % в сердце. Таким образом, при истощении восстановленного глутатиона и MT-2 на фоне снижения концентрации цинка в митохондриях сердца, плазме крови и ткани сердца крыс (как показано в нашем предыдущем исследо-

вании [20]) увеличивается вероятность окислительного стресса в ткани сердца. Применение исследуемой композиции на фоне АИ 5 сут. восстанавливает уровень МТ-2 к контрольным значениям за счет модулирования экспрессии МТ-2 ионами цинка. Поскольку металлотионеин является одним из ключевых антиоксидантных регуляторов, участвующим в защите от окислительного стресса, индуцированного алкоголем, необходимы дополнительные исследования для изучения его потенциальной роли в качестве диагностического и прогностического маркера при различных формах алкогольной интоксикации.

При исследовании влияния АИ 5 сут. на экспрессию белков-транспортеров, установлено снижение ZIP14 на 22,95 % в сердце в группе «АИ 5 суток» (рисунок 3). При этом АИ 5 сут. не вызывала достоверного компенсаторного изменения количества ZnT1 на фоне существенного снижения ZIP14, что предполагает снижение поступления цинка в клетку без уменьшения его экскреции, что, таким образом, усугубляет возрастающий дефицит цинка. Как следствие, одним из возможных механизмов снижения цинка при алкогольной интоксикации может быть воздействие алкоголя на внутриклеточный транспорт цинка через подавление ZIP14.



Примечание – * – $p < 0,05$ в сравнении с контролем; ** – $p < 0,01$ в сравнении с контролем; # – $p < 0,05$ по сравнению с алкогольной интоксикацией 5 сут; ## – $p < 0,01$ в сравнении с алкогольной интоксикацией 5 сут.

Рисунок 3 – Белки-транспортеры ZnT 1 и ZIP 14 в сердце крыс при пятисуточной алкогольной интоксикации

Использование корреляционного анализа позволило установить отрицательную взаимосвязь субстратного дыхания митохондрий сердца с белком-транспортером ZIP14 ($R = -0,9, p < 0,05$). При этом установлена отрицательная корреляция ZIP14 с каталазой ($R = -0,714, p < 0,05$).

Таким образом, результаты нашего исследования согласуются с предыдущими нашими [20] и литературными данными [16], что позволяет утверждать о значимости элементного состава, антиоксидантного статуса и белков-транспортеров в митохондриях миокарда крыс при АИ 5 сут.

Заключение

Пятисуточная алкогольная интоксикация сопровождалась активацией свободно-радикальных процессов, о чем свидетельствует достоверное повышение содержания продуктов перекисного окисления липидов в плазме крови и сердце и ответное повышение активности каталазы на фоне снижения глутатионпероксидазы в сердце и восстановленного глутатиона в цельной крови и сердце.

У животных, подвергшихся пятисуточной алкогольной интоксикации, наблюдается повышение количества микросомального цитохрома P450 2E1, что сопровождается нарушением гомеостаза химических элементов в митохондриях сердца: снижением

селена, магнїя, цинка, железа; при этом увеличивается содержание кальция и меди на фоне снижения металлопротеина-2 и ZIP 14 в ткани сердца.

Введение композиции L-глутамина, L-аргинина гидрохлорида с сульфатом цинка и магнїя на фоне пятисуточной алкогольной интоксикации предупреждает развитие окислительного повреждения, дисбаланс химических элементов в митохондриях сердца, снижает количество цитохрома P450 2E1, при этом увеличивая экспрессию MT-2, ZnT1 и ZIP14 в ткани сердца.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Simon, L. Cellular Bioenergetics: Experimental Evidence for Alcohol-induced Adaptations / L. Simon, P. E. Molina // *Function*. – 2022. – Vol. 3, nr 5. – P. 39–57.
2. Fernández-Solà, J. The Effects of Ethanol on the Heart: Alcoholic Cardiomyopathy / J. Fernández-Solà // *Nutrients*. – 2020. – Vol. 12, nr 2. – P. 572.
3. Inhibition of CYP2E1 Attenuates Chronic Alcohol Intake-Induced Myocardial Contractile Dysfunction and Apoptosis / R. H. Zhang [et al.] // *Biochim. Biophys. Acta*. – 2014. – Vol. 1832, nr 1. – P. 128–141.
4. Лелевич, С. В. Нарушение метаболизма при введении этанола в организм / С. В. Лелевич, А. В. Лелевич. – Гродно : ГрГМУ, 2017. – 132 с.
5. Tsermpini, E. E. Alcohol-Induced Oxidative Stress and the Role of Antioxidants in Alcohol Use Disorder: A Systematic Review / E. E. Tsermpini, A. P. Ilješ, V. Dolžan // *Antioxidants (Basel)*. – 2022. – Vol. 11, nr 7. – P. 1374.
6. Гуца, В. К. Нейромедиаторные нарушения в некоторых отделах головного мозга крыс и их коррекция при хронической и прерывистой алкогольной интоксикации / В. К. Гуца, С. В. Лелевич, В. М. Шейбак // *Биомед. химия*. – 2019. – Т. 65, вып. 1. – С. 21–27.
7. Семенчук, А. К. Влияние различных типов алкоголизации на пул серосодержащих соединений печени, скелетной мускулатуры и миокарда крыс / А. К. Семенчук, В. В. Лелевич // *Новости мед.-биол. наук*. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 70–75.
8. Magnesium, Calcium, Potassium, Sodium, Phosphorus, Selenium, Zinc, and Chromium Levels in Alcohol Use Disorder : A Review / J. Baj [et al.] // *J. Clin. Med*. – 2020. – Vol. 9 (6). – P. 1901.
9. Serum iron, Magnesium, Copper, and Manganese Levels in Alcoholism : A Systematic Review / C. Grochowski [et al.] // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24, nr 7. – P. 1361.
10. Минеральный состав сыворотки беременных, страдающих алкоголизмом (I и III триместры) / А. В. Скальный [и др.] // *Микроэлементы в медицине*. – 2015. – Т. 16, вып. 4. – С. 51–54.
11. Chronic Alcohol Abuse Alters Hepatic Trace Element Concentrations-Metallomic Study of Hepatic Elemental Composition by Means of ICP-OES / J. Baj [et al.] // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, nr 3. – P. 546.
12. Micronutrient deficiencies in heart failure: Mitochondrial dysfunction as a common pathophysiological mechanism? / N. Bomer [et al.] // *J. Intern. Med*. – 2022. – Vol. 291, nr 6. – P. 713–731.
13. Killilea, D. W. Mineral requirements for mitochondrial function: A connection to redox balance and cellular differentiation / D. W. Killilea, A. N. Killilea // *Free Radic. Biol. Med*. – 2022. – Vol. 182. – P. 182–191.
14. Role of Zinc and Selenium in Oxidative Stress and Immunosenescence: Implications for Healthy Aging and Longevity / T. Fulop [et al.] // *Handbook of Immunosenescence*. – 2019. – Vol. 1. – P. 2539–2573.

15. The Oxidative Balance Orchestrates the Main Keystones of the Functional Activity of Cardiomyocytes / M. Bevere [et al.] // *Oxid. Med. Cell Longev.* – 2022. – Vol. 2022. – P. 33.
16. Dorward, A. M. The role of Zn²⁺ in shaping intracellular Ca²⁺ dynamics in the heart / A. M. Dorward, A. J. Stewart, S. J. Pitt // *J. Gen. Physiol.* – 2023. – Vol. 155, nr 7, e202213206. – P. 1–18.
17. The Role of Metallothionein in Oxidative Stress / B. Ruttkay-Nedecky [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2013. – Vol. 14 (3). – P. 6044–6066.
18. Kang, Y. K. Zinc prevention and treatment of alcoholic liver disease / Y. J. Kang, Z. Zhou // *Mol. Aspects. Med.* – 2005. – Vol. 26, nr 4–5. – P. 391–404.
19. Choi, S. Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases / S. Choi, X. Liu, Z. Pan // *Acta Pharmacol. Sin.* – 2018. – Vol. 39, nr 7. – P. 1120–1132.
20. Бадун, Е. Г. Влияние субхронической алкогольной интоксикации на антиоксидантный статус, содержание цитохрома P450 2E1 и металлотионеина-2 в сердце крыс / Е. Г. Бадун, А. В. Шуриберко, О. Е. Кузнецов // *Новости мед.-биол. наук.* – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 54–58.
21. Влияние комбинации аминокислот с цинком и магнием на элементный состав крови, сердца и энергетические функции митохондрий сердца при тяжелой алкогольной интоксикации / Е. Г. Бадун [и др.] // *Новости мед.-биол. наук.* – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 40–47.
22. Hroudová, J. Control mechanisms in mitochondrial oxidative phosphorylation / J. Hroudová, Z. Fišar // *Neural. Regen. Res.* – 2013. – Vol. 8, nr 4. – P. 363–375.

REFERENCES

1. Simon, L. Cellular Bioenergetics: Experimental Evidence for Alcohol-induced Adaptations / L. Simon, P. E. Molina // *Function.* – 2022. – Vol. 3, nr 5. – P. 39–57.
2. Fernández-Solà, J. The Effects of Ethanol on the Heart: Alcoholic Cardiomyopathy / J. Fernández-Solà // *Nutrients.* – 2020. – Vol. 12, nr 2. – P. 572.
3. Inhibition of CYP2E1 Attenuates Chronic Alcohol Intake-Induced Myocardial Contractile Dysfunction and Apoptosis / R. H. Zhang [et al.] // *Biochim. Biophys. Acta.* – 2014. – Vol. 1832, nr 1. – P. 128–141.
4. Lielievich, S. V. Narusheniye mietabolizma pri vviedenii etanola v organism / S. V. Lielievich, A. V. Lielievich. – Grodno : GrGMU, 2017. – 132 s.
5. Tsermpini, E. E. Alcohol-Induced Oxidative Stress and the Role of Antioxidants in Alcohol Use Disorder: A Systematic Review / E. E. Tsermpini, A. P. Ilješ, V. Dolžan // *Antioxidants (Basel).* – 2022. – Vol. 11, nr 7. – P. 1374.
6. Gushcha, V. K. Niejromiediatornyje narusheniya v niekotorykh otdielakh golovного mozga kryс i ikh korriekcija pri khronichieskoj i prieryvistoj alkogol'noj intoksikacii / V. K. Gushcha, S. V. Lielievich, V. M. Shejbak // *Biomied. khimija.* – 2019. – Т. 65, vyp. 1. – S. 21–27.
7. Siemienchuk, A. K. Vlijanije razlichnykh tipov alkogolizacii na pul sieroсodier-zhashchikh sojedinenij piechieni, skielietnoj muskulatury i miokarda kryс / A. K. Siemienchuk, V. V. Lielievich // *Novosti mied.-biol. nauk.* – 2022. – Т. 22, № 2. – S. 70–75.
8. Magnesium, Calcium, Potassium, Sodium, Phosphorus, Selenium, Zinc, and Chromium Levels in Alcohol Use Disorder : A Review / J. Baj [et al.] // *J. Clin. Med.* – 2020. – Vol. 9 (6). – P. 1901.
9. Serum iron, Magnesium, Copper, and Manganese Levels in Alcoholism : A Systematic Review / C. Grochowski [et al.] // *Molecules.* – 2019. – Vol. 24, nr 7. – P. 1361.

10. Minieral'nyj sostav syvorotki bieriemiennykh, stradajushchikh alkogolizmom (I i III trimiestry) / A. V. Skal'nyj [i dr.] // Mikroeliemienty v medicinie. – 2015. – T. 16, vyp. 4. – S. 51–54.

11. Chronic Alcohol Abuse Alters Hepatic Trace Element Concentrations-Metallomic Study of Hepatic Elemental Composition by Means of ICP-OES / J. Baj [et al.] // Nutrients. – 2022. – Vol. 14, nr 3. – P. 546.

12. Micronutrient deficiencies in heart failure: Mitochondrial dysfunction as a common pathophysiological mechanism? / N. Bomer [et al.] // J. Intern. Med. – 2022. – Vol. 291, nr 6. – P. 713–731.

13. Killilea, D. W. Mineral requirements for mitochondrial function: A connection to redox balance and cellular differentiation / D. W. Killilea, A. N. Killilea // Free Radic. Biol. Med. – 2022. – Vol. 182. – P. 182–191.

14. Role of Zinc and Selenium in Oxidative Stress and Immunosenescence: Implications for Healthy Aging and Longevity / T. Fulop [et al.] // Handbook of Immunosenescence. – 2019. – Vol. 1. – P. 2539–2573.

15. The Oxidative Balance Orchestrates the Main Keystones of the Functional Activity of Cardiomyocytes / M. Bevere [et al.] // Oxid. Med. Cell Longev. – 2022. – Vol. 2022. – P. 33.

16. Dorward, A. M. The role of Zn²⁺ in shaping intracellular Ca²⁺ dynamics in the heart / A. M. Dorward, A. J. Stewart, S. J. Pitt // J. Gen. Physiol. – 2023. – Vol. 155, nr 7, e202213206. – P. 1–18.

17. The Role of Metallothionein in Oxidative Stress / B. Ruttkay-Nedecky [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2013. – Vol. 14 (3). – P. 6044–6066.

18. Kang, Y. K. Zinc prevention and treatment of alcoholic liver disease / Y. J. Kang, Z. Zhou // Mol. Aspects. Med. – 2005. – Vol. 26, nr 4–5. – P. 391–404.

19. Choi, S. Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases / S. Choi, X. Liu, Z. Pan // Acta Pharmacol. Sin. – 2018. – Vol. 39, nr 7. – P. 1120–1132.

20. Badun, Ye. G. Vlijanije subkhronichieskoj alkogol'noj intoksikacii na antioksidantnyj status, sodierzhanije citokhroma P450 2E1 i mietallotioneina-2 v sierdce krys / Ye. G. Badun, A. V. Shuribierko, O. Ye. Kuzniecov // Novosti mied.-biol. nauk. – 2022. – T. 22, № 4. – S. 54–58.

21. Vlijanije kombinacii aminokislot s cinkom i magnijem na eliemientnyj sostav krovi, sierdca i energietichieskije funkcii mitokhondrij sierdca pri tiazholoj alkogol'noj intoksikacii / Ye. G. Badun [i dr.] // Novosti mied.-biol. nauk. – 2022. – T. 22, № 4. – S. 40–47.

22. Hroudová, J. Control mechanisms in mitochondrial oxidative phosphorylation / J. Hroudová, Z. Fišar // Neural. Regen. Res. – 2013. – Vol. 8, nr 4. – P. 363–375.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 15.01.2024

УДК 616.831.31-005.4.-092.913:618.33

*Елизавета Игоревна Бонь¹, Наталия Евгеньевна Максимович²,
Иосиф Карлович Дремза³, Никита Витальевич Кохан⁴*

^{1,3}канд. биол. наук, доц., доц. каф. патологической физиологии имени Д. А. Маслакова
Гродненского государственного медицинского университета

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

⁴студент IV курса медико-психологического факультета
Гродненского государственного медицинского университета

Elizaveta Bon¹, Natalia Maksimovich², Iosif Dremza³, Nikita Kokhan⁴

^{1,3}Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department
of Pathological Physiology named after D. A. Maslakov of Grodno State Medical University

²Doctor of Medical Sciences, Professor,

Head of the Department of Pathological Physiology named after D. A. Maslakov
of Grodno State Medical University

⁴4-th Year Student of the Faculty of Medicine and Psychology of Grodno State Medical University

e-mail: ¹asphodela@list.ru; ²mne@grsmu.by;

³astrowskaja@gmail.com; ⁴nikita.kokhan1@gmail.com

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОГО БАЛАНСА НЕЙРОНОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС ПРИ СУБТОТАЛЬНОЙ ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ИШЕМИИ НА ФОНЕ ВВЕДЕНИЯ ОМЕГА-3 ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

При избыточной продукции активных форм кислорода в структурах головного мозга возникает цепь патогенетических нарушений, среди которых одним из ведущих является энергодефицит, приводящий к развитию клеточной патологии вследствие нарушений гомеостаза, активности ферментов, мембранной целостности и работы белков-переносчиков. Важную роль в функционировании ионных каналов и регуляции физиологических процессов посредством синтеза липидных медиаторов играют омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты. Таким образом, омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты могут быть возможными мишенями активных форм кислорода в нейронах головного мозга. В настоящей работе изучена активность окислительного стресса в головном мозге крыс с церебральной ишемией различной степени тяжести и в условиях введения омега-3 полиненасыщенных жирных кислот.

Ключевые слова: омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, головной мозг, активные формы кислорода.

Characteristics of Changes in the Prooxidant-Antioxidant Balance of the Neurons of the Cerebral Cortex of Rats with Subtotal Cerebral Ischemia on the Background of the Introduction of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids

With an excess production of reactive oxygen species in the structures of the brain, a chain of pathogenetic disorders occurs, among which one of the leading ones is energy deficiency, leading to the development of cellular pathology due to violations of homeostasis, enzyme activity, membrane integrity, and the work of carrier proteins. An important role in the functioning of ion channels and the regulation of physiological processes through the synthesis of lipid mediators is played by ω -3 polyunsaturated fatty acids. Thus, ω -3 polyunsaturated fatty acids can be a possible interference of reactive oxygen species in brain neurons. In the present study, the activity of oxidative stress in the brain of rats with cerebral ischemia of varying severity and under conditions of administration of ω -3 polyunsaturated fatty acids was studied.

Key words: omega-3 polyunsaturated fatty acids, brain, reactive oxygen species.

Введение

Образование активных форм кислорода (АФК) имеет важное значение в жизнедеятельности клеток всего организма, в т. ч. головного мозга. В небольших количествах кислородные радикалы выполняют функции мессенджера, отвечая за нейрональную активность, регулируют мозговой кровоток, апоптоз и другие процессы функционирования головного мозга [1; 2].

Однако избыток выработки АФК может приводить к повреждению мембран, накоплению продуктов окисления липидов, белков и нуклеиновых кислот (альдегидов, кетонів), дефициту восстановленных пиридиннуклеотидов и фосфолипидов митохондриальных мембран, а затем – к электролитному дисбалансу, набуханию митохондрий, разобщению процессов окисления и фосфорилирования и гибели нейронов при ишемии. Повреждение АФК не защищенной гистонами митохондриальной ДНК приводит к ингибированию синтеза белков – переносчиков электронов [3].

Церебральная ишемия является тяжелым нейродегенеративным состоянием, приводящим к нарушению сенсомоторных функций центральной нервной системы. Усиление свободнорадикальных процессов при ишемии головного мозга приводит к нарушению существующего в физиологических условиях баланса между антиоксидантными и прооксидантными системами с преобладанием прооксидантных факторов, которые начинают оказывать повреждающее действие на молекулярном и клеточном уровнях.

При ишемии головного мозга (ИГМ) происходит длительное и значительное увеличение продукции АФК, что приводит к активации перекисного окисления липидов (ПОЛ). АФК и продукты ПОЛ, образовавшиеся в большом количестве, оказывают токсическое действие на клетку, что даже может завершиться ее гибелью. Данное состояние обозначается как «окислительный стресс», или «оксидативный стресс» [3].

Нейроглобин (Ngb) представляет собой металлопротеин семейства глобинов, который содержит протопорфирин с атомом железа в центре, образующим шесть координационных связей. Известна его способность подавлять окислительный стресс и связывать свободные радикалы [3].

В связи с важной ролью омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в работе ионных каналов, регуляции физиологических процессов путем синтеза липидных медиаторов, передаче импульсов, работе рецепторов, влияющих на текучесть клеточных мембран, является целесообразным изучение их влияния на состояние прооксидантно-оксидантного баланса головного мозга крыс при церебральной ишемии.

Возможная мишень АФК в нейронах головного мозга – омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты (омега-3 ПНЖК), которые, являясь компонентами клеточных мембран, обеспечивают их функционирование, работу трансмембранных ионных каналов, участвуют в регуляции и реализации основных функций нейронов – передаче импульсов и работе рецепторов [4–6].

Как известно, нейроны головного мозга являются электрически активными клетками, богатыми ионными каналами, в связи с чем могут быть чувствительны к дефициту омега-3 ПНЖК. Таким образом, представляет интерес изучение состояния прооксидантно-антиоксидантного баланса при ишемии головного мозга на фоне введения омега-3 ПНЖК.

Цель исследования – оценить активность окислительного стресса в головном мозге крыс с ишемией головного мозга различной степени тяжести и в условиях введения омега-3 полиненасыщенных жирных кислот.

Материалы и методы исследования

Эксперименты выполнены на 24 самцах беспородных белых крыс массой 260 ± 20 г с соблюдением требований Директивы Европейского Парламента и Совета Европейского союза № 2010/63/EU от 22.09.2010 о защите животных, используемых для научных целей. Моделирование осуществляли в условиях внутривенного тиопенталового наркоза (40–50 мг/кг).

Субтотальную ишемию головного мозга (СИГМ) моделировали путем одномоментной перевязки обеих общих сонных артерий (ОСА) с временными интервалами 1 час и 1 сутки.

Данные сроки были выбраны как наиболее ярко иллюстрирующие динамику изменений при моделировании ишемии различной степени тяжести.

Для изучения эффектов омега-3 ПНЖК животным до ИГМ в течение недели внутривенно вводили препарат омега-3 ПНЖК в дозе 5 г/кг массы тела.

Контрольную группу составили ложно оперированные крысы аналогичных пола и веса.

Метод изучения прооксидантно-антиоксидантного состояния головного мозга

Для определения прооксидантно-антиоксидантного состояния головного мозга в его гомогенатах (20 %, разведение в pH = 7)) определяли активность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ), содержание продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБКРС), концентрацию восстановленного глутатиона (GSH), общие тиоловые группы (TSH) и активность глутатионпероксидазы.

ТБКРС возникают в организме при деградации полиненасыщенных жиров активными формами кислорода, что служит маркером активности ПОЛ и окислительного стресса.

Для определения содержания ТБКРС к исследуемому образцу 10 %-го гомогената головного мозга (0,3 мл) последовательно добавляли 2,4 мл 0,07 N раствора серной и 0,3 мл 10 %-го раствора фосфорно-вольфрамовой кислот.

К дважды отмытому, растворенному в 3,0 мл бидистиллированной воды осадку добавляли 1 мл 0,85 %-го водного раствора тиобарбитуровой кислоты (ТБК), растворенной в 25 мл уксусной кислоты с добавлением 5 мл H₂O. Цветная реакция протекает в герметически закрытых пробирках при температуре 96 °C в течение 60 мин.

После их охлаждения в воде в течение 5 мин. определяли оптическую плотность отцентрифугированного супернатанта на спектрофотометре РV 1251С (Солар, Беларусь) при длинах волн 532 нм и 580 нм.

Концентрацию ТБКРС рассчитывали по формуле:

$$\text{ТБКРС} = (E_{532} - E_{580}) / 0,156 \times K,$$

где E – экстинкция при соответствующих длинах волн, V₁ – объем раствора ТБК; V₂ – объем исследуемого образца; K – коэффициент разведения образца головного мозга (147,7).

Расчет концентрации ТБКРС осуществляли с использованием коэффициента поглощения для образующегося продукта $\epsilon_{532} = 1,56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \times \text{см}^{-1}$ и выражают в наномоль на грамм белка (грамм ткани).

При измерении концентрации GSH к 1 мл 15 %-го гомогената головного мозга добавляли 0,2 мл 25 % трихлоруксусной кислоты, встряхивали и центрифугировали при 5 000 об/мин. в течение пяти минут.

К полученному супернатанту (0,2 мл) добавляли 1,2 мл 0,5 M фосфатного буфера (pH = 7,8) и 50 мкл реактива Элмана. Концентрацию GSH рассчитывали с учетом коэффициента молярной экстинкции ($E_{412} = 13\,600 \text{ M}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) путем определения оптической плотности исследуемых образцов при $\lambda = 412 \text{ нм}$ на спектрофотометре РV 1251С.

Определение концентрации TSH осуществляли следующим образом. Добавляли 30 мкл 3 %-го раствора натриевой соли додецилсульфата к 60 мкл гомогената головного мозга, отбирали 25 мкл полученной смеси и соединяли с 1,2 мл 0,5 M фосфатного буфера (pH = 7,8) и 50 мкл реактива Элмана, через 10 мин. инкубации при комнатной

температуре определяли оптическую плотность на спектрофотометре PV 1251C при $\lambda = 412$ нм с учетом коэффициента молярной экстинкции. Коэффициент молярной экстинкции при определении содержания TSH составляет $13\,600\text{ M}^{-1}\text{ cm}^{-1}$.

Для измерения активности глутатионпероксидазы к 0,8 мл Трис-НС₁ буфера (рН = 7,25), содержащего 0,012 М азида натрия, 0,001 М этилендиаминтетрауксусной кислоты и 4,8 Мм GSH, добавляли 0,1 мл 0,1 мл гомогената головного мозга и 20 мМ трет-бутилгидропероксида, инкубировали 10 мин. при температуре 37 °С.

Реакцию останавливали путем добавления 0,02 мл раствора 25 %-ой трихлоруксусной кислоты; для получения нулевой точки аналогичную процедуру проводили сразу после введения трет-бутилгидропероксида.

Пробы центрифугировали (5 000 об/мин., 5 мин.), к 1 мл фосфатного буфера (рН = 7,8) добавляли 30 мкл полученного супернатанта и 30 мкл реактива Элмана, измеряли оптическую плотность при $\lambda = 412$ нм и $\lambda = 700$ нм.

Метод изучения содержания нейроглобина в нейронах теменной коры и гиппокампа головного мозга

Определение содержания металлопротеина семейства глобинов нейроглобина осуществлялось иммуногистохимическим методом с использованием моноклональных антител.

С этой целью после декапитации у крыс быстро извлекали головной мозг, кусочки коры больших полушарий фиксировали в цинк-этанол-формальдегиде при +4 °С (на ночь), затем заключали в парафин.

Парафиновые срезы толщиной 5 мкм готовили с помощью микротомы, монтировали на предметные стекла.

Препараты обрабатывали согласно протоколу иммуноцитохимической реакции для световой микроскопии, исключающей процедуру теплового демаскирования антигенов.

Для определения иммунореактивности молекулярного маркера нейроглобина применяли первичные моноклональные мышинные антитела Anti-Ngb antibody фирмы Abcam (Великобритания, ab. 14748) в разведении 1 : 600 при +4 °С, экспозиция 20 ч, во влажной камере [7,55]. Для выявления связавшихся первичных антител использовали набор EXPOSE Mouse and Rabbit specific HRP/DAB detection IHC kit Abcam (Великобритания, ab. 80436).

Содержание нейроглобина изучали в цитоплазме нейронов пятого слоя теменной коры и нейронов поля СА₁ гиппокампа в иммуногистохимических препаратах на основе величины оптической плотности осадка хромогена с помощью микроскопа Axioscop 2 plus (Zeiss, Германия), цифровой видеокамеры (LeicaDFC 320, Германия) и программы анализа изображения ImageWarp (Bitflow, США).

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

В результате исследований получены количественные непрерывные данные. Так как в эксперименте использованы малые выборки, которые имели ненормальное распределение, анализ проводили методами непараметрической статистики с помощью лицензионной компьютерной программы Statistica 10.0 для Windows (StatSoft, Inc., США).

Данные представлены в виде Me (LQ; UQ), где Me – медиана, LQ – значение нижнего квартиля; UQ – значение верхнего квартиля. Различия между группами считали достоверными при $p < 0,05$ (тест Крускаллы – Уоллиса с поправкой Бонферони).

Результаты и их обсуждение

При изучении показателей прооксидантно-антиоксидантного баланса головного мозга по сравнению с группой «Контроль» в группе «СИГМ» продолжительностью 1 час отмечали уменьшение показателей неферментативных механизмов защиты – общих SH-групп белков и глутатиона на 56 (49; 61) %, $P < 0,05$, концентрации GSH – НАНА 57 (51; 63) %, $P < 0,05$, а также повышение активности глутатионпероксидазы – на 12 (9; 18) %, $P < 0,05$, отражающие высокую напряженность ферментативных механизмов и увеличение содержания ТБКРС – на 32 (27; 38) %, $P < 0,05$, являющихся маркером окислительного стресса (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели прооксидантно-антиоксидантного баланса головного мозга крыс с субтотальной церебральной ишемией, Ме (LQ; UQ)

Группы	SH, ммоль/л	GSH, ммоль/л	ГП, ммоль GSH/мин. × л	ТБКРС, ммоль/л
Контроль	5,5 (5,4; 5,6)	4,6 (4,4; 4,8)	70 (70; 72)	19,9 (13,8; 22,7)
СИГМ 1 час	2,4 (2,3; 2,4)*	1,94(1,7; 2,0)*	80 (80; 82)*	29,4 (28,7;30,5)*
СИГМ 1 сутки	1,0 (0,9; 1,1)* ⁺	1,4(1,3; 1,5) * ⁺	18 (12; 18)* ⁺	35,1 (34,3; 35,8)* ⁺

Примечание – * – $p < 0,05$ по сравнению с группой контроль; ⁺ – $p < 0,05$ по сравнению с одночасовой СИГМ; СИГМ – субтотальная ишемия головного мозга; ГП – глутатионпероксидаза; ТБКРС – продукты, реагирующие с тиобарбитуровой кислотой; GSH – восстановленный глутатион.

При 1-суточной СИГМ, по сравнению с уровнем в группе «Контроль», произошло уменьшение общих SH-групп белков и глутатиона на 82 (77; 90) %, $P < 0,05$, концентрации GSH на 70 (68; 79) %, $P < 0,05$. Активность глутатионпероксидазы была ниже на 74 (67; 81) %, $P < 0,05$, а содержание ТБКРС – выше на 43 (37; 51) %, $P < 0,05$.

Данные изменения свидетельствуют о выраженных окислительных процессах (повышение содержания МДА), причем механизмы антиоксидантной защиты (снижение содержания SH, GSH, активности глутатионпероксидазы) выражены слабо.

В условиях 1-суточной СИГМ отмечено более значительное, чем при 1-часовой СИГМ, уменьшение общих SH-групп белков и глутатиона – на 58 (51; 64) %, $p < 0,05$, концентрации GSH – на 29 (19; 35) %, $p < 0,05$.

Повысилось содержание ТБКРС – на 17 (11; 23) %, $p < 0,05$, что указывает на большую активность окислительного стресса при продолжительности СИГМ 1 сутки.

Изменения активности глутатионпероксидазы были в данных моделях разнонаправленными – при 1-часовой СИГМ ее активность повышалась на 12 (9; 18) %, $p < 0,05$ по отношению к уровню контроля, а при 1-суточной – снижалась на 74 (67; 81) %, $p < 0,05$.

По сравнению с контролем в группе СИГМ продолжительностью 1 час содержание нейроглобина уменьшилось на 32 (29;39) % – в теменной коре ($p < 0,05$) и на 29 (22; 34) % – в гиппокампе ($p < 0,05$).

Изучение показателей прооксидантно-антиоксидантного баланса головного мозга показало, что по сравнению с группой «СИГМ», в группе «СИГМ + омега-3 ПНЖК» происходило увеличение содержания общих SH-групп белков и глутатиона на 52 (44; 61) %, $p < 0,05$, концентрации GSH на 48 (42; 55) %, $p < 0,05$, а также уменьшение активности глутатионпероксидазы – на 4 (2; 8) %, $p < 0,05$.

Содержание ТБКРС не изменялось ($p > 0,05$) (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели прооксидантно-антиоксидантного баланса головного мозга крыс с субтотальной церебральной ишемии и на фоне введения омега-3 полиненасыщенных жирных кислот, Ме (LQ; UQ)

Группы	SH, ммоль/л	GSH, ммоль/л	ГП, ммоль GSH/мин. × л	ТБКРС, ммоль/л
Контроль	5,51 (5,37; 5,62)	4,55 (4,39; 4,79)	70 (70; 72)	19,85 (13,81; 22,86)
СИГМ	2,42 (2,31; 2,44)*	1,94 (1,72; 1,95)*	80 (80; 82)*	29,35 (28,71; 30,47)*
СИГМ+ Омега-3 ПНЖК	5,04 (4,12; 5,09)*#	3,72 (3,12; 3,83)*#	77 (73; 79)*#	26,86 (26,14; 27,82)*

Примечание – * – $p < 0,05$ по сравнению с группой контроль; # – $p < 0,05$ – по отношению к значениям в группе «СИГМ»; СИГМ – субтотальная ишемия головного мозга; ГП – глутатионпероксидаза; ТБКРС – продукты, реагирующие с тиобарбитуровой кислотой; GSH – восстановленный глутатион; омега-3 ПНЖК – омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты.

Однако полной коррекции нарушений прооксидантно-антиоксидантного баланса не происходило.

Так, по сравнению с показателями в контрольной группе, в группе «СИГМ + омега-3 ПНЖК» содержания общих SH-групп белков и глутатиона было меньше на 9 (5; 12) %, $p < 0,05$, концентрация GSH – на 12 (7; 17) %, $p < 0,05$, а активность глутатионпероксидазы и содержание ТБКРС больше на 4 (1; 8) %, $p < 0,05$ и на 26 (18; 32) %, $p < 0,05$ соответственно, что указывает на большую активность окислительного стресса в группе «СИГМ + омега-3 ПНЖК».

Введение омега-3 ПНЖК не оказало эффекта на уровень содержания нейроглобина в цитоплазме нейронов теменной коры у крыс с СИГМ по сравнению с группой СИГМ без введения омега-3 ПНЖК ($p > 0,05$).

Однако в нейронах гиппокампа отмечалось увеличение содержания нейроглобина, по сравнению с группой СИГМ на 28 (21; 33) %, $p < 0,05$. По сравнению с группой «Контроль» содержание в группе «СИГМ + омега-3 ПНЖК» в теменной коре оставалось на 28 (22; 34) %, $p < 0,05$ меньше, а в гиппокампе не отличалось от показателей в контрольной группе ($p > 0,05$).

Таким образом, по мере удлинения ишемического периода отмечается наибольшая напряженность механизмов антиоксидантной защиты, что отражает уменьшение показателей общих SH-групп, концентрации GSH, а также увеличение активности глутатионпероксидазы, в то время как повышение содержания продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой, указывает на активацию перекисных процессов.

Проведенные исследования выявили наличие антиоксидантных свойств у омега-3 полиненасыщенных жирных кислот, что согласуется с данными литературы.

В наших предыдущих исследованиях было установлено, что введение препарата омега-3 полиненасыщенных жирных кислот оказывает корригирующее действие на структуры гиппокампа в условиях субтотальной ишемии головного мозга, уменьшая количество клеток-теней и гиперхромных сморщенных нейронов, не оказывая при этом влияния на размеры и форму нейронов теменной коры головного мозга, и способствует меньшей выраженности проявлений неврологического дефицита по сравнению с животными без его введения [1; 4].

Изучение особенностей энергообмена нейронов головного мозга крыс с субтотальной церебральной ишемией на фоне введения препарата омега-3 ПНЖК «Омега-мед» показало существенное улучшение параметров дыхания митохондрий и увеличение содержания АТФ-синтазы в нейронах гиппокампа при использовании в качестве субстрата сукцината в группе животных с СИГМ, получавших омега-3 ПНЖК [7].

Благоприятный эффект полиненасыщенных жирных кислот на состояние нейронов коры головного мозга в условиях субтотальной церебральной ишемии может быть обусловлен нормализацией реологических свойств крови вследствие уменьшения выработки тромбосана А тромбоцитами и увеличения уровня тканевого активатора плазминогена, а также улучшением текучести мембраны нейронов, уменьшением вязкости крови. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты также обладают противовоспалительным действием вследствие их встраивания в фосфолипидный слой клеточных мембран.

Кроме того, полиненасыщенные жирные кислоты, влияя на синтез простагландинов, регулируют сосудистый тонус и препятствуют вазоконстрикции сосудов под влиянием катехоламинов, что обуславливает умеренный вазодилаторный эффект [2; 5; 7–10].

Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты способны уменьшать активность окислительного стресса, т. к. являются необходимым компонентом в рецикле основных эндогенных антиоксидантов.

Помимо этого, они обладают собственной антиоксидантной активностью, обусловленной активацией образования коэнзима А, транспорта ацетата и жирных кислот из цитозоля в митохондриальный матрикс и стабилизацией клеточных мембран [3; 5].

Заключение

Таким образом, у крыс с СИГМ при продолжительности ишемического периода 1 сутки отмечались более выраженные нарушения прооксидантно-антиоксидантного баланса (уменьшение общих SH-групп белков и глутатиона, концентрации GSH и увеличение содержания ТБКРС), чем при 1-часовой СИГМ. Изменения активности глутатионпероксидазы были разнонаправленными – при 1-часовой СИГМ ее активность повышалась, а при 1-суточной – снижалась.

В то же время на фоне введения препарата омега-3 ПНЖК происходило улучшение показателей антиоксидантной защиты нейронов головного мозга, что проявилось в повышении содержания общих SH-групп белков и GSH, а также увеличении содержания нейроглобина в нейронах гиппокампа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bon, L. I. Evaluation of neurological deficiency in rats with cerebral ischemia following the administration of omega polyunsaturated fatty acids / L. I. Bon, N. Ye. Maksimovich // *Journal of Medical Science*. – 2021. – Vol. 90 (3). – P. 137–143.
2. Бонь, Е. И. Головной мозг крысы / Е. И. Бонь, Н. Е. Максимович, Н. А. Валько // *Оренбург. мед. вестн.* – 2022. – № 2 (38). – С. 5–11.
3. Severity of Oxidative Stress in Stepwise Cerebral Ischemia / E. I. Bon [et al.] // *Advance In Medical and Clinical Research*. – 2022. – Vol. 2. – P. 1–3.
4. Bon, L. I. Neurological Deficit and Corrective Effect of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Cerebral Ischemia in Rats: A case-control study / L. I. Bon, N. Ye. Maksimovich // *Biotechnology and Bioprocessing*. – 2021. – Vol. 2. – P. 3–6.
5. Бонь, Е. И. Корректирующий эффект омега-3 полиненасыщенных жирных кислот при оценке неврологического дефицита у крыс с ишемией головного мозга / Е. И. Бонь, Н. Е. Максимович, А. В. Малыгина // *Оренбург. мед. вестн.* – 2022. – Т. X, № 1 (37). – С. 50–54.
6. Effects of Neuroglobin in Cerebral Ischemia and Introduction of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids / L. I. Bon [et al.] // *Journal of Psychiatry and Psychological Disorders*. – 2023. – № 1 (2). – P. 1–8.

7. Коррекция ω -3 полиненасыщенными жирными кислотами нарушений энергетических процессов в тканях головного мозга крыс при субтотальной церебральной ишемии / Е. И. Бонь [и др.] // Наука и инновации. – 2022. – № 5 (231). – С. 78–83.
8. Характеристика нарушений прооксидантно-оксидантного баланса у крыс с ишемией головного мозга / Е. И. Бонь [и др.] // Ульянов. мед.-биол. журн. – 2022. – № 3. – С. 97–106.
9. Changes In the Course of Energy and Oxidative Processes of The Brain During Its Ischemia / E. I. Bon [et al.] // Journal of Adolescent and Addiction Research (JAAR). – 2023. – Vol. 2 (13). – P. 1–6.
10. Maksimovich, N. Ye. Oxidative Stress and Methods of Its Determination in Experimental Brain Pathology / N. Ye. Maksimovich, L. I. Bon, S. V. Holik // Archives of Urology and Nephrology. – 2023. – № 2 (1). – P. 1–11.

REFERENCES

1. Bon, L. I. Evaluation of neurological deficiency in rats with cerebral ischemia following the administration of omega polyunsaturated fatty acids / L. I. Bon, N. Ye. Maksimovich // Journal of Medical Science. – 2021. – Vol. 90 (3). – P. 137–143.
2. Bon', Ye. I. Golovnoj mozg krysy / Ye. I. Bon', N. Ye. Maksimovich, N. A. Val'ko // Orenburg. med. viestn. – 2022. – № 2 (38). – S. 5–11.
3. Severity of Oxidative Stress in Stepwise Cerebral Ischemia / E. I. Bon [et al.] // Advance In Medical and Clinical Research. – 2022. – Vol. 2. – P. 1–3.
4. Bon, L. I. Neurological Deficit and Corrective Effect of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Cerebral Ischemia in Rats: A case-control study / L. I. Bon, N. Ye. Maksimovich // Biotechnology and Bioprocessing. – 2021. – Vol. 2. – P. 3–6.
5. Bon', Ye. I. Korriektirujushchij effiect omiega-3 poliunienasyshchiennykh kislot pri ocenkie nievrologichieskogo dieficita ukrys s ishemijej golovnogo mozga / Ye. I. Bon', N. Ye. Maksimovich, A. V. Malykhina // Orenburg. med. vistn. – 2022. – Vol. X, № 1 (37). – S. 50–54.
6. Effects of Neuroglobin in Cerebral Ischemia and Introduction of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids / L. I. Bon [et al.] // Journal of Psychiatry and Psychological Disorders. – 2023. – № 1 (2). – P. 1–8.
7. Korriekcija ω -3 polinienasyshchiennymi zhirnymi kislotami narushenij energietichieskikh processov v tkaniakh golovnogo mozga krys pri subtotal'noj cerebral'noj ishemii / Ye. I. Bon' [i dr.] // Nauka i innovacii. – 2022. – № 5 (231). – S. 78–83.
8. Kharakteristika narushenij prooksidantno-oksidantnogo balansa u krys s ishemijej golovnogo mozga / Ye. I. Bon' [i dr.] // Ul'jan. med.-biol. zhurn. – 2022. – № 3. – S. 97–106.
9. Changes In the Course of Energy and Oxidative Processes of The Brain During Its Ischemia / E. I. Bon [et al.] // Journal of Adolescent and Addiction Research (JAAR). – 2023. – Vol. 2 (13). – P. 1–6.
10. Maksimovich, N. Ye. Oxidative Stress and Methods of Its Determination in Experimental Brain Pathology / N. Ye. Maksimovich, L. I. Bon, S. V. Holik // Archives of Urology and Nephrology. – 2023. – № 2 (1). – P. 1–11.

УДК 581.9 (476.7)

Максим Михайлович Вабищевич¹, Наталья Валерьевна Шкуратова²

¹студент IV курса факультета естествознания
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц., зав. каф. ботаники и экологии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Maxim Vabishchevich¹, Natalia Shkuratova²

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

²Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Botany and Ecology
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: schkuratova_n@tut.by¹

СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ СТОЛИНСКОГО РАЙОНА НА ПРИМЕРЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ АГ. ПЛОТНИЦА

Установлен состав флоры окрестностей аг. Плотница Столинского района Брестской области. Показано, что 410 видов из них относятся к аборигенной фракции и 142 вида – к адвентивной фракции флоры. Продемонстрировано, что таксономический состав флоры региона является типичным для умеренных широт Голарктики. Установлены доминирующие экологические группы растений на территории исследования. Выявлен гетерогенный характер географической структуры флоры Столинского района с преобладанием видов с евросибирским, европейским и голарктическим типами ареалов. Относительно широтного диапазона продемонстрировано преобладание плюризональных видов. Установлено произрастание 42 видов растений, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь, и 19 видов, нуждающихся в профилактической охране.

Ключевые слова: флора, таксономия, экология, география, созология.

The Modern Structure of the Flora of the Stolinsky District on the Example of the Surroundings of ag. Plotnitsa

The composition of the flora of the surroundings of Plotnitsa village of Stolinsky district of the Brest region has been established. It is shown that 410 species belong to the aboriginal fraction and 142 species belong to the adventitious fraction of flora. It is demonstrated that the taxonomic composition of the flora of the region is typical for the temperate latitudes of the Holarctic. The dominant ecological groups of plants in the study area have been established. The heterogeneous nature of the geographical structure of the flora of the Stolinsky district with a predominance of species with European-Siberian, European and Holarctic types of habitats is revealed. Relative to the latitude range, the predominance of plurizonal species has been demonstrated. The places of growth of 42 plant species listed in the Red Book of the Republic of Belarus and 19 species in need of preventive protection have been established.

Key words: flora, taxonomy, ecology, geography, sozology.

Введение

Флора любой территории представляет собой наиболее динамичный компонент биоты, особенно в условиях антропогенного прессинга и климатических изменений. Смещение границ агроклиматических зон наряду с мелиорацией, хозяйственным освоением земель, строительством дорог, промышленных объектов и другое способствует изменению границ ареалов видов, состава флоры. Присвоение Столинскому р-ну статуса аграрного повлекло нарушение целостности естественного растительного покрова территории и привело к его сильной фрагментации за последние несколько десятилетий, что, в свою очередь, стало причиной динамики флоры. В связи с вышесказанным необходимость всесторонних исследований и мониторинга растительных ресурсов Столинского р-на как составляющей работы по сохранению биологического разнообразия указанной территории не вызывает сомнения [1].

Отсутствие обобщающих сведений о флоре данной территории и определило цель исследования – установить современную структуру флоры Столинского р-на на примере окрестностей аг. Плотница.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлась флора сосудистых растений Столинского р-на Брестской обл. Исходными данными для установления современного видового состава флоры послужили результаты собственных исследований, выполненные в вегетационные сезоны 2021–2022 гг. маршрутным и полустационарным методами, а также материалы научного гербария Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина. Определение видовой принадлежности таксонов проведено в соответствии с «Определителем высших растений Беларуси» (1999) [2].

Оценка видовой разнообразия и таксономический анализ флоры Столинского р-на выполнены с использованием общепринятых в сравнительной флористике подходов. То есть анализировались такие основные показатели таксономической структуры, как ранжированные ряды семейств по числу видов и родов по числу видов, выделялось среднее число видов в семействе, среднее число родов в семействе и среднее число видов в роде [3]. При определении типа флоры опирались на данные, предложенные А. И. Толмачевым [4].

При установлении экологической структуры флоры Столинского р-на использовали экологические шкалы, разработанные Н. Ellenberg [5] и Ya. P. Didukh [6], т. к. они наиболее удобны в использовании с целью конкретного анализа флоры Беларуси. В связи с этим при экологической характеристике каждого вида растения выделялись следующие основные экоморфы: гидроморфы (отношение растений к водному режиму почв); трофоморфы (отношение растений к трофическому режиму почвы); ацидоморфы (отношение растений к кислотности почв); термоморфы (типы отношения растений к зональным режимам тепла); гелиоморфы (отношение растений к световому режиму местообитания).

Характеристика фитохронологических особенностей видов выполнена с учетом работ Н. Meusel et al. [7] и Н. В. Козловской [8], согласно которым долготные элементы флоры Беларуси представлены космополитными и гемикосмополитными, голарктическими, евразийскими, евросибирскими, евросибирско-арало-каспийскими, европейско-малоазийскими и европейскими видами, а широтные элементы – плюризональными, аркто-бореальными, аркто-борео-сарматскими, бореальными, бореально-сарматскими, сарматскими, понтическо-сарматскими и понтическими видами.

Анализируя адвентивный компонент флоры, мы придерживались классификаций А. Thellung [9] и К. Danylyuk [10] с уточнениями Д. И. Третьякова [11].

Результаты и их обсуждение

В результате обследования лесных, луговых, сорно-придорожных и водно-прибрежных сообществ нами было выявлено 552 вида сосудистых растений, относящихся к 318 родам, 99 семействам, 81 порядку, шести классам и пяти отделам. В это число включены дикорастущие, а также дичающие виды растений. Аборигенная фракция флоры представлена 410 видами из 243 родов и 89 семейств (таблица 1).

Как видно из таблицы, низкая численность видов в отделах *Lycopodiophyta* D. H. Scott, *Equisetophyta* Reveal, *Polypodiophyta* Cronquist, Takht. & W. Zimm., *Pinophyta* Cronquist, Takht. & W. Zimm. ex Reveal для аборигенной флоры является типичным для флоры Голарктического флористического царства. Она иллюстрирует затухание процесса видообразования в этих таксонах, отражающее современное состояние эволюции растительного мира [12].

Таблица 1 – Соотношение отделов высших растений

Отдел	Аборигенная фракция						Адвентивная фракция					
	Семейство		Род		Вид		Семейство		Род		Вид	
	кол.	%	кол.	%	кол.	%	кол.	%	кол.	%	кол.	%
<i>Lycopodiophyta</i>	1	1,12	3	1,23	4	0,98	0	0	0	0	0	0
<i>Equisetophyta</i>	1	1,12	1	0,41	2	0,49	0	0	0	0	0	0
<i>Polypodiophyta</i>	6	6,74	6	2,47	6	1,46	0	0	0	0	0	0
<i>Pinophyta</i>	1	1,12	2	0,82	2	0,49	0	0	0	0	0	0
<i>Magnoliophyta</i> , в т. ч.:	80	89,89	231	95,06	396	96,59	42	100	111	100	142	100
<i>Magnoliopsida</i>	65	73,03	188	77,37	307	74,88	37	88,10	102	91,89	129	90,85
<i>Liliopsida</i>	15	16,85	43	17,70	89	21,71	5	11,90	9	8,11	13	9,15
Всего:	89	100	243	100	410	100	42	100	111	100	142	100

На территории исследования в первую триаду семейств аборигенной фракции флоры входят семейства – *Asteraceae* (44 вида), *Cyperaceae* (31 вид) и *Fabaceae* (26 видов), что соответствует спектру ведущих семейств флоры Беларуси [8] и является типичным для умеренных широт Голарктического флористического царства [4]. Родово-видовой спектр местной флоры выделяется в первую очередь высокими позициями типичного бореального рода *Carex* L. (27 видов). О бореально-температном характере исследованной флоры свидетельствует значительная видовая численность бореальных родов – *Salix* L. (10 видов), *Juncus* L. (восемь видов), *Ranunculus* L. (четыре вида), а также широко распространенных в умеренной зоне Северного полушария *Potentilla* L. (пять видов), *Galium* L. (пять видов), *Campanula* L. (пять видов), *Stellaria* L. (четыре вида), *Lathyrus* L. (пять видов), *Viola* L. (четыре вида), *Pilosella* Hill (четыре вида) и *Geranium* L. (четыре вида).

Адвентивная фракция флоры включает 142 вида, 111 родов и 42 семейства, произрастающих в полуестественных и естественных природных условиях. Ведущими по числу видов семействами в составе фракции являются *Asteraceae* (33 вида), *Brassicaceae* (10 видов), *Caryophyllaceae* (9 видов), *Fabaceae* (9 видов). Родов, отчетливо выделяющихся видовой представленностью в адвентивном субэlemente исследуемой флоры, не зафиксировано. Наиболее богатым является европейский род *Artemisia* L., представленный четырьмя видами. В составе таких родов, как *Amaranthus* L., *Atriplex* L., *Acer* L., *Medicago* L., *Lolium* L., на территории исследования выявлено по три вида, в 16 родах (*Juncus* L., *Petasites* Mill., *Cirsium* Mill., *Rumex* L. и др.) – по два вида. Роды, представленные одним видом, в адвентивной фракции составляют больше половины – 77,48 % от всех родов. Таким образом, по первой триаде ведущих семейств – *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Fabaceae* – можно сделать вывод о том, что исследуемая флора относится к *Fabaceae*-типу, а ее обогащение адвентивными видами приближает ее к флорам более южных территорий (Средней Европы и Средиземноморья) [13].

Современное состояние, а также развитие флор в настоящем и в прошлом неразрывно связано с условиями среды и геологической историей определенной физико-географической территории. Разнообразие природных условий определяет возможность процессов видообразования, полиморфизм и богатство флор. Поэтому экологический анализ любой флоры – важная составная часть ее общей характеристики [14]. Распределение видов по экологическим группам дает возможность определить характерные черты флоры, сопряженные вместе с географическим расположением конкретного региона, дать характеристику филогенетической структуры ключевых экотопов района, установить экологические оптимумы видов, что имеет важное значение для экологической оценки флоры и ее последующей природоохранной деятельности.

В ходе исследования были установлены следующие экологические особенности, характерные для флоры Столинского р-на. По отношению к влажности почвы в составе флоры окрестностей аг. Плотница наибольшее число видов составляют мезофиты (31,70 %) и гигромезофиты (28,62 %). Объясняется такое довольно обширное количество видов как особенностью ценологических условий, так и особенностями рельефа исследуемой территории. Далее в порядке убывания следуют гигрофиты (17,21 %), субмезофиты (9,42 %), субксерофиты (5,43 %), гидрофиты (2,72 %), субгидрофиты и пергидрофиты (1,81 %), ксерофиты (0,72 %), гипергидрофиты (0,54 %).

Немаловажным экологическим фактором, влияющим на жизнь растений, является кислотность почв. Уа. Р. Didukh сравнивает этот фактор с аллопатическим механизмом отбора конкретных видов: уничтожением одних видов и вклад в развитие других [6]. Преобладание слабокислых (рН = 5,5–6,5) и нейтральных дерново-подзолистых почв на территории Столинского р-на стало причиной преобладания субацидофильной и нейтрофильной групп растений, составляющих здесь порядка 84,60 % от всего многообразия видов. Всего 10,33 % видов относится к ацидофилам – видам, произрастающим на почвах с общим значением рН = 4,5–5,5. Еще менее многочисленными являются перацидофилы (2,68 %) – виды, произрастающие на довольно кислых почвах бедных сосновых лесов и мезотрофных болот. 1,09 % составляют виды, произрастающие на щелочных почвах (рН = 7,2–7,7).

Малочисленны группы гиперацидофилов и базофилов (по 0,36 %). Например, на олиготрофных болотах, где значение рН почвы меньше 3,7, обычным видом является гиперацидофил *Oxycoccus palustris* Pers., на щелочных почвах региона (рН = 7,7–8,2) широко распространен базофил *Rumex confertus* Willd.

Анализ спектра трофоэкогрупп показал преобладание семиэвтрофов, эвтрофов и мезотрофов (47,83 %, 21,74 %, 20,11 % от общего количества видов соответственно). Представители олиготрофной и гликотрофной групп в составе флоры Столинского р-на менее многочисленны: олиготрофы (2,17 %), семиолиготрофы (4,71 %), субгликотрофы (2,17 %), гликотрофы и мезогалотрофы (0,54 % и 0,36 % соответственно).

По отношению растений к тепловому режиму заметно преобладание группы субмезотермофитов (49,64 %) с субсветовым режимом освещения (субгелиофиты 66,49 %).

Деление на природные зоны Земли отражает растительный покров в соответствии с генезисом и условиями окружающей среды, прежде всего климатическими, эдафическими, биотическими, антропогенными [15]. Изучение же географического распространения видов, составляющих флору, является определенной предпосылкой для решения многих теоретических и практических вопросов ботанической географии, аутэкологии, систематики, направлений синантропизации, а также для выяснения ее происхождения и истории формирования [16; 17].

Проведенный нами географический анализ флоры Столинского р-на подтверждает ее гетерогенный характер [18] с преобладанием европейско-сибирских (18,84 %), европейских (18,48 %) и голарктических (12,50 %) типов ареалов, что указывает на связь исследуемой территории с различными регионами Сибири, Европы и Голарктики в целом (рисунок 1).

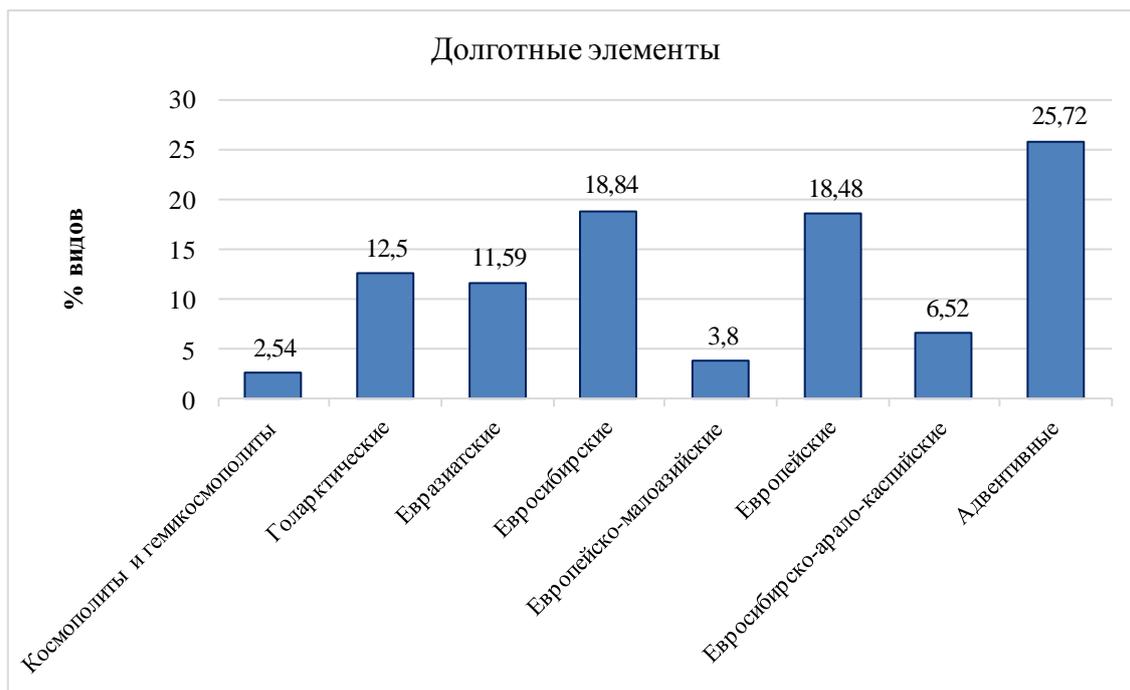


Рисунок 1 – Распределение видов по долготным элементам флоры

В широтном диапазоне также присутствует значительная гетерогенность с преобладанием плюризональных (18,84 %) видов. Ареалы большого количества таксонов размещены в умеренном поясе, что указывает на значительное количество бореально-сарматских (17,21 %) и сарматских (14,67 %) видов (рисунок 2). Остальные виды как представители теплолюбивой и холодостойкой фракции идут в порядке уменьшения от понтичско-сарматских до аркто-бореальных, т. к. многие из них на территории Столинского района находятся в пределах своего естественного ареала.

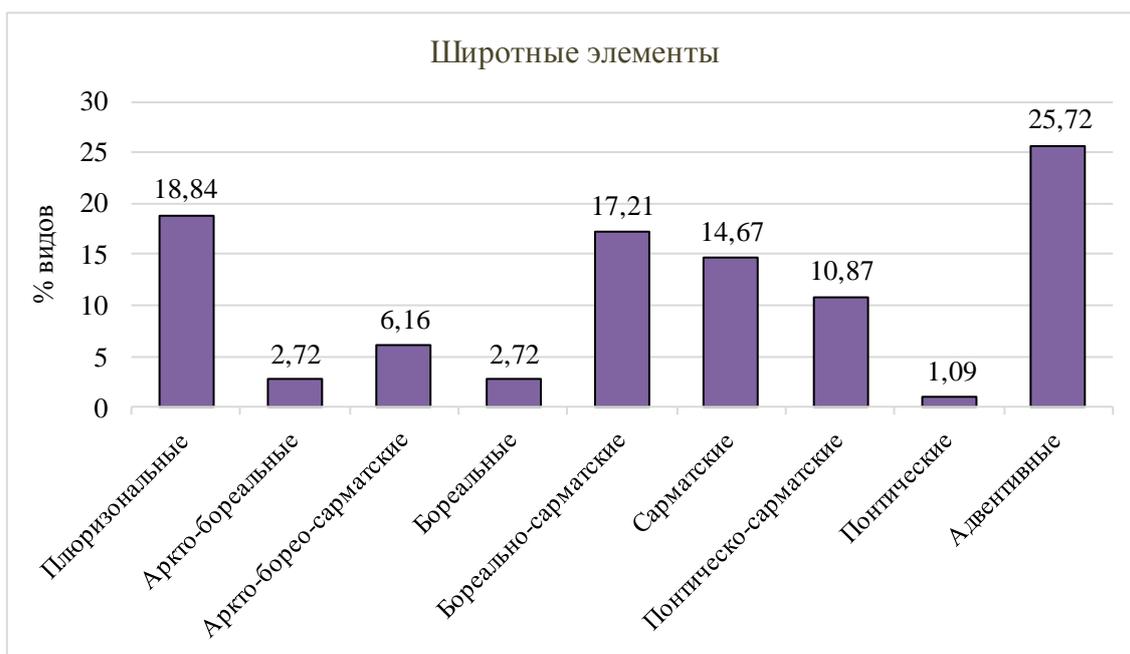


Рисунок 2 – Распределение видов по широтному элементу флоры

Характеристика адвентивного компонента флоры показала некоторую интенсификацию адвентизации флоры в современный период, более широкое распространение заносных видов относительно видов «культуробеженцев», тенденцию к активной натурализации адвентивных видов, способных оказывать непосредственное влияние на развитие растительного покрова.

Анализ первичных ареалов всех заносных видов показывает, что родиной большинства из них является Европа (76 видов), Северная Америка (22 вида), Средиземноморье (16 видов). Первичный ареал остальных видов охватывает Средиземноморско-Ирано-Туранскую область (9 видов), различные регионы Азии (восемь видов), Ирано-Туранский регион (четыре вида), Южную Америку и Кавказ (по два вида).

Также следует упомянуть виды антропогенного происхождения (*Malus domestica* Borkh., *Mentha × piperita* L., *Leucanthemum maximum* (Ramond) DC), численность которых с годами только возрастает.

В процессе характеристики адвентивного элемента с учетом времени и способа заноса, а также степени натурализации, было установлено, что в составе флоры Столинского р-на соотношение археофитов и неофитов примерно одинаково. На долю археофитов приходится 49,3 % от общего числа адвентивных видов, занесенных еще до конца XV в. Данная группа включает в себя как сеgetальные (*Sinapis arvensis* L., *Lycopsis arvensis* L., *Chenopodium album* L. и др.), так и рудеральные (*Artemisia absinthium* L., *Chelidonium majus* L., *Portulaca oleracea* L.) виды.

На долю неофитов в пределах исследованной флоры приходится 50,7 % от общего числа адвентивных видов. Неофиты представлены хозяйственно ценными (*Grossularia uva-crispa* (L.) Mill., *Ribes rubrum* L., *Medicago sativa* L.), декоративными (*Dianthus barbatus* L., *Viola odorata* L. и др.), сорно-рудеральными (*Bidens frondosa* L., *Spergula arvensis* L. и др.) видами.

По способу заноса выявленные виды делятся на три группы. Доминирует группа ксенофитов (66,2 % от общего числа адвентивных видов), которая представлена такими заносными сорно-рудеральными видами как, например, *Echinochloa crus galli* (L.) Beauv. Группа эргазиофитофитов составляет 31,7 %, что количественно равно 45 видам, в число которых входит, например, *Hesperis ruscifolia* Borbas & Degen. Наименее многочисленными являются эргазиолиптофиты (2,1 % от общего числа адвентивных видов), в т. ч. древесные (например, *Tamarix ramosissima* Ledeb.) и травянистые (например, *Primula vulgaris* Huds.) виды.

Степень натурализации отражает способность заносных видов внедряться в естественные или полустественные фитоценозы. На территории исследования выявили 4 группы адвентивных видов. В наиболее многочисленную группу эпекофитов входят 55,6 % адвентивных видов исследованной территории. Виды этой группы распространяются на вторичных местообитаниях, где могут длительно удерживаться, например, *Melilotus albus* Medic., *Ballota nigra* L. и др.

Колонофиты, способные продолжительное время удерживаться в местах заноса, но не имеющие тенденции к дальнейшему распространению, составляют 16,9 % от общего числа адвентивных видов. Наиболее распространенными из данной группы видами являются *Thlaspi arvense* L., *Malus domestica* Borkh, *Artemisia dracuncululus* L. и др.

Группа эфемерофитов представлена одним видом – *Impatiens balsamina* L., не имеющим признаков натурализации.

На долю агриофитов приходится 26,7 % от общего числа адвентивных видов. Из группы агриофитов полноправными компонентами естественных сообществ являются *Berteroa incana* (L.) DC., *Viola tricolor* L., *Torilis japonica* (Houtt.) DC. и др.

Что касается вопросов охраны флоры, то, если брать в учет всю территорию Столинского р-на, анализируя доступные литературные источники [19; 20], данный ре-

гион занимает 6-е место в Брестской обл. по числу редких и охраняемых видов растений. Здесь зарегистрированы места произрастания 86 популяций 42 видов растений, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь (II категория – семь видов, III категория – 17 видов, IV категория – 18 видов), и 19 видов, нуждающихся в профилактической охране [19].

С учетом современного распространения охраняемых на национальном уровне видов растений выделены репрезентативные флористические комплексы, занимающие около 34 % от территории Столинского р-на. Наиболее значимыми являются ландшафтные заказники республиканского значения «Средняя Припять», «Ольманские болота», а также водно-болотный заказник республиканского значения «Морочно», в составе которых достоверно произрастает 12 и более таксонов.

Для эффективного решения проблемы сохранения растительного мира видовая охрана растений должна сочетаться с заповедованием ценных растительных сообществ и популяций редких видов растений.

Заключение

Таким образом, во флоре окрестностей аг. Плотница Столинского р-на выявлено 552 вида высших растений (410 видов относятся к аборигенной фракции и 142 вида – к адвентивной фракции флоры). Таксономический состав флоры региона является типичным для умеренных широт Голарктики, что подтверждается тройкой ведущих семейств аборигенной флоры исследованной территории – *Asteraceae* (44 вида), *Cyperaceae* (31 вид) и *Fabaceae* (26 видов). В таксономической структуре адвентивного компонента флоры доминируют семейства *Asteraceae* (33 вида), *Brassicaceae* (10 видов), *Caryophyllaceae* (9 видов).

Во флоре исследованной территории установлено доминирующее положение мезофитов (32,70 %) и гигромезофитов (27,92 %). Эдафический анализ выявил преобладание видов семиэвтрофов (47,42 %), субацидофилов (43,30 %) и геминитрофилов (39,86 %), что соответствует почвенно-грунтовым условиям Припятского Полесья. Установлено преобладание субгелиофитов (67,11 %) и субмезотермофитов (49,64 %), что характерно для подавляющего большинства видов умеренной зоны Голарктики.

Географический анализ флоры Столинского р-на подтверждает ее гетерогенный характер, преобладание видов с евросибирским (18,84 %), европейским (18,48 %) и голарктическим (12,50 %) типами ареалов. Относительно широтного диапазона наиболее многочисленна группа плюризональных видов (18,84 %). Ареалы большого количества таксонов размещены в умеренном поясе, что указывает на значительное количество бореально-сарматских (17,21 %) и сарматских видов (14,67 %).

В результате соэкологического анализа на территории исследования выявлены 42 вида растений, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь (II категория – семь видов, III категория – 17 видов, IV категория – 18 видов), и 19 видов, нуждающихся в профилактической охране.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Юрцев, Б. А. Флора как природная система / Б. А. Юрцев // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1982. – Т. 87, № 4. – С. 3–22.
2. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Дизайн Про, 1999. – 471 с.
3. Шмидт, В. М. Статистические методы в сравнительной флористике / В. М. Шмидт. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 176 с.

4. Толмачев, А. И. Богатство флор как объект сравнительного изучения / А. И. Толмачев // Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. биол. – 1970. – № 9. – С. 71–83.
5. Фитоиндикация: экологические шкалы Элленберга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geoeocograph.blogspot.com/2015/02/Fitoindikacija-jekologicheskie-shkaly-ellenberga.html>. – Дата доступа: 20.03.2023.
6. Didukh, Ya. P. The ecological scales of the species of ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh. – Kyiv : Phytosociocenter, 2011. – 176 s.
7. Meusel, H. Vergleichende Chorologie der zentraleuropaischen Flora / H. Meusel, E. Jager, E. Weinert. – Jena : Fischer, 1965. – 258 s.
8. Козловская, Н. В. Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны / Н. В. Козловская. – Минск : Наука и техника, 1978. – 128 с.
9. Thellung, A. Zur Terminologie der Adventiv- und Ruderalflora / A. Thellung // Allgemeine Bot. Zeitschrift. – 1918–1919. – Bd. 24/25. – S. 36–42.
10. Danylyuk, K. Synanthropic plants in vascular flora of the Regional Landscape Park «Nadsyansky» (NRPL), Ukraine / K. Danylyuk // Rocz. Bieszczadzkie. – 2013. – Nr 21. – S. 118–126.
11. Третьяков, Д. И. Адвентивная фракция флоры Беларуси и ее становление / Д. И. Третьяков // Изучение биологического разнообразия методами сравнительной флористики : материалы IV рабочего совещ. по сравн. флористике, Берез. биосфер. заповедник, 1993 г. / редкол.: Б. А. Юрцев (отв. ред.) [и др.]. – СПб., 1998. – С. 250–259.
12. Лукаш, О. В. Флора судинних рослин Східного Полісся: історія дослідження : конспект / О. В. Лукаш. – Київ : Фітосоціоцентр, 2008. – 436 с.
13. Морозова, О. В. Таксономическое богатство Восточной Европы. Факты пространственной дифференциации / О. В. Морозова ; отв. ред. А. А. Тишков. – М. : Наука, 2008. – 328 с.
14. Будра, Р. И. Антропогенная трансформация флоры / Р. И. Будра. – Киев : Наук. думка, 1991. – 168 с.
15. Тахтаджян, А. Л. Флористические области Земли / А. Л. Тахтаджян. – М. : Наука, 1978. – 248 с.
16. Географический анализ флоры ксерофитов российского Кавказа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/geograficheskiy-analiz-flory-kserofitov-rossiyskogo-kavkaza/viewer>. – Дата доступа: 16.03.2023.
17. Коломійчук, В. П. Географічний аналіз флори берегової зони Азовського моря / В. П. Коломійчук // Біол. вісн. МДПУ. – 2012. – № 2. – С. 74–79.
18. Парфенов, В. И. Обусловленность распространения и адаптация видов растений на границах ареалов / В. И. Парфенов. – Минск : Наука и техника, 1980. – 208 с.
19. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / редкол.: И. М. Качановский [и др.]. – 4-е изд. – Минск : Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.
20. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2017 гг. / О. М. Масловский [и др.] ; науч. ред. А. В. Пугачевский. – Минск : Беларус. навука, 2019. – 599 с.

REFERENCES

1. Jurcev, B. A. Flora kak prirodnaia sistema / B. A. Jurcev // Biul. MOIP. Otd. biol. – 1982. – T. 87, № 4. – S. 3–22.
2. Opriedielitiel' vysshikh rastienij Bielarusi / pod ried. V. I. Parfionova. – Minsk : Dizajn Pro, 1999. – 471 s.

3. Shmidt, V. M. Statistichieskije mietody v sravnitel'noj floristiki / V. M. Shmidt. – L. : Izd-vo Leningr. un-ta, 1980. – 176 s.
4. Tolmachiov, A. I. Bogatstvo flor kak object sravnitel'nogo izuchienija / A. I. Tolmachiov // Viestn. Leningr. un-ta. Sier. biol. – 1970. – № 9. – S. 71–83.
5. Fitoindikacija: ekologichieskije shkaly Ellienberga [Eliكتروнный riesurs]. – Riezhim dostupa: <https://geoecograph.blogspot.com/2015/02/Fitoindikacija-jekologichieskie-shkaly-ellenberga.html>. – Дата доступа: 20.03.2023.
6. Didukh, Ya. P. The ecological scales of the species of ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh. – Kyiv : Phytosociocenter, 2011. – 176 s.
7. Meusel, H. Vergleichende Chorologie der zentraleuropaischen Flora / H. Meusel, E. Jager, E. Weinert. – Jena : Fischer, 1965. – 258 s.
8. Kozlovskaja, N. V. Flora Bielorusii, zakonomiernosti jejo formirovanija, nauchnyje osnovy ispol'zovanija i okhrany / N. V. Kozlovskaja. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1978. – 128 s.
9. Thellung, A. Zur Terminologie der Adventiv- und Ruderalflora / A. Thellung // Allgemeine Bot. Zeitschrift. – 1918–1919. – Bd. 24/25. – S. 36–42.
10. Danylyuk, K. Synanthropic plants in vascular flora of the Regional Landscape Park «Nadsyansky» (NRPL), Ukraine / K. Danylyuk // Roczniki Bieszczadzkie 21 (2013). – Str. 118–126.
11. Triet'jakov, D. I. Advientivnaja frakcija flory Bielarusi i jejo stanovlienije / D. I. Triet'jakov // Izuchienije biologichieskogo raznoobrazija mietodami sravnitel'noj floristiki : materialy IV rabochiego sovieshch. po sravnit. floristiki, Bierioz. biosfier. zapoviednik, 1993 g. / riedkol.: B. A. Jurcev (otv. ried.) [i dr.]. – SPB., 1998. – S. 250–259.
12. Lukash, O. V. Flora sudynnykh Roslyn Skhidnoho Polissia: istorija doslidzhennia : konspekt / O. V. Lukash. – Kyjiv : Fitocociocentr, 2008. – 436 s.
13. Morozova, O. V. Taksonomichieskoje bogatstvo Vostochnoj Jevropy. Fakty prostranstviennoj diffierenciacii / O. V. Morozova ; otv. ried. A. A. Tishkov. – M. : Nauka, 2008. – 328 s.
14. Burda, R. I. Antropogiennaja transformacii flory / R. I. Burda. – Kijev : Nauk. dumka, 1991. – 168 s.
15. Takhtadzhian, A. L. Floristichieskije oblasti Ziemli / A. L. Takhtadzhian. – M. : Nauka, 1978. – 248 c.
16. Ггеографичieskij analiz flory ksierofitov rossijskogo Kavkaza [Eliكتروнный riesurs]. – Riezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/geografichieskiy-analiz-flory-ksierofitov-rossijskogo-kavkaza/viewer>. – Data dostupa: 16.03.2023.
17. Kolomijchuk, V. P. Heohrafichnyj analiz flory berehovoji zony Azovs'kohoria / V. P. Kolomijchuk // Biol. visn. MDPU. – 2012. – № 2. – S. 74–79.
18. Parfionov, V. I. Obuslovliennost' rasprostranienija i adaptacija vidov rastienij na granicakh ariealov / V. I. Parfionov. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1980. – 208 s.
19. Krasnaja kniga Riespubliki Bielarus'. Rastienija: riedkije i nakhodiashchiesia pod ugrozoi ischieznivienija vidy dikorastushchikh rastienij / riedkol.: I. M. Kachanovskij [i dr.]. – 4-je izd. – Minsk : Bielarus. Encikl. imia P. Brouki, 2015. – 448 s.
20. Gosudarstviennyj kadastr rastitel'nogo mira Riespubliki Bielarus'. Osnovy kadastra. Piervichnoje obsliedovanije 2002–2017 gg. / O. M. Maslovskij [i dr.] ; nauch. ried. A. V. Pugachievskij. – Minsk : Bielarus. navuka, 2019. – 599 s.

УДК 631.811.982

**Виктор Трофимович Демянчик¹, Михаил Александрович Лукьянчик²,
Виктор Викторович Демянчик³**

¹канд. биол. наук, доц., зав. лаб. оптимизации экосистем

Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси

²студент IV курса факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³науч. сотрудник лаб. биогеохимии Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

Victar Dziamianchyk¹, Mihail Lukuanchik², Victor V. Dziamianchyk³

¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,

Head of the Ecosystem Optimization Laboratory of Polesie Agrarian Ecological Institute

of National Academy of Sciences of Belarus

²4-th Year Student of the Faculty of Natural Sciences

of Brest State A. S. Pushkin University

³Researcher of the Laboratory of Biogeochemistry

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

e-mail: ^{1,3}koktebel.by@mail.ru; ²idl-27@tut.by

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РЕДКИХ ВИДОВ ПТИЦ НА ГОРОДСКОЙ ЗИМОВКЕ

Среди 90 видов зимующих видов птиц г. Бреста (Беларусь) в сезон 2022/23 г. установлено обитание 33 единично и семь очень редко регистрируемых видов птиц; первые для г. Бреста зимовки *Grus* и *Mergus serrator*; одни из первых на территории Беларуси зимовок *Grus grus* и *Turdus iliacus*; неравномерное подекадное распределение и количества фактов, и количества особей единично регистрируемых зимующих видов птиц; количество особей в единичных регистрациях имело положительный, а количество регистраций – отрицательный тренд; в середине зимовки отмечался резкий спад числа регистраций и особей среди редких видов птиц.

Ключевые слова: орнитофауна, динамика, редкие виды, г. Брест и окрестности, зимовка.

Seasonal Dynamics of Rare Bird Species in Urban Wintering

Among 90 wintering bird species of Brest (Belarus) in the season 2022/2023 established: habitat 33 single and 7 very rarely recorded species of birds; the first wintering grounds for *Grus grus* and *Mergus serrator* for Brest; one of the first wintering grounds for the territory of Belarus *Grus grus* and *Turdus iliacus*; uneven distribution of both the number of facts and the number of individuals of single recorded wintering bird species per decade; the number of individuals in single registrations had a positive trend, and the number of registrations had a negative trend; in the middle of wintering, there was a sharp decline in the number of registrations and individuals among rare bird species.

Key words: avifauna, dynamics, rare species, Brest and surroundings, wintering.

Введение

Изучение орнитофауны городских территорий – одно из традиционных направлений орнитологии Беларуси и других стран. Состоявшиеся климатические изменения обуславливают существенные хронологические и экологические адаптации мигрирующих и оседлых видов птиц. Такие явления наблюдаются и среди видов птиц, традиционные места зимовок которых находятся за пределами г. Бреста и других местностей юго-запада Беларуси. Цель статьи – оценка видового состава и динамики в течение одного из самых теплых сезонов 2022/23 г. наиболее редких зимующих птиц на городских землях Бреста.

Материалы и методы

Исследования проведены в зимний сезон 2022/23 г. Для сравнения использованы литературные и фондовые данные по зимней орнитофауне г. Бреста за последние

40 лет. Учеты проводились на постоянных площадках наблюдений и учетных маршрутах во всех типах станций и расчетно-планировочных районов (РПР) города. Для общих абсолютных оценок принята прогрессирующая шкала численности по числу пар, особей, колоний и т. д. по семи статусам:

- 1) единичный (ед.): 1–4 пары, особей, колоний;
- 2) очень редкий (ор.): 5–10;
- 3) редкий (ред.): 11–30;
- 4) малочисленный (мал.): 31–90;
- 5) обычный (об.): 91–200;
- 6) многочисленный (мн.): 201–400;
- 7) массовый, очень многочисленный (мас.): свыше 400 [1].

По стациональному статусу (характеру устойчивых местообитаний) птицы распределены по пяти типам станций: древесные (др.), луговые (луг.), минеральные (мин.), водные (вод.), технические (тех.). Если зарегистрированный на зимовке вид был устойчиво связан с тремя и большим числом станций, тогда он обозначался статусом «эвритопный» (эвр.).

Всего в зимний период с 1 декабря 2022 г. по 28 февраля 2023 г. зарегистрировано 90 видов, в т. ч. 40 очень редких и единично регистрируемых птиц.

Все зимующие виды были зарегистрированы фотоаппаратами Nikon с 83-кратным увеличением. Единственное исключение – регистрация по голосам журавля серого.

Основная часть

Город Брест расположен на юго-западе Беларуси, относится к крупным городам страны и занимает площадь 146 км². На городских землях находится помимо типичных урбоценозов и обширная сеть естественных водотоков, искусственных водоемов, а также близких к естественному состоянию растительных сообществ [1].

По значительному числу зимующих видов птиц и многообразию экологических и таксономических групп орнитофауны г. Брест характеризуется в целом относительно высокими значениями среди городов юго-запада и других регионов Беларуси [2–8]. В тоже время тренды и иные динамические явления зимней орнитофауны г. Бреста изучены недостаточно [4; 9]. В таблице представлена хронология и топография регистраций видов птиц, имеющих статус единично зимующих. Среди 90 зимующих видов статус единичные зимой 2022/23 г. имели 33 вида птиц (таблица).

В современных орнитологических публикациях к категории «редкие», в т. ч. «зимующие», виды относят птиц, число регистраций которых составляет 1–10 [10]. В наших исследованиях эта категория разделена на «единичные» и «очень редкие».

После 1950 г. среди 163 зимующих видов птиц на всей территории Беларуси к категории «редкие» отнесен 51 вид (31 %) [10].

Среди 116 зимующих в последние три года к аналогичной категории отнесены 40 видов (34 %) (данные наши. – В. Д., М. Л., В. Д.).

В числе единичных – первые регистрации на зимовках в г. Бресте крохоля длинноносового *Mergus serrator* и журавля серого *Grus grus*. Отметим, что на зимовке 2021/22 г. впервые для пригородной зоны г. Бреста журавль серый отмечался в 2–5 км к северо-западу от микрорайона Катин Бор (РПР). Судя по недавно опубликованным обзорам, первыми (одними из первых) для территории Беларуси являются брестские регистрации зимующих особей белобровика и журавля серого.

Среди единично регистрируемых 19 видов 57 % составили типичные для зимы представители водных (гусеобразные и прочие водоплавающие) или околоводных (орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla*, цапля большая белая *Casmerodius albus*, синица усатая *Panurus biarmicus*) станций. Среди типичных синантропных видов отмечена толь-

ко просянка *Miliaria calandra* [7]. За исключением просянки регистрации единично зимующих видов были сконцентрированы в пределах водно-зеленого диаметра и непосредственно прилегающей застройки города (таблица) [1; 4; 5].

Таблица – Регистрации единично зимующих видов птиц в г. Бресте в 2022/23 г.

№	Виды, статусы охраны и станции птиц*	Особи, местоположение, РПР, даты регистраций
1.	Гагара чернозобая <i>Gavia arctica</i> , охр., вод.	1 ос., залив гидроузла, Тришин, Восток, 04.12.2022 1 ос., пруд ур. Соя, Волынка, 07.12.2022
2.	Поганка большая <i>Podiceps cristatus</i> , вод.	1 ad, залив русла р. Мухавец, Центр, 12.12.2022
3.	Поганка малая <i>Tachybaptus ruficollis</i> , вод.	2 ос., русло р. Мухавец, Центр, 11.12.2022
4.	Гусь гуменник <i>Anser fabalis</i> , вод., луг.	1 ос., русло р. Мухавец, Центр, 17.02.2023
5.	Гусь серый <i>Anser anser</i> , вод., луг.	♂♀, луга и старичные озера Зап. Буга, Речица, 12.02.2023
6.	Гусь белолобый <i>Anser albifrons</i> , вод., луг.	1 sbd, русло р. Мухавец, Центр, Киевка, 05.12.2022, 12.01.2023, 17.02.2023
7.	Синьга <i>Melanitta nigra</i> , вод.	2 ос., залив, Ковалево, 02.12.2022 2 ос., пруд, Волынка, 09.12.2022
8.	Турпан <i>Melanitta fusca</i> , вод.	♀ ad., залив р. Мухавец, Центр, 05.12.2022 3 ос., русло р. Мухавец, Центр, 10.02.2023
9.	Чернеть хохлатая <i>Aythya fuligula</i> , вод.	11 ос., (7 самок и 4 самца) пруд ур. Соя, Волынка, 24.02.2023
10.	Чернеть морская <i>Aythya marila</i> , вод.	1 самка, пруд. Вычулки, 13.02.2023
11.	Свиязь <i>Mareca penelope</i> , вод., луг.	1 самец, залив и русло р. Мухавец, Центр, 05.12.2022
12.	Утка серая <i>Mareca strepera</i> , вод., луг.	♂♀, русло и залив р. Мухавец, Центр, 12.12.2022 2 ос., пруд ур. Соя, Волынка, 15.02.2023
13.	Шилохвость <i>Anas acuta</i> , охр., вод., луг.	2 самца, русло и залив р. Мухавец, Центр, 20.02.2023
14.	Нырок красноголовый <i>Aythya ferina</i> , вод.	12 ос., залив речного порта р. Мухавец, Центр, 28.12.2022
15.	Луток <i>Megrellus albellus</i> , охр., вод.	1 ос., залив речного порта на р. Мухавец, Центр, 12.12.2022
16.	Крохаль длинноносый <i>Mergus serrator</i> , охр., вод.	1 ♂ ad., залив речного порта на р. Мухавец, Центр, 14.12.2022
17.	Цапля большая белая <i>Casmerodius albus</i> , вод., луг.	2 ос., берег залива р. Мухавец, Киевка, 04.12.22 5 ос., берег залива р. Мухавец, Центр, 05.02.2023
18.	Зимняк <i>Buteo lagopus</i> , луг., др.	1 ос., луга. ур. Соя, Волынка, Вулька, 29.01.2023
19.	Орлан-белохвост <i>Haliaeetus albicilla</i> , охр., эвр.	1 ос., берег р. Зап. Буг, Центр 29.01.2023
20.	Сапсан <i>Falco peregrinus</i> , охр., эвр.	1 ос., берег Мухавца, застройка, Центр, 10.12.2023 1 ос., застройка, Центр, 16.02.2023
21.	Журавль серый <i>Grus grus</i> , охр., луг.	3–4 ос., луга и старичные озера Зап. Буга, Котельня-Боярская, 14.01.2023
22.	Неясыть серая <i>Strix aluco</i> , др., тех.	1 ос., сооружения 5-го форта, Котельня-Боярская, 14.12.2022
23.	Филин <i>Bubo bubo</i> , охр., эвр.	1 ос., ветляник на берегу р. Зап. Буг, Волынка-Гершоны, 25.02.2023

Окончание таблицы

24.	Дятел белоспинный <i>Dendrocopos leucotos</i> , охр., др.	1 ос., ветляник на берегу р. Мухавец, Волынка, 14.02.2023 1 ос., тополевик на берегу р. Мухавец, Центр, 28.02.2023
25.	Дятел зеленый <i>Picus viridis</i> , охр., др.	1 ос., ветляник на берегу р. Мухавец, Центр, 09.02.2023 1 ос., кленовик на берегу р. З. Буг, Центр, 25.02.2023
26.	Дятел средний <i>Dendrocopos medius</i> , др.	1 ос., черноольшаник, кленовик на берегу р. Мухавец, Центр, 09.02.2023
27.	Жаворонок хохлатый <i>Galerida cristata</i> , охр., луг., мин.	8 ос., парк, Вулька, 27.02.2023
28.	Зарянка <i>Erithacus rubecula</i> , др. тех.	1 ос., кустарники, сооружения на берегу р. Мухавец, Центр, 20.12.2022
29.	Сорокопут серый <i>Lanius excubitor</i> , др., луг.	1 ос., кустарники на берегу р. Мухавец, Центр, 02.02.2023 1 ос., тополевик на берегу р. Зап. Буг, Центр, 09.02.2023
30.	Белобровик <i>Turdus iliacus</i> , др., луг.	1 ос., черноольшаник, ветляник на берегу р. Мухавец, Вулька, 14.01.2023
31.	Деряба <i>Turdus viscivorus</i> , др., луг.	1 ос., сады, омеловник, Киевка, 12.12.22 1 ос., омеловник, Центр, 12.12.2022 1 ос., омеловник, Волынка, 06.01.23 14.01.2023
32.	Синица усатая <i>Panurus biarmicus</i> , охр., вод., луг.	1 самец, тростниковый берег пруда, Красный двор, 19.12.2022
33.	Просянка <i>Miliaria calandra</i> , охр., луг., тех.	1 ос., луг, застройка, вост. окр. РПП Восток, 20.12.2022

Примечание – *– условные обозначения статусов показаны в разделе «Материалы и методы».

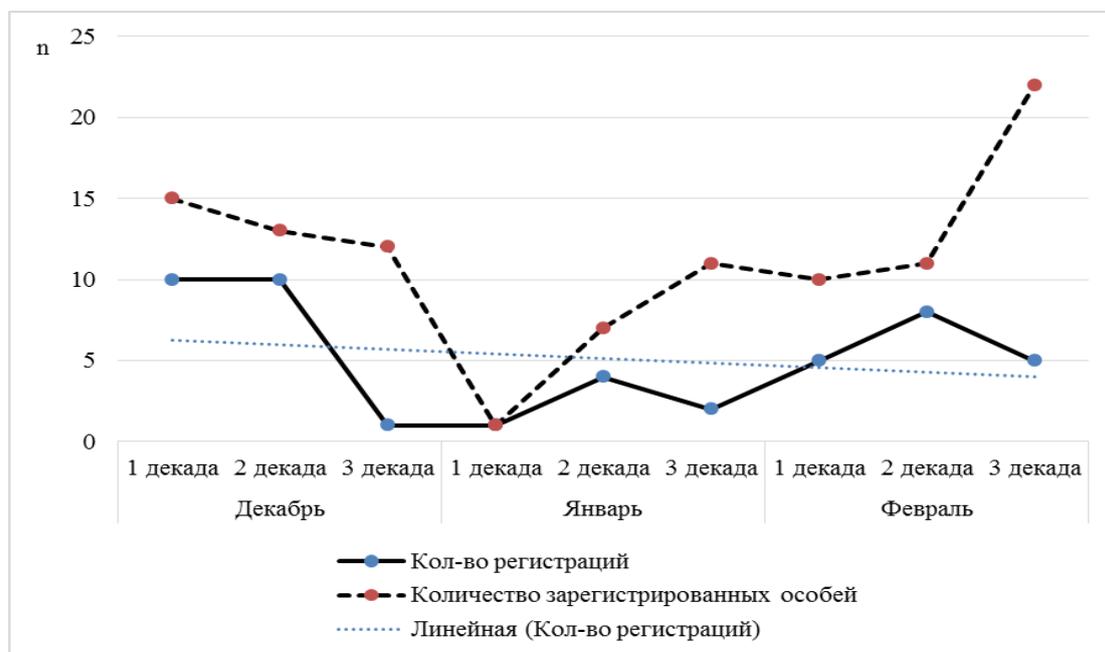


Рисунок 1 – Динамика единичных регистраций видов птиц на зимовке в г. Бресте в 2022/23 г.

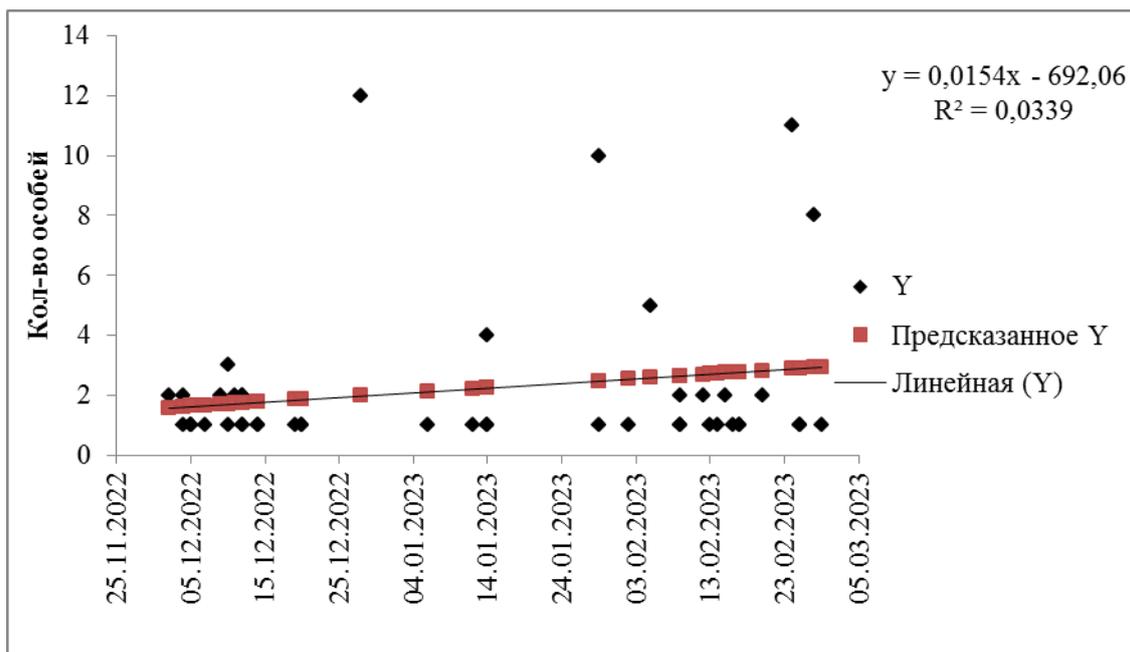


Рисунок 2 – Изменение количества особей в единичных регистрациях видов птиц на зимовке в г. Бресте в 2022/23 г.

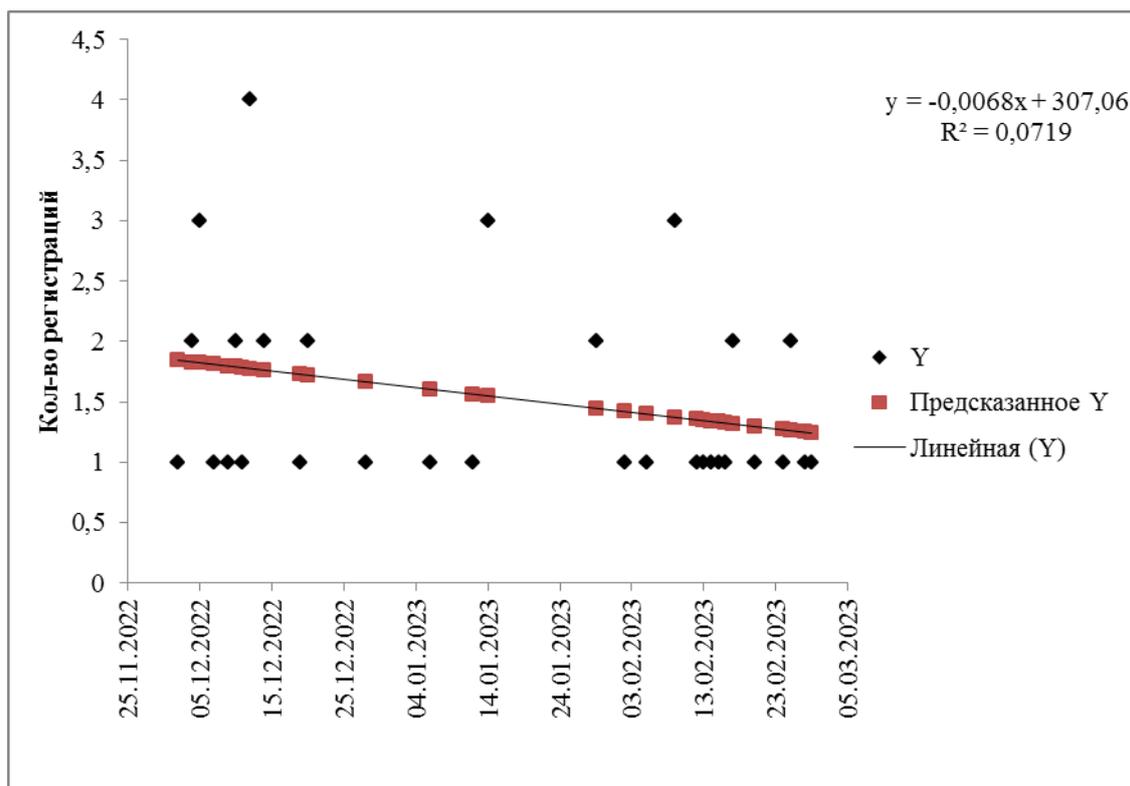


Рисунок 3 – Изменение количества единичных регистраций видов птиц на зимовке в г. Бресте в 2022/23 г.

Как показано на рисунке 1, в течение зимы количество единичных регистраций зимующих птиц колебалось от 5 до 10 (рисунок 1).

Неравномерность выражалась в «провале» количества регистраций в середине зимы. Этот минимум совпал по времени с небывалой для г. Бреста оттепелью (дневная

температура воздуха составила +15 °С, а в солнечных подветренных местах – до +18 °С и выше). Еще более неравномерной выглядела динамика количества отмеченных особей в единичных регистрациях (рисунки 1–3). С середины зимовки (минимальное количество особей) этот показатель достиг пика к концу зимовки (рисунок 1).

Количество особей птиц в единичных регистрациях по ходу зимовки имело относительно выраженный положительный тренд (рисунки 1, 2). В этот же период изменение количества единичных регистраций выразилось в отрицательном, несколько менее четком тренде.

Заключение

Таким образом, среди 90 зимующих видов птиц г. Бреста в сезон 2022/23 г. установлено: обитание 33 видов единично и семи очень редко регистрируемых видов птиц; первые для г. Бреста зимовки журавля серого и крохали длинноносого; одни из первых на территории Беларуси зимовки журавля серого и белобровика; неравномерное подекадное распределение и количества фактов, и количества особей единично регистрируемых зимующих видов птиц; количество особей в единичных регистрациях имело положительный, а количество регистраций – отрицательный тренд; в середине зимовки отмечался резкий спад числа регистраций и особей среди редких видов птиц.

Выражаем благодарность за содействие в учетах и подготовке рукописи М. Г. Демянчик, В. П. Рабчуку, А. Г. Лешко, О. С. Гроде, А. И. Ольгомицу, А. М. Семеняку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Птицы Бреста. Общие сведения / В. Т. Демянчик [и др.]. – Брест : БрГУ, 2022. – 210 с.
2. Горошко, З. А. Зимняя авифауна города Гомеля / З. А. Горошко, А. Н. Кусенков // Актуальные проблемы экологии : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 26–28 окт. 2010 г. / Гродн. гос. мед. ун-т. – Гродно, 2011. – С. 70–72.
3. Распространение и тренды численности врановых *Corvidae* селитебных территорий Брестской области / В. В. Демянчик [и др.] // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы разіцця. – 2020. – № 12. – С. 65–71.
4. Демянчик, В. В. Появление регионально новых видов и популяционных группировок тетрапод в белорусско-польском пограничье / В. В. Демянчик // Туристический и природный потенциал водных объектов белорусско-польского пограничья : материалы науч.-практ. конф., Брест, 30–31 окт. 2020 г. / под ред. Н. В. Михальчука. – Брест : Альтернатива, 2021. – С. 51–53.
5. Демянчик, В. Т. Птицы / В. Т. Демянчик // Брест. Брэст. Brest. 1000 / сост. А. Н. Вабищевич. – Минск : Беларус. Энцыкл. імя Петруся Броўкі, 2019. – С. 151–152.
6. Демянчик, В. В. Синантропная фауна / В. В. Демянчик // Брест. Брэст. Brest. 1000 / сост. А. Н. Вабищевич. – Минск : Беларус. Энцыкл. імя Петруся Броўкі, 2019. – С. 150.
7. Демянчик, В. В. Синантропный экологический комплекс и структура населения позвоночных на селитебных территориях Белорусского Полесья / В. В. Демянчик, М. Е. Никифоров // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 7–18.
8. Кузьменко, В. В. Орнитофауна г. Витебска в системе биоразнообразия Белорусского Поозерья / В. В. Кузьменко, В. Я. Кузьменко // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та імя П. М. Машэрава. – 2012. – № 1 (67). – С. 35–46.

9. Murgui, E. Population trends in breeding and wintering birds in urban parks: a 15-year study (1998–2013) in Valencia, Spain / E. Murgui // *Revista Catalana d'Ornitologia*. – 2014. – № 30. – P. 30–40.

10. Никифоров, М. Е. Региональные списки видов птиц и иммиграционный орнитофауногенез / М. Е. Никифоров, И. Э. Самусенко // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси : сб. ст. зоол. междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 10-летию основания ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», Минск, 1–3 нояб. 2017 г. : в 2 т. / редкол.: О. И. Бородин [и др.]. – Минск : Изд. А. Н. Вараксин, 2017. – Т. 1. – С. 275–293.

REFERENCES

1. Pticy Briesta. Obshchije sviedeniya / V. T. Diemianchik [b dr.]. – Brest : BrGU, 2022. – 210 s.

2. Goroshko, Z. A. Zimniaja avifauna goroda Gomielia / Z. A. Goroshko, A. N. Kusienkov // Aktual'nyje problimy ekologii : materialy VII Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., Grodno, 26–28 okt. 2010 g. / Grodn. gos. mied. un-t. – Grodno, 2011. – S. 70–72.

3. Rasprostranienije i trendy chisliennosti vranovykh *Corvidae* sielitebnykh tierritorij Briestskoj oblasti / V. V. Diemianchik [i dr.] // Pryrodnaje asiaroddzie Paliessia: asablivasci i pierspiektyvy raziccia. – 2020. – № 12. – S. 65–71.

4. Diemianchik, V. V. Pojavlienije riegional'no novykh vidov i populiacionnykh grup-pirovok tietrapod v bielorusko-pol'skom pogranich'je / V. V. Diemianchik // Turistichieskij i prirodnij potencial vodnykh objektov bielorusko-pol'skogo pogranich'ja : materialy nauch.-prakt. konf., Brest, 30–31 okt. 2020 g. / pod ried. N. V. Mihal'chuka. – Brest : Al'ternativa, 2021. – S. 51–53.

5. Diemianchik, V. T. Pticy / V. T. Diemianchik // Brest. Brest. Brest. 1000 / sost. A. N. Vabishievich. – Minsk : Bielarus. Encykl. imia Pietrusia Brouki, 2019. – S. 151–152.

6. Diemianchik, V. V. Sinantropnaja fauna / V. V. Diemianchik // Brest. Brest. Brest. 1000 / sost. A. N. Vabishievich. – Minsk : Bielarus. Encykl. imia Pietrusia Brouki, 2019. – S. 150.

7. Diemianchik, V. V. Sinantropnyj ekologichieskij kompleks i struktura nasielienija pozvonochnykh na sielitebnykh tierritorijakh Bieloruskogo Polies'ja / V. V. Diemianchik, M. Ye. Nikiforov // Vies. Nac. akad. navuk Bielarusi. Sier. bijal. navuk. – 2017. – № 3. – S. 7–18.

8. Kuz'mienko, V. V. Ornitofauna g. Vitebska v sistemie bioraznoobrazija Bieloruskogo Poozier'ja / V. V. Kuz'mienko, V. Ya. Kuz'mienko // Viesn. Vicieb. dziarzh. un-ta imia P. M. Masherava. – 2012. – № 1 (67). – S. 35–46.

9. Murgui, E. Population trends in breeding and wintering birds in urban parks: a 15-year study (1998–2013) in Valencia, Spain / E. Murgui // *Revista Catalana d'Ornitologia*. – 2014. – № 30. – P. 30–40.

10. Nikiforov, M. Ye. Riegional'nyje spiski vidov ptic i immigracionnyj ornitofaunogenez / M. Ye. Nikiforov, I. Ye. Samusienko // Aktual'nyje problimy zoologichieskoj nauki v Bielarusi : sb. st. zool. miezhdunar. nauch.-prakt. konf., priuroch. k 10-lietiju osnovanija GNPO «NPC NAN Bielarusi po bioriesursam», Minsk, 1–3 nojab. 2017 g. : v 2 t. / riedkol.: O. I. Borodin [i dr.]. – Minsk : Izd. A. N. Varaksin, 2017. – Т. 1. – S. 275–293.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 11.08.2023

УДК 582.281.21:581.9 (476)

Павел Юрьевич Колмаков

канд. биол. наук, доц. каф. фундаментальной и прикладной биологии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

Pavel Kolmakov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department
of Fundamental and Applied Biology of Vitebsk State P. M. Masherov University

e-mail: pavel_kolmakov@list.ru

АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА РОДА *RUSSULA* PERS. В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

До настоящего времени различными авторами описан 81 вид рода *Russula* Pers., найденных на территории Республики Беларусь. *Russula* spp, образующие облигатные связи с древесными породами с зональными чертами в своем распространении, определяют особенности распределения биоты рода на территории Беларуси. Первичным фактором является взаимосвязь микобионта с экологическими характеристиками дерева-хозяина, а не с составом и структурой растительного сообщества. Природные зоны отражают общую тенденцию формирования видового состава биот агарикоидных базидиомицетов рода *Russula* Pers. на территории Беларуси.

Ключевые слова: *Russula* Pers., Беларусь, видовой состав, природные зоны.

Analysis of the Species Composition of the Genus Russula Pers. In the Republic of Belarus

It has been known 81 species of the genus *Russula* Pers., which were found on the territory of the Republic of Belarus, so far. *Russula* spp, which form obligate relationships with tree species possessing zonal features in their distribution, determine the distribution of the biota of the genus on the territory of Belarus. The primary factor is the relationship of the mycobiont with the ecological characteristics of the host tree, and not with the composition and structure of the plant community. Natural zones reflect the general trend in the formation of the species composition of biota of agaricoid basidiomycetes of the genus *Russula* Pers. on the territory of Belarus.

Key words: *Russula* Pers., Belarus, species composition, natural areas.

Введение

Виды рода *Russula* Pers. – это значимый грибной компонент в лесах и арктических экосистемах. Они вносят в немалой степени свой вклад в грибную биомассу биогеоценозов и служат важным пищевым звеном для насекомых и животных [1–4]. Хорошо известно, что виды рода являются эктомикоризными симбионтами древесных растений [5; 6]. Представители рода отличаются разнообразием цветовой гаммы плодовых тел, анатомической неоднородностью и неясностью в своей морфологии. Поэтому часто возникают трудности в изучении их эктомикоризных связей в лесах – этнофармакологии. Сложности в определении видов этого рода являются неоспоримым фактом [7]. *Russula* spp. Беларуси принадлежат к голарктическому, амфиатлантическому, европейскому региональным географическим элементам, имеют миграционное происхождение и бореонеморальный тип ареала [8].

Целью работы являлся анализ видового состава рода *Russula* Pers. в Республике Беларусь в свете современных представлений о формировании, развитии и взаимосвязях исследуемой биоты в зависимости от степени ее изученности на определенной территории, трофической структуры и консортивных взаимоотношений с другими организмами.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1) проанализировать ключевые научные работы по видовому составу исследуемого рода на изучаемой территории;

2) привести таксономические единицы в формат, соответствующий современным представлениям;

3) выполнить сравнительный статистический анализ биоты рода Республики Беларусь;

4) сделать выводы о степени и равномерности изученности территорий на предмет наличия видовой состава;

5) выявить закономерности распределения видов на изучаемой территории.

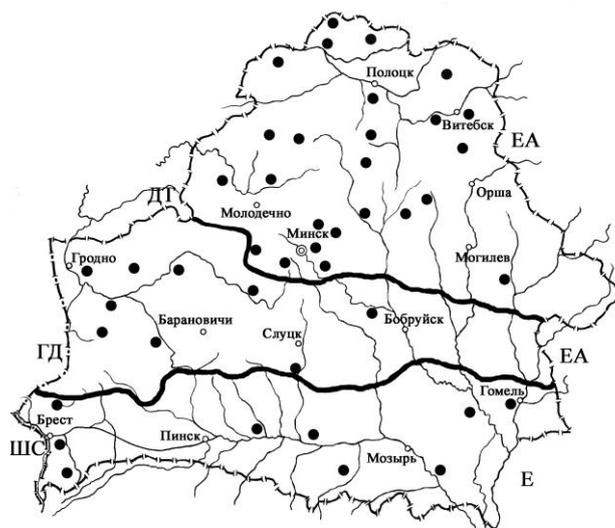
Первые конкретные упоминания о видовом составе видов рода *Russula* Pers. в Беларуси были сделаны в работах польского ботаника Ф. Блонского и являлись результатом его работы в Беловежской пуще в 1888–1889 гг. [9; 10]. В 1924 г. была организована лишеномикологическая экспедиция в Минскую и Могилевскую губернии с участием В. П. Савич, Л. И. Савич, А. Н. Беляева и Г. Н. Высоцкого. Определением материала занималась Л. А. Лебедева. По результатам исследований было опубликовано три списка грибов и миксомицетов Беларуси. В качестве видов рода *Russula* Pers. интересен второй список [11]. В Западной Беларуси (Польская Республика) изучением биоты агариковых в 1930-х гг. занималась Z. Tumiłowiczówna. В районе г. Волковыска ею были собраны некоторые виды рода [12]. С начала 1930-х гг. в Восточной Беларуси (СССР) фундамент микологических исследований был заложен В. Ф. Купревичем, в работах которого упоминались виды рода *Russula* Pers. [13]. В 1962 г. Г. И. Сержанина защитила кандидатскую диссертацию, где было отмечено 18 видов рода [14]. В дальнейшем число известных видов рода стало стремительно нарастать, что было отражено в ряде ключевых научных статей и монографий [15–18].

В 2000–2010-х гг. началось время целенаправленного изучения разнообразия видов рода. В 2003 г. Я. А. Шапорова защитила тематическую кандидатскую диссертацию «Систематика и таксономические особенности грибов порядка *Russulales*», а также издала ряд значимых монографий, где отражено наиболее полное видовое разнообразие рода в Беларуси [8; 19–21]. В начале нынешнего столетия происходило целенаправленное изучение агарикоидных базидиомицетов Белорусско-Валдайского Поозерья. По результатам исследований в 2006 г. была защищена кандидатская диссертация «Агарикоидные базидиомицеты Белорусско-Валдайского Поозерья (в пределах Республики Беларусь и Псковской области России), а также издана в 2013 г. монография «Микобиота Белорусско-Валдайского поозерья» [22; 23]. В данных работах приводится значительный объем информации по видовому составу рода *Russula* Pers. северной части Республики Беларусь.

В классической научной литературе указывается, что распространение *Russula* spp. зависит в большей степени от состава и условий роста насаждений. Специфика развития прослеживается на основе структурной единицы фитоценоцикла – типа леса. Виды рода встречаются преимущественно в сосняках, ельниках, дубравах и в производных мелколиственных лесах. Ограничивающие факторы развития – напочвенный покров, степень увлажнения почвогрунтов [8].

При сравнительно небольшой протяженности с севера на юг территория Беларуси характеризуется четкой географической зональностью природных условий, значительно более выраженной, чем на таких же и даже больших пространствах к западу или востоку (рисунок 1).

Зональные черты обусловлены географическим положением между приморскими и континентальными, северными хвойно-лесными и южными широколиственными территориями Восточной Европы [24]. Беларусь благодаря особенностям географического положения, отличается аномальным для своей широты, более теплым и мягким климатом [25]. Основные термические параметры на территории страны изменяются с юго-запада на северо-восток [24].



Примечание – ● – места сбора гербарного материала разными коллекторами.

Рисунок 1 – Места сбора гербарного материала в Республике Беларусь

Зональность растительности Беларуси характеризуется двумя геоботаническими зонами: Евразийская таежная (ЕА) с двумя подзонами дубово-темнохвойных подтаежных лесов (ДТ) и грабово-дубово-темнохвойных подтаежных лесов (ГД); Европейская широколиственно-лесная (Е) с подзоной широколиственно-сосновых лесов (ШС). Подзоны отличаются составом формаций лесной растительности или климатически замещающими типами леса тех формаций, у которых зональные элементы растительного покрова входят в состав содоминантов. Это ведущие признаки при определении границ подзон. В Беларуси ими являются границы сплошного распространения граба и ели [24].

Подзона дубово-темнохвойных подтаежных лесов (ДТ) характеризуется плакорными еловыми лесами кисличного и неморально-травяного типов. Дубравные элементы представлены в покрове, подлеске и встречаются в примеси к древесному ярусу, а также в поймах и долинах рек [24]. Южная граница подзоны проходит сразу за Минском. Севернее подзона распространяется далее на территорию Российской Федерации.

Подзона грабово-дубово-темнохвойных (ГД) лесов представлена типами еловых лесов с дубравными элементами во всех ярусах со значительной примесью широколиственных пород в древостое. Дубравы расположены в поймах рек и обычны на плакорах. В древостое дубрав, кроме ели, клена, липы, растет граб, который образует хорошо выраженный второй ярус. Дубравы здесь – полноправные компоненты лесных массивов [24].

Подзона широколиственно-сосновых (ШС) лесов характеризуется сочетанием дубовых лесов с грабом, кленом, липой, ясенем с сосновыми и широколиственно-сосновыми лесами [24]. Северная граница подзоны проходит сразу за Гомелем и Брестом. Южнее подзона распространяется на территорию Украины.

Границы геоботанических подзон характеризуют общие хронологические закономерности флоры Беларуси: вблизи них сосредоточены южные и северные границы ареалов многих видов растений [26]. Геоботанические подзоны и округа Беларуси могут быть вполне интерпретированы как флористические регионы [24].

Особенности природной зональности территории страны дают уникальные возможности для всестороннего сравнительного анализа видового состава биот, который

поможет в более полном объеме получить представление о закономерностях распределения живых организмов на исследуемой территории.

Для грибного компонента из эколого-трофической группы «Микоризообразователи» первичным фактором является взаимосвязь с экологическими характеристиками дерева-хозяина, а не составом и структурой растительного сообщества [27]. При анализе видового состава рода *Russula* Pers. нужно ориентироваться на границы ареалов пространственных древесных растений, формирующих первый ярус древостоя и являющихся эдификаторами лесных сообществ.

Материалы и методы

Обзор основан на анализе всех ключевых работ различных авторов за весь период изучения *Russula* Pers. в Беларуси, а также на сопредельных территориях [8; 15; 16; 18; 20; 21; 23; 28–31]. Использовался сравнительно-сопоставительный метод исследований. Названия видов приведены в современной интерпретации по *Index Fungorum* [32]. Материал хранится в гербариях Ботанического института имени В. Л. Комарова РАН (LE) (Санкт-Петербург), Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (MSK-F) и Витебского государственного университета имени П. М. Машерова (Беларусь). Значительный гербарный материал был собран и определен в подзоне дубово-темнохвойных подтаежных лесов (ДТ) автором статьи.

Для сравнения видового состава агарикоидных базидиомицетов использовался индекс Шимкевича – Симпсона (I_{Szs}), поскольку сравниваемые биоты значительно отличаются друг от друга по количеству выявленных видов. Для построения дендрограммы в пакете программ «Statistica» методом полной связи использовалось евклидово расстояние (D_{jk}) между объектами в многомерном пространстве [33].

Результаты и обсуждения

До настоящего времени различными авторами опубликован 81 вид рода *Russula* Pers., найденных на территории Республики Беларусь (таблица).

Таблица – Виды рода *Russula* Pers., известные в Республике Беларусь

Виды	Геоботанические зоны			Виды	Геоботанические зоны		
	ЕА		Е		ЕА		Е
	п/зоны		п/зона		п/зоны		п/зона
	ДТ	ГД	ШС		ДТ	ГД	ШС
<i>R. acrifolia</i> Romagn.	*+			<i>R. maculata</i> Quéf.	+	+	
<i>R. adusta</i> (Pers.) Fr.	+	+	○+	<i>R. melliolens</i> Quéf.		+	○+
<i>R. aeruginea</i> Lindbl. ex Fr.	*+	+	○+	<i>R. minutula</i> Velen.	+	+	
<i>R. albonigra</i> (Krombh.) Fr.	*+	+	○	<i>R. mustelina</i> Fr.	+	+	
<i>R. alutacea</i> (Fr.) Fr.	+	+	○+	<i>R. nauseosa</i> (Pers.) Fr.	*+	+	+
<i>R. amethystina</i> Quéf.	+	+	+	<i>R. nitida</i> (Pers.) Fr.	*+	+	+
<i>R. aquosa</i> Leclair	+			<i>R. ochroleuca</i> Fr.	+	+	+
<i>R. atropurpurea</i> (Krombh) Britzelm.	*	+	○+	<i>R. olivacea</i> (Schaeff.) Fr.	+	+	
<i>R. aurantiaca</i> (Jul. Schäff.) Romagn.	+	+		<i>R. pallidospora</i> J.Blum ex Romagn.	+	+	
<i>R. aurea</i> Pers.	+			<i>R. paludosa</i> Britzelm.	*+	+	○+
<i>R. aurora</i> Krombh.	+	+	○	<i>R. pectinata</i> Fr.	+		○
<i>R. azurea</i> Bres.	+	+		<i>R. pectinatoides</i> Peck	+		
<i>R. badia</i> Quéf.	+		○	<i>R. pelargonica</i> Niolle	+	+	
<i>R. betularum</i> Hora	+	+		<i>R. pseudodelica</i> J. E. Lange	+		

Окончание таблицы

<i>R. brunneoviolacea</i> Crawshay	+		○+	<i>R. pseudointegra</i> Arnould & Goris	+		
<i>R. caerulea</i> Fr.	+	+		<i>R. pseudo-olivascens</i> Kärcher	+	+	+
<i>R. claroflava</i> Grove	*+	+	○+	<i>R. puellaris</i> Fr.	*+	+	○
<i>R. clavipes</i> Velen.	+			<i>R. puellula</i> Ebbesen, F. N. Møller & Jul. Schäff.	+	+	
<i>R. consobrina</i> (Fr.) Fr.	*+	+	○+	<i>R. queletii</i> Fr.	*+	+	○
<i>R. cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	*+	+	○+	<i>R. rhodopus</i> Zvára	+		
<i>R. curtipes</i> F.H. Møller & Jul. Schäff.			○	<i>R. risigallina</i> (Batsch) Sacc.	*+	+	
<i>R. decolorans</i> (Fr.) Fr.	*+	+	○+	<i>R. rosea</i> Pers.	+	+	+○
<i>R. delica</i> Fr.	*+	+	○+	<i>R. roseipes</i> Secr. ex Bres.	+	+	+
<i>R. densifolia</i> Secr. ex Gillet	+	+	○+	<i>R. rubra</i> (Lam.) Fr.			○
<i>R. emetica</i> (Schaeff.) Pers.	*+	+	○+	<i>R. sanguinaria</i> (Schumach.) Rauschert		+	
<i>R. exalbicans</i> (Pers.) Melzer & Zvára	*+	+	○+	<i>R. sanguinea</i> Fr.	*+	+	○
<i>R. farinipes</i> Romell	+		○	<i>R. sardonica</i> Fr.	+	+	○
<i>R. favrei</i> M.M. Moser	+			<i>R. seperina</i> Dupain	*		
<i>R. fellea</i> (Fr.) Fr.	+		○	<i>R. silvestris</i> (Singer) Reumaux		+	
<i>R. firmula</i> Jul. Schäff.	+	+	○	<i>R. solaris</i> Ferd. & Winge	+		+
<i>R. foetens</i> Pers.	*+	+	○+	<i>R. sororia</i> (Fr.) Romell	+	+	
<i>R. fragilis</i> Fr.	*+	+	○+	<i>R. sphagnophila</i> Kauffman	+		
<i>R. grata</i> Britzelm.	+	+		<i>R. turci</i> Bres.	+	+	
<i>R. graveolens</i> Romell	+			<i>R. velenovskyi</i> Melzer & Zvára	*+	+	+
<i>R. grisea</i> Fr.	+	+	○+	<i>R. versicolor</i> Jul. Schäff.	+	+	○
<i>R. griseascens</i> (Bon&Gaugué) Marti	+	+		<i>R. vesca</i> Fr.	*+	+	○+
<i>R. heterophylla</i> (Fr.) Fr.	*+	+	○+	<i>R. vinosa</i> Lindblad	*+	+	+○
<i>R. innocua</i> (Singer) Romagn. ex Bon	+			<i>R. violacea</i> Quéл.	*+	+	○+
<i>R. integra</i> (L.) Fr.	*+	+	○	<i>R. violeipes</i> Quéл.		+	
<i>R. ionochlora</i> Romagn.		+		<i>R. virescens</i> (Schaeff.) Fr.	+		○+
<i>R. laeta</i> Jul. Schäff.	*+	+	○+	<i>R. viscida</i> Kudřna		+	○
<i>R. lilacea</i> Quéл.	+	+	○	<i>R. xerampelina</i> (Schaeff.) Fr.	*+	+	○+
<i>R. luteotacta</i> Rea			○	Достоверные находки	74	62	34
Достоверные / Провизорные виды / Уникальные провизорные виды					81/1/1		32/18/3
Достоверные / Уникальные провизорные виды					81/4		

Примечание – + – виды, достоверно известные в Республике Беларусь; * – виды, выявленные в подзоне дубово-темнохвойных подтаежных лесов (ДТ) в южной части Псковской области России; ○ – виды, известные в подзоне широколиственно-сосновых лесов (ШС) Украинского Полесья.

Индекс доминирования Шимкевича – Симпсона (I_{S2S}) равен 30 % сходства по видовому составу агарикоидных базидиомицетов из рода *Russula* Pers. и, скорее, характеризует различия между двумя биотомами Европейской широколиственно-лесной (Е) зоны с Евразийской таежной (ЕА). Практически все виды, найденные в подзоне широ-

колиственно-сосновых лесов (ШС), являются общими с таковыми других подзон (ДТ, ГД). В основном это те виды, которые не имеют зональных черт в своем распространении. Индекс Шимкевича – Симпсона (I_{Szs}) отображает степень включения «бедной» биоты в более «богатую» и самое минимальное значение сходства 30 % имеет между подзонами широколиственно-сосновых (ШС) и дубово-темнохвойных подтаежных лесов (ДТ). Микобиота грабово-дубово-темнохвойных (ГД) лесов по индексу доминирования (I_{Szs}) наиболее подобна с таковой (43 %) дубово-темнохвойных подтаежных лесов (ДТ) нежели с микобиотой (34 %) широколиственно-сосновых лесов (ШС). На рисунке 2 представлена дендрограмма сходства видового состава рода по геоботаническим подзонам.

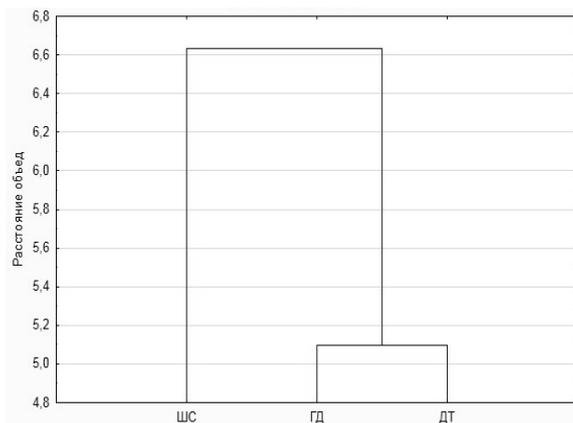


Рисунок 2 – Дендрограмма сходства видового состава агарициидных базидиомицетов из рода *Russula* Pers. по природным подзонам (ГД, ШС, ДТ)

Различия в видовом составе более очевидны при сравнении между собой природных зон (ЕА, Е). *Russula* spp., которые образуют облигатные связи с породами, имеющие зональные черты в своем распространении на изучаемой территории и определяют своеобразие видового состава рода.

Евразийская таежная (ЕА) зона занимает значительную часть территории Беларуси и является самой изученной в плане количества выявленных видов и наличия точек сбора гербарного материала различными коллекторами. Отличия в видовом составе рода между подзонами (ДТ и ГД) не столь ярко выражены и не так существенны. Это говорит о том, что главенствующую роль в формировании биоты рода играет состав древостоя, а не структура сообществ.

Европейская широколиственно-лесная зона (Е) занимает самую южную часть Беларуси и является своеобразной по природно-климатическим условиям, составу и структуре древостоя. Вблизи этой зоны сосредоточены южные и северные границы ареалов большого числа видов растений, и ее можно рассматривать как наиболее перспективную в плане дальнейших микологических исследований. Видовой состав рода в Европейской широколиственно-лесной зоне (Е) явно отличается и, очевидно, далеко не полностью изучен.

Наличие небольшого количества точек сбора гербарного материала коллекторами, незначительное число выявленных видов только подтверждают эти предположения. Недостаточная изученность видового состава рода на территории Украинского Полесья не дает возможности спрогнозировать присутствие провизорных видов.

Зональными чертами в своем распространении на территории Беларуси имеют ряд видов: *R. azurea* Bres., *R. caerulea* Fr., *R. favrei* M. M. Moser, *R. integra* (L.) Fr., *R. mustelina* Fr., *R. turci* Bres., *R. firmula* Jul. Schäff., *R. rhodopus* Zvára, *R. sardonina* Fr., проявляющие предпочтение к одной лесообразующей породе, имеющей зональные черты в своем распространении на территории Беларуси.

К. А. Каламээс отмечает, что *Russula queletii* Fr. наряду с другими видами микоризообразователями встречается в районе ельников и елово-смешанных лесов восточной и центральной частей Эстонии и практически отсутствует в южной части, где распространены сухие сосновые боры [35]. В нашем случае в Беларуси *Russula queletii* Fr. практически отсутствует в Европейской широколиственно-лесной зоне (Е), где нет сплошного распространения ели. *Russula azurea* Bres., *Russula caerulea* Fr., *Russula integra* (L.) Fr., *Russula mustelina* Fr., *Russula turci* Bres. являются микоризообразователями ели и найдены пока только в Евразийской таежной зоне (ЕА) со сплошным ареалом распространения ели в Беларуси [36]. Отсутствие таких видов, как *Russula firmula* Jul. Schäff., *Russula rhodopus* Zvára, *Russula sardonina* Fr., южнее ареала сплошного распространения ели в Беларуси отмечала Я. А. Шапорова [8]. *Russula favrei* M. M. Moser – редкий вид в Центральной Европе и встречается там преимущественно в горах и Северной Европе со сплошным ареалом распространения видов рода *Larix* [36]. В Беларуси найден только в подзоне дубово-темнохвойных подтаежных лесов (ДТ).

В географически удаленных монодоминантных дубравах, в разных подзонах и зонах, могут встречаться виды, нехарактерные для той или иной подзоны, зоны. Так, в старовозрастных разнотравно-злаковых дубравах в Евразийской таежной зоне (ЕА) были найдены виды *R. graveolens* Romell, *R. pseudointegra* Arnould & Goris, *R. seperina* Durain, которые характерны для таких же дубрав южной части Европы.

R. amethystina Qué. в хвойных лесах под елями изредка отмечен в Казахстане, Западной Европе, Дальнем Востоке, Северной Америке. В Беларуси встречается во всех зонах, подзонах. Скорее всего, в Европейской широколиственно-лесной зоне (Е) образует консорции в островных локализациях ели европейской.

Облигатность связей микоризообразователей достигает своего максимума в смешанных лесах [34]. Среди эктомикоризных базидиомицетов виды рода *Russula* spp. являются одними из наиболее распространенных. Часть видов встречается на нескольких континентах, тогда как другие – географически специфичны. Исследования показали, что *Russula* spp. могут образовывать эктомикоризу со многими видами растений из широкого спектра семейств: *Leguminosae*, *Fagaceae*, *Dipterocarpaceae*, *Pinaceae*. Таким образом, выводы о распределении, обилии и ареалах распространения растений-хозяев *Russula* spp. показывают важную роль рода в глобальном лесном массиве [37]. Из вышеизложенного следует, что подавляющее большинство видов обладают широкими ареалами распространения, и многие географические области Земли все еще остаются неизученными по распространению и видовому составу. Поэтому географические элементы, выделяемые для видов рода, далеко не всегда могут отражать реальную их стратегию распространения. Все еще огромные территории Африки, Южной Америки и Восточной Азии остаются неизученными. Скорее всего, для видовой характеристики важно в настоящее время придерживаться особенностей микоризного статуса лесов, их таксономического компонента в географическом аспекте. Известное видовое богатство рода превалирует в Северном полушарии Земли, где распространена эктомикориза, бореальные леса и доминируют деревья из семейства *Pinaceae* [38]. Экология микоризообразователей рассматривается через призму их взаимоотношений с фитобиотом [34]. Оптимум и пессимум в распространении видов рода *Russula* характеризуется в первую очередь способностью образовывать консортивные связи с фитобиотом. Чем более облигатными такие связи являются, тем более оптимальны условия их существования.

В разных географически удаленных точках Земли один и тот же микобионт ведет себя экологически по-разному и образует облигатные связи с разными фитобионтами.

Экологическую стратегию поведения микобионта можно понять, анализируя его генетическую структуру. Такие исследования могут оценить размер и постоянство отдельных генов, отношения между соседними генами и их плотность, модель пространственного распределения [37].

Таким образом, точно можно сказать, что распространение видов рода *Russula* сначала контролируется типом образуемой микоризы, консортивными взаимоотношениями с определенным кругом фитобионтов, а потом уже структурой растительных сообществ. Видовой состав глобально может отличаться только при сравнении более крупных геоботанических единиц, например как сравнение грибной биоты микоризообразователей геоботанических зон, где флористический состав древесной растительности может уже существенно различаться. В удаленных районах Земли один и тот же вид *Russula* с возможной сменой фитобионта меняет и экологические условия своего существования, тем самым обеспечивая выживаемость вида.

Заключение

Итак, видовой состав рода *Russula* Pers. на территории Беларуси изучен неравномерно, хотя отличается внушительным количеством выявленных видов. Наиболее изучена Евразийская таежная (ЕА) зона, менее – Европейская широколиственно-лесная (Е). Отличия в видовом составе рода между подзонами (ДТ и ГД) не столь ярко выражены и не так существенны по сравнению с зонами. Дальнейшее выявление видовой состава рода не потеряло своей актуальности.

Практически все виды, найденные в подзоне широколиственно-сосновых лесов (ШС), являются общими с таковыми видами других подзон (ДТ, ГД). В основном это те виды, которые не имеют зональных черт в своем распространении.

В географически удаленных монодоминантных сообществах, в разных природных зонах могут встречаться нехарактерные виды, поскольку первичным фактором является взаимосвязь микобионта с экологическими характеристиками дерева-хозяина, а не с составом и структурой растительного сообщества.

Russula spp, образующие облигатные связи с древесными породами с зональными чертами в своем распространении, определяют особенности распределения биоты рода на территории Беларуси.

Распространение видов рода *Russula* сначала контролируется типом образуемой микоризы, консортивными взаимоотношениями с определенным кругом фитобионтов, а потом уже структурой растительных сообществ.

Изучение агарикоидных базидиомицетов из эколого-трофической группы «Микоризообразователи» могут быть исследованы в функциональной структуре экосистемы через консорции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Richardson, M. J. Studies of *Russula emetica* and other agarics in a Scots pine plantation / M. J. Richardson // Transactions of the British Mycological Society. – 1970. – № 55. – P. 217–229.
2. Fogel, R. Insect Mycophagy: a preliminary bibliography (USDA Forest Service General Technical Report PNW-36.) / R. Fogel. – Portland (Oregon) : Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, 1975. – 21 p.
3. Fogel, R. Fungus consumption (mycophagy) by small animals / R. Fogel, J. M. Trappe // Northwest Science. – 1978. – № 52. – P. 1–31.

4. Rimšaitė, J. Trophic relations of fungus gnats (*Diptera, Mycetophilidae*) with fungi of the order *Russulales (Basidiomycotina)* / J. Rimšaitė // *Botanica Lithuanica*. – 2007. – № 13 (4). – P. 293–297.
5. Garders, M. Community structure of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: above- and below-ground views / M. Garders, T. D. Bruns // *Canadian Journal of Botany*. – 1996. – Nr 74. – P. 1572–1583.
6. Buyck, B. Ectomycorrhizal fungi of the Guinea-Congo Region / B. Buyck, D. Thoen, R. Watling // *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. – 1996. – Nr 104 B. – P. 313–333.
7. Miller, L. Molecular phylogeny of the genus *Russula* in Europe with a comparison of modern infrageneric classifications / L. Miller, B. Buyck // *Mycological Research*. – 2002. – Nr 106 (3). – P. 259–276.
8. Шапорова, Я. А. Руссуляльные грибы Беларуси: *Lactarius* и *Russula* (млечники и сыроежки) / Я. А. Шапорова. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 276 с.
9. Błoński, F. Spis roślin skrytokwiatowych, zebranych w r. 1887 w Puszczy Byałowieskiej / F. Błoński // *Pam. fizjograf.* – 1888. – T. 8, cz. 3. – S. 75–119.
10. Błoński, F. Spis roślin skrytokwiatowych, zebranych lub zanotowanych w lecie w r. 1887 w Puszczy Byałowieskiej, Swisłckiej i Ladskiej / F. Błoński // *Pam. fizjograf.* – 1889. – T. 9, cz. 3. – S. 63–101.
11. Лебедева, Л. А. Второй список грибов и миксомицетов Белоруссии / Л. А. Лебедева // *Тр. Мин. болот. станции.* – 1925. – № 10. – 31 с.
12. Tumiłowiczówna, Z. 1935: Spis grzybów z okolicy Wólkowyska / Z. Tumiłowiczówna // *Pr. Zakł. systematyki roślin i Ogrodu botanicznego Univ. Stefana Batorego w Wilnie.* – 1935. – T. 8. – S. 1–19.
13. Купрэвіч, В. Ф. Грыбы Смалявіцкага раёну (Меншчына) / В. Ф. Купрэвіч // *Матэр’ялы да вывучэння флоры і фауны Беларусі.* – 1931. – № 6. – С. 3–24.
14. Сержанина, Г. И. Съедобные и ядовитые грибы БССР порядка *Agaricales* и их хозяйственное значение : автореф. ... канд. биол. наук / Г. И. Сержанина. – Минск, 1962. – 23 с.
15. Сяржаніна, Г. І. Сыраежкавыя грыбы Беларускай ССР / Г. І. Сяржаніна, З. В. Захарава // *Вес. АН БССР. Сер. біял. навук.* – 1974. – № 2. – С. 55–64.
16. Сержанина, Г. И. Шляпочные грибы Белоруссии. Определитель и конспект флоры / Г. И. Сержанина. – Минск : Наука и техника, 1984. – 407 с.
17. Сержанина, Г. И. Грибы / Г. И. Сержанина, И. Я. Яшкин. – Минск : Наука и техника, 1986. – 232 с.
18. Сяржаніна, Г. І. Базідыяльныя грыбы Беларусі: балетальныя, агарыкальныя, руссуляльныя / Г. І. Сяржаніна. – Мінск : Навука і тэхніка, 1994. – 558 с.
19. Шапорова, Я. А. Систематика и таксономические особенности грибов порядка *Russulales* : автореф. ... канд. биол. наук : 03.00.05 ; 03.00.24 / Я. А. Шапорова. – Минск, 2003. – 20 с.
20. Макромицеты, микромицеты и лишенизированные грибы Беларуси. Гербарий Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича (MSK-F, MSK-L) / О. С. Гапиенко [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2006. – 501 с.
21. Флора Беларуси. Грибы : в 7 т. / О. С. Гапиенко, Я. А. Шапорова – Минск : Беларус. наука, 2012. – Т. 1 : *Boletales, Amanitales, Russulales*. – 199 с.
22. Колмаков, П. Ю. Агарикоидные базидиомицеты Белорусско-Валдайского Поозерья (в пределах Республики Беларусь и Псковской области России) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.24 / П. Ю. Колмаков. – СПб., 2005. – 22 с.
23. Микобиота Белорусско-Валдайского поозерья / Е. С. Попов [и др.]. – М. ; СПб. : КМК, 2013. – 399 с.

24. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Минск : Наука и техника, 1982. – 326 с.
25. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и их использование в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск : Выш. шк., 1973. – 432 с.
26. Парфенов, В. И. Обусловленность распространения и адаптация видов растений на границах ареалов / В. И. Парфенов. – Минск : Наука и техника, 1980. – 208 с.
27. Колмаков, П. Ю. Эколого-ценотическая характеристика *Russula exalbicans* (Pers.) Melzer & Zvára в растительных сообществах дубово-темнохвойных лесов Белорусско-Валдайского Поозерья / П. Ю. Колмаков, О. В. Созинов / Весн. Гродз. дзярж. ун-та імя Янкі Купалы. Сер. 5, Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 98–106.
28. Зерова, М. Я. Визначник грибів України. Базидіоміцети: екзобазидіальні, афілофоральні, кантарелальні / М. Я. Зерова, Г. Г. Радзієвський, С. В. Шевченко. – Київ : Наук. думка, 1972. – Т. 5, кн. 1. – 240 с.
29. Fungi of Ukraine: taxonomic index [Электронный ресурс] // Cybertruffle Foundation. – 2023. – Режим доступа: <http://www.cybertruffle.org.uk>.
30. Шабашова, Т. Г. Видовое разнообразие и таксономическая структура грибов в дубравах Припятского Полесья / Т. Г. Шабашова, А. О. Антонович, Д. Б. Беломесяцева // Ботаника : сб. науч. тр. – Минск, 2022. – Вып. 51. – С. 160–169.
31. Антонович, А. О. Таксономический анализ и встречаемость эколого-трофических групп агарикоидных базидиомицетов, произрастающих в условиях заповедного режима (на примере Королево-Мостовского лесничества, Национальный парк «Беловежская пуца») / А. О. Антонович // Ботаника : сб. науч. тр. – Минск, 2022. – Вып. 51. – С. 136–145.
32. Index Fungorum [Электронный ресурс] // Index Fungorum Partnership. – 2023. – Режим доступа: <http://www.indexfungorum.org>.
33. Еремеев, Е. А. Математические методы в фаунистических исследованиях : метод. пособие / Е. А. Еремеев. – Бийск : Бия, 2020. – 67 с.
34. Бурова, Л. Г. Экология грибов макромицетов / Л. Г. Бурова. – М. : Наука, 1986. – 215 с.
35. Каламээс, К. А. Экология и ресурсы пластинчатых грибов в различных типах леса Восточной Эстонии : автореф. дис. ... канд. биол. наук / К. А. Каламээс. – Тарту, 1965. – 32 с.
36. Courtecuisse R. Mushrooms and Toadstools of Britain and Europe. Lausanne (Switzerland) / R. Courtecuisse, B. Duhem. – Paris : Harper Collins, 1995. – 480 p.
37. Recent advances in population genetics of ectomycorrhizal mushrooms *Russula* spp. / P. Wang [et al.] // Mycology. – 2015. – Vol. 6, nr 2. – P. 110–120.
38. Read, D. J. Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes / D. J. Read, J. R. Leake, J. Peres-Moreno // Canadian Journal of Botany. – 2004. – Vol. 82, nr 8. – P. 1243–1263.

REFERENCES

1. Richardson, M. J. Studies of *Russula emetica* and other agarics in a Scots pine plantation / M. J. Richardson // Transactions of the British Mycological Society. – 1970. – Nr 55. – P. 217–229.
2. Fogel, R. Insect Mycophagy: a preliminary bibliography (USDA Forest Service General Technical Report PNW-36.) / R. Fogel. – Portland (Oregon) : Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, 1975. – 21 p.
3. Fogel, R. Fungus consumption (mycophagy) by small animals / R. Fogel, J. M. Trappe // Northwest Science. – 1978. – № 52. – P. 1–31.

4. Rimšaitė, J. Trophic relations of fungus gnats (*Diptera, Mycetophilidae*) with fungi of the order *Russulales (Basidiomycotina)* / J. Rimšaitė // *Botanica Lithuanica*. – 2007. – № 13 (4). – P. 293–297.
5. Garders, M. Community structure of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: above- and below-ground views / M. Garders, T. D. Bruns // *Canadian Journal of Botany*. – 1996. – Nr 74. – P. 1572–1583.
6. Buyck, B. Ectomycorrhizal fungi of the Guinea-Congo Region / B. Buyck, D. Thoen, R. Watling // *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. – 1996. – Nr 104 B. – P. 313–333.
7. Miller, L. Molecular phylogeny of the genus *Russula* in Europe with a comparison of modern infrageneric classifications / L. Miller, B. Buyck // *Mycological Research*. – 2002. – Nr 106 (3). – P. 259–276.
8. Shaporova, Ya. A. Russulial’nyje griby Bielarusi: *Lactarius* i *Russula* (mliechniki i syrojehzki) / Ya. A. Shaporova. – Minsk : Bielorus. nauka, 2007. – 276 s.
9. Błoński, F. Spis roślin skrytokwiatowych, zebranych w r. 1887 w Puszczy Byałowieskiej / F. Błoński // *Pam. fizjograf.* – 1888. – T. 8, cz. 3. – S. 75–119.
10. Błoński, F. Spis roślin skrytokwiatowych, zebranych lub zanotowanych w lecie w r. 1887 w Puszczy Byałowieskiej, Swisłckiej i Ladskiej / F. Błoński // *Pam. fizjograf.* – 1889. – T. 9, cz. 3. – S. 63–101.
11. Liebiedieva, L. A. Vtoroj spisok gribov i miksomicetov Bielorusii / L. A. Liebiedieva // *Tr. Min. bolot. stancii.* – 1925. – № 10. – 31 s.
12. Tumiłowiczówna, Z. 1935: Spis grzybów z okolicy Wólkowyska / Z. Tumiłowiczówna // *Pr. Zakł. systematyki roślin i Ogrodu botanicznego Univ. Stefana Batorego w Wilnie.* – 1935. – T. 8. – S. 1–19.
13. Kuprevich, V. F. Hryby Smaliavickaha rajonu (Mienshchyna) / V. F. Kuprevich // *Mater’jaly da vyvuchennia flyory i fauny Bielarusi.* – 1931. – № 6. – S. 3–24.
14. Sierzhanina, G. I. Sjedobnyje i jadovityje griby BSSR poriadka Agaricales i ikh khoziajstviennoje znachienije : avtorief. ... kand. biol. nauk / G. I. Sierzhanina. – Minsk, 1962. – 23 s.
15. Siarżhanina, H. I. Syrajezhkavyja hryby Bielaruskaj SSR / H. I. Siarżhanina, Z. V. Zakharava // *Vies. AN BSSR. Sier. bijal. navuk.* – 1974. – № 2. – S. 55–64.
16. Sierzhanina, G. I. Shliapochnyje griby Bielorusii. Opriedielitel’ i konspekt flory / G. I. Sierzhanina. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1984. – 407 s.
17. Sierzhanina, G. I. Griby / G. I. Sierzhanina, I. Ya. Yashkin. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1986. – 232 s.
18. Siarżhanina, H. I. Bazidyjal’nyja hryby Bielarusi: balietal’nyja, aharykal’nyja, russulial’nyja / H. I. Siarżhanina. – Minsk : Navuka i tekhnika, 1994. – 558 s.
19. Shaporova, Ya. A. Sistiematika i taksonomichieskije osobiennosti gribov poriadka *Russulales* : avtorief. dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.05 ; 03.00.24 / Ya. A. Shaporova. – Minsk, 2003. – 20 s.
20. Makromicety, mikromicety i likhienizirovannyje griby Bielarusi. Gierbarij Instituta ekspierimental’noj botaniki im. V. F. Kuprievicha (MSK-F, MSK-L) / O. S. Gapijenko [i dr.]. – Minsk : IVC Minfina, 2006. – 501 s.
21. Flora Bielarusi. Griby : v 7 t. – Minsk : Bielorus. navuka, 2012. – T. 1 : *Boletales, Amanitales, Russulales* / O. S. Gapijenko, Ya. A. Shaporova. – 199 s.
22. Kolmakov, P. Yu. Agarikoidnyje bazidiomicety Bielorusko-Valdajskogo Poozier’ja (v priedielakh Riespubliki Bielarus’ i Pskovskoj oblasti Rossii) : avtorief. dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.24 / P. Yu. Kolmakov. – SPb., 2005. – 22 s.
23. Mikobiota Bielorusko-Valdajskogo Poozier’ja / Ye. S. Popov [i dr.]. – M. ; SPb. : KMK, 2013. – 399 s.

24. Giel'tman, V. S. Geografichieskij i tipologichieskij analiz liesnoj rastitel'nosti Bielorusii / V. S. Giel'tman. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1982. – 326 s.
25. Shkliar, A. Kh. Klimatichieskije riesursy Bielorusii i ikh ispol'zovanie v siel'skom khoziajstvie / A. Kh. Shkliar. – Minsk : Vysh. shk., 1973. – 432 s.
26. Parfionov, V. I. Obuslovliennost' rasprostranienija i adaptacija vidov rastenij na granicakh ariealov / V. I. Parfionov. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1980. – 208 s.
27. Kolmakov, P. Yu. Ekologo-cenotichieskaja kharakteristika *Russula exalbicans* (Pers.) Melzer & Zvara v rastitel'nykh soobshchestvakh dubovo-tiemnokhvojnykh liesov Bielorusko-Valdajskogo Poozier'ja / P. Yu. Kolmakov, O. V. Sozinov / Viesn. Grodzien. dziarzh. un-ta imia Yanki Kupaly. Sier. 5, Ekanomika. Sacyjalohija. Bijalohija. – 2023. – T. 13, № 1. – S. 98–106.
28. Zierova, M. Ya. Vyznachnyk hrybiv Ukrainy. Bazidiomicety: ekzobazidial'ni, afiloforal'ni, kantarelal'ni / M. Ya. Zierova, H. H. Radzijevs'kyj, S. V. Shevchenko. – Kijiv : Nauk. dumka, 1972. – T. 5, kn. 1. – 240 s.
29. Fungi of Ukraine: taxonomic index [Elektronnyj riesurs] // Cybertruffle Foundation. – 2023. – Riezhim dostupa: <http://www.cybertruffle.org.uk>.
30. Shabashova, T. G. Vidovoje raznoobrazije i taksonomichieskaja struktura gribov v dubravakh Pripiatskogo Polies'ja / T. G. Shabashova, A. O. Antonovich, D. B. Bielomiesiaceva // Botanika : sb. nauch. tr. – Minsk, 2022. – Vyp. 51. – S. 160–169.
31. Antonovich, A. O. Taksonomichieskij analiz i vstriečajemost' ekologo-trofichieskikh grupp agarikoidnykh bazidiomicetov, proizrastajushchikh v uslovijakh zapovednogo riezhima (na primierie Koroliovo-Mostovskogo liesnichiestva, Nacionalnyj park «Bieloviezhskaja pushcha») / A. O. Antonovich // Botanika : sb. nauch. tr. – Minsk, 2022. – Vyp. 51. – S. 136–145.
32. Index Fungorum [Elektronnyj riesurs] // Index Fungorum Partnership. – 2023. – Riezhim dostupa: <http://www.indexfungorum.org>.
33. Yeriemiejev, Ye. A. Matematichieskije mietody v faunistichieskiih issliedovanijakh : mietod. posobije / Ye. A. Yeriemiejev. – Bijsk : Bija, 2020. – 67 s.
34. Burova, L. G. Ekologija gribov makromicetov / L. G. Burova. – M. : Nauka, 1986. – 215 s.
35. Kalamees, K. A. Ekologija i riesursy plastinchatykh gribov v razlichnykh tipakh liesa Vostochnoj Estonii : avtorief. dis. ... kand. biol. nauk / K. A. Kalamees. – Tartu, 1965. – 32 s.
36. Courtecuisse R. Mushrooms and Toadstools of Britain and Europe. Lausanne (Switzerland) / R. Courtecuisse, B. Duhem. – Paris : Harper Collins, 1995. – 480 p.
37. Recent advances in population genetics of ectomycorrhizal mushrooms *Russula* spp. / P. Wang [et al.] // Mycology. – 2015. – Vol. 6, nr 2. – P. 110–120.
38. Read, D. J. Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes / D. J. Read, J. R. Leake, J. Peres-Moreno // Canadian Journal of Botany. – 2004. – Vol. 82, nr 8. – P. 1243–1263.

УДК 632.154:57.085:042.5

Оксана Владимировна Корзюк

*ст. преподаватель каф. зоологии, генетики и химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина*
Aksana Karziuk

*Senior Lecturer of the Department of Zoology, Genetics and Chemistry
of Brest State A. S. Pushkin University*
e-mail: chem@brsu.by

РОСТРЕГУЛИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА РАСТЕНИЯ АМАРАНТА ТРЕХЦВЕТНОГО*

Исследована рострегулирующая активность 24-эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с кислотами на культуре амаранта трехцветного по комплексу показателей роста и развития растений. Установлен статистически достоверный стимулирующий эффект 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические показатели амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал.

Ключевые слова: *брасиностероиды, 24-эпикастастерон, эфиры ЭК с кислотами (конъюгаты), амарант, рострегулирующая активность, фотосинтетические пигменты, активность каталазы.*

Growth-Regulating Activity of Epicasterone and its Acid Conjugates on Tricolour Amaranth Plants

The growth-regulating activity of 24-epicasterone (EC) and its conjugates with acid-lots was studied on the culture of tricolour amaranth according to the complex of plant growth and development indicators. The statistically reliable stimulating effect of 24-epicasterone and its conjugates with acids on morphometric and physiological-biochemical parameters of Brazilian Carnival amaranth of tricolour was established.

Key words: *brassinosteroids, 24-epicasterone, esters of EC with acids (conjugates), amaranth, growth-regulating activity, photosynthetic pigments, catalase activity.*

Введение

Неблагоприятная экологическая ситуация и загрязнение окружающей среды приводят к нежелательным последствиям, и поэтому в последнее время в физиологии растений активно разрабатывается обширное направление по изучению влияния регуляторов роста на различные стороны обмена веществ в растениях [1].

Существенным фактором повышения продуктивности сельскохозяйственных и декоративных культур, по мнению ряда ученых, является применение регуляторов роста растений класса брасиностероидов. Эти соединения имеют природную структуру, широко распространены в растительном мире, являются привычными для человека и животных вследствие обычного попадания в организм вместе с пищей и метаболизма традиционными путями, что в значительной степени гарантирует безопасность их применения. Дозы, с помощью которых достигается эффект от применения брасиностероидов в сельском хозяйстве, сопоставимы по величине с их содержанием в природных объектах, в связи с чем замена части традиционных химических средств ухода за посевами на данные соединения позволит оздоровить окружающую среду и получить экологически чистую продукцию [2].

**Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных брасиностероидов 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).*

Регуляторы роста растений класса brassinosterоидов способствуют гармоничному росту и развитию растений на всех стадиях онтогенеза, повышая их устойчивость к стрессовым условиям произрастания и болезням, в связи с чем повышается как урожайность, так и качество продукции.

Браassinosterоиды также увеличивают засухоустойчивость, снижают транспирацию, повышают энергию прорастания и продуктивность сельскохозяйственных и декоративных культур [3]. Имеются сведения о том, что brassinosterоиды повышают всхожесть семян, снизивших посевные качества в результате хранения [4].

Амарант является перспективной сельскохозяйственной культурой, т. к. обладает высокой биологической продуктивностью, экологической пластичностью и исключительным адаптивным потенциалом, обеспечивающим широкое распространение этой культуры в различных условиях. Кроме того, амарант является источником антиоксидантов: амарантина, каротиноидов, аскорбиновой кислоты [5], а также пектина и масел. Обладая такими ценными качествами, амарант входит в число растений, наиболее перспективных для интродукции на новых территориях.

Сегодня амарант возрождается не только как ценная пищевая культура, но и как декоративное растение и в качестве растения-сидерата.

Амарант – прекрасный сидерат. Он улучшает плодородие почвы, насыщает ее азотом, стимулирует жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. У нас это неприхотливое растение с многовековой историей называют щирицей, а также *петушиными гребешками, кошачьим хвостом, бархатником и аксамитником*.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили brassinosterоиды – 24-эпикастастерон (ЭК) и его конъюгаты: 2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23), тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31), синтезированные в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

Гормоны были протестированы на декоративной культуре амарант трехцветный (*Amaranthus tricolor* L.) сорт Бразильский карнавал.

Чрезвычайно важным качеством амаранта является его высокая семенная продуктивность. Урожайность с 1 га даже при неблагоприятных условиях составляет около 20 ц, урожай зеленой массы – 1 000 ц. В листьях амаранта накапливается до 30 % высококачественного белка. Амарант хорошо приспосабливается почти к любым почвам, чутко реагирует на внесение удобрений, особенно азота, калия, кальция, магния. Это однолетние, изредка многолетние травянистые растения.

Для выявления оптимальных концентраций ЭК и его конъюгатов с кислотами S23 и S31, оказывающих наибольшее влияния на рост и развитие амаранта трехцветного, были использованы следующие варианты опыта:

- 1) вода (контроль);
- 2) 24-эпикастастерон с концентрацией $10^{-7} - 10^{-11}$ М;
- 3) S23 с концентрацией $10^{-7} - 10^{-11}$ М;
- 4) S31 с концентрацией $10^{-7} - 10^{-11}$ М.

На 10-е сутки были определены морфометрические параметры амаранта трехцветного – длина корня и побега.

Проращивание проводили согласно ГОСТ 24933.0-81 [6]. Все опыты проводились в четырехкратной повторности.

Далее исследования были связаны с анализом влияния отобранных гормонов в концентрациях, оказывающих наибольшую активность на морфометрические параметры амаранта трехцветного, выращенного в защищенном грунте в результате вегета-

ционного лабораторного опыта [7], с изучением параметров длины корней и побегов и их массы.

На данном этапе был использован способ внесения исследуемых веществ – предпосевная обработка (замачивание семян). Семена замачивали в растворах ЭК и его конъюгатов на 5 ч, далее высаживали в пластиковые контейнеры $9 \times 9 \times 10$ см на универсальном почвогрунте «Хозяин», Республика Беларусь (азот общий – 5 795 мг/кг, калий общий – 3 223 мг/кг, фосфор общий – 1 838 мг/кг, Cu – 6,15 мкг/кг, Zn – 24 мкг/кг) и выращивали в лабораторных условиях вегетационного эксперимента.

Контролем был вариант – замачивание семян в воде. Растения выращивали в условиях постоянной влажности почвы. Вегетационные емкости перемещали ежедневно по схеме, обеспечивающей однородные условия роста и развития растений. Все опыты проводились в четырехкратной повторности.

Третий этап исследований был связан с определением биохимического статуса амаранта трехцветного, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта, и осуществлялся по следующим параметрам: содержание основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла a, b и каротиноидов) методом ацетоновой вытяжки, исследование активности фермента – каталазы – в проростках амаранта по методу М. А. Королюк.

Для определения содержания фотосинтетических пигментов использовали спектрофотометрический метод [8]. Несмотря на свою простоту, он позволяет в одной пробе определить концентрацию различных видов хлорофилла.

Определение концентрации фотосинтетических пигментов включает следующие процедуры: получение навески листьев, экстракцию пигментов растворителем (ацетоном) и спектрофотометрический анализ при различных длинах волн.

Для лабораторного эксперимента в качестве растворителя был выбран 100 %-ный ацетон. Для расчета концентрации хлорофиллов a, b и каротиноидов в вытяжке пигментов определяли оптическую плотность экстракта на спектрофотометре при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения определяемых пигментов в данном растворителе: $\lambda = 662, 644$ и $440,5$ нм.

Концентрацию пигментов рассчитывали по формулам (1–4) (Wettstein, 1957).

$$C_{\text{хл a}} = 9,784 D_{662} - 0,990 D_{644}; \quad (1)$$

$$C_{\text{хл b}} = 21,426 D_{644} - 4,650 D_{662}; \quad (2)$$

$$C_{\text{хл a}} + C_{\text{хл b}} = 5,134 D_{662} + 20,436 D_{644}; \quad (3)$$

$$C_{\text{кар.}} = 4,695 D_{440,5} - 0,268 C_{\text{хл a}} + C_{\text{хл b}}. \quad (4)$$

Сначала вычисляется концентрацию пигментов (C) в экстракте по приведенным выше формулам в мг/л, затем содержание пигментов на грамм сырой массы рассчитывали по формуле (5):

$$A = V * C / 1000 * P, \quad (5)$$

где C – концентрация пигментов, мг/л; V – объем вытяжки, мл; P – навеска растительного материала, г.

Определение активности каталазы в побегах проводили по методу М. А. Королюк [9], основанному на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс. Реакцию запускали добавлением 0,1 мл гомо-

гената (100 мг корней или побегов на 1 мл трис-НСІ-буфера, 0,05 М, рН 7,8) к 2,0 мл 0,03 %-го раствора перекиси водорода. В холостую пробу вместо гомогената вносили 0,1 мл дистиллированной воды. Реакцию останавливали через 10 мин добавлением 1 мл 4 %-го молибдата аммония.

Интенсивность развившейся окраски измеряли на спектрофотометре МС 122 фирмы СООО «Проскан специальные инструменты» (Республика Беларусь) при длине волны 410 нм. Определение активности каталазы проводили по формуле (6):

$$E = (A_{\text{хол}} - A_{\text{оп}}) \times V \times t \times K, \quad (6)$$

где E – активность каталазы (мкат/л); $A_{\text{хол}}$ – экстинкция холостой пробы; $A_{\text{оп}}$ – экстинкция опытной пробы; V – объем вносимой пробы (0,1 мл); t – время инкубации (600 с); K – коэффициент миллимолярной экстинкции H_2O_2 ($22,2 \cdot 10^3 \text{ mM}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$).

Статистическую обработку всех полученных результатов проводили по общепринятым методикам биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [10] с использованием программы Microsoft Excel и t -критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что действие раствора ЭК в концентрациях 10^{-11} – 10^{-8} М приводило к увеличению длины корня и побега амаранта трехцветного по сравнению с контрольными растениями (таблица 1). Значительное увеличение длины корня и побега было достигнуто при действии на растения ЭК в концентрации 10^{-11} М (эти различия статистически достоверны). Так, длина корня увеличилась на 39,9 % (рисунок 1), а побега – на 14,0 % (рисунок 2).

Воздействие ЭК в концентрации 10^{-8} М также приводило к увеличению длины корня и побега, но эти различия статистически достоверны только по длине корня. По сравнению с контрольным опытом длина корня увеличилась на 37 %, а побега – на 8,6 %.

Действие ЭК в концентрации 10^{-10} М привело к увеличению длины корня на 37,8 % и к незначительному уменьшению длины побега (на 2,5 %).

При воздействии на растение ЭК в концентрации 10^{-7} М наблюдалось уменьшение длины стебля и корня на 26,8 % и 24,7 % соответственно, результаты достоверны только по длине корня (таблица 1).

При обработке семян раствором S23 и дальнейшем проращивании у растений амаранта трехцветного наблюдалось достоверное увеличение длины корня во всех вариантах опыта (таблица 1, рисунок 1), длина побега также увеличилась, но в некоторых случаях наблюдалось незначительное уменьшение его длины по сравнению с контрольными растениями (эти различия статистически недостоверны).

Так, при воздействии раствора S23 в концентрации 10^{-11} М длина корня увеличилась на 61,9 %, а поб-га – на 6,2 %.

Использование S23 в концентрации 10^{-9} М также привело к увеличению длины корня. Длина корня увеличилась на 51,9 %, но наблюдалось уменьшение длины побега (рисунок 2).

При действии на растения S23 в концентрациях 10^{-8} М и 10^{-7} М длина корней увеличилась на 41,6 % и 51,8 %, длина побегов уменьшилась на 1,4 % и 0,2 %.

Действие S23 в концентрации 10^{-10} М привело к наибольшему изменению морфометрических параметров растения амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал. Длина корня увеличилась на 68,4 %, а побега – на 12,9 % (рисунки 1 и 2); эти различия статистически достоверны.

При обработке семян раствором конъюгата S31 и дальнейшем проращивании у растений амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал наблюдалось статисти-

чески достоверное увеличение длины корня во всех вариантах опыта (кроме действия раствора S31 в концентрации 10^{-11} М) (таблица 1). Длина побега также увеличилась, но в некоторых случаях наблюдалось незначительное уменьшение его длины по сравнению с контрольными растениями (рисунок 2); эти различия статистически не достоверны.

Таблица 1 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры начальных этапов роста амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	14,19 ± 0,75		24,05 ± 0,81	
10^{-11} М	19,85 ± 0,91*	139,9	27,59 ± 0,86**	114,7
10^{-10} М	19,56 ± 0,91*	137,8	23,45 ± 0,75	97,5
10^{-9} М	16,66 ± 0,72*	117,4	24,23 ± 0,80	100,7
10^{-8} М	19,44 ± 0,74*	137,0	26,13 ± 0,80	108,6
10^{-7} М	10,39 ± 0,58*	73,2	18,10 ± 0,65*	75,3
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	14,19 ± 0,75		24,05 ± 0,81	
10^{-11} М	22,97 ± 0,86**	161,9	25,54 ± 0,87	106,2
10^{-10} М	23,90 ± 0,82**	168,4	27,16 ± 0,78**	112,9
10^{-9} М	21,55 ± 0,94**	151,9	21,2 ± 1,0	88,1
10^{-8} М	20,09 ± 0,89*	141,6	24,39 ± 0,94	101,4
10^{-7} М	21,54 ± 0,73**	151,8	24,01 ± 0,99	99,8
Тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	14,19 ± 0,75		24,05 ± 0,81	
10^{-11} М	16,42 ± 0,73	115,7	23,74 ± 0,71	98,7
10^{-10} М	20,19 ± 0,84*	142,3	24,97 ± 0,73	103,8
10^{-9} М	19,81 ± 0,92*	139,6	22,91 ± 0,95	95,3
10^{-8} М	22,45 ± 0,82**	158,2	26,14 ± 0,65	108,7
10^{-7} М	18,64 ± 0,99*	131,4	22,66 ± 0,89	94,2

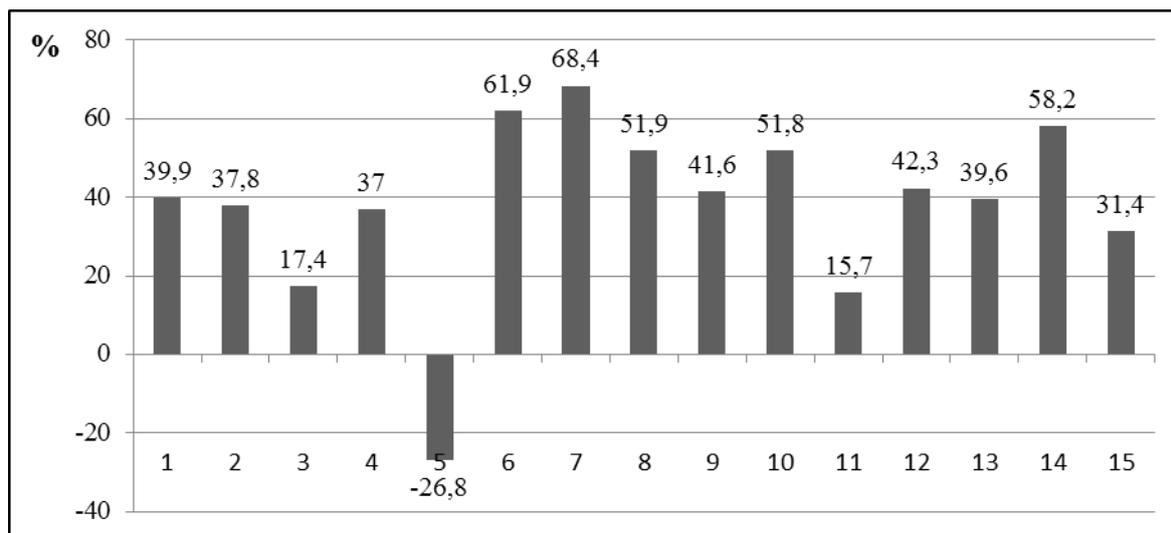
Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$.

При действии раствора S31 в концентрации 10^{-10} М длина корня увеличилась на 42,3 %, а побега – на 3,8 % по сравнению с контрольными образцами.

Обработка семян раствором S31 в концентрации 10^{-11} М также приводила к увеличению длины корня на 15,7 %, но при этом наблюдалось уменьшение длины побега на 1,3 % по сравнению с контрольными растениями.

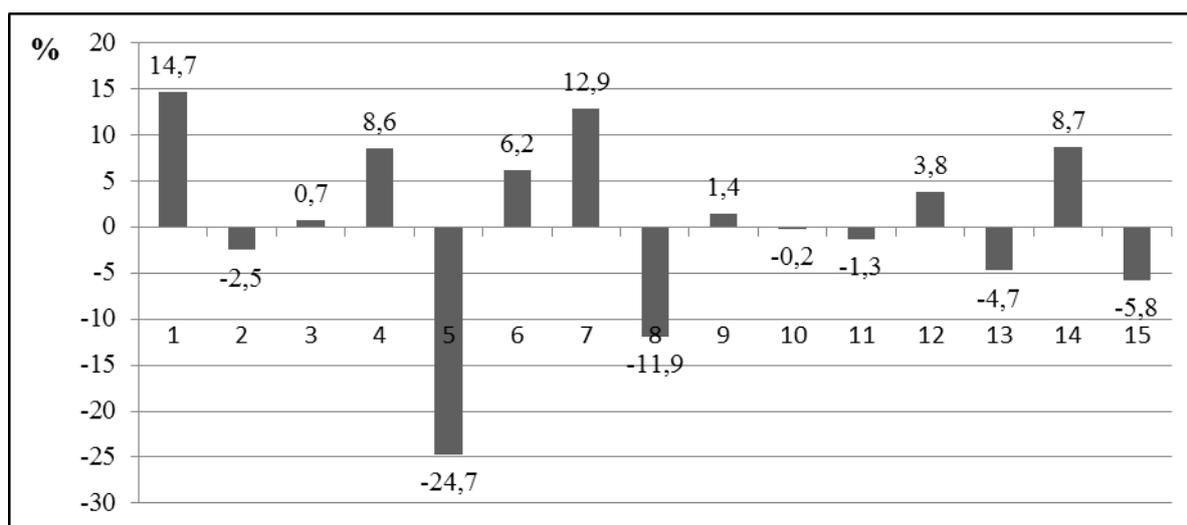
Аналогичная ситуация наблюдалась и при действии на растения S31 в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-7} М: длина корней увеличивалась на 39,6 % и 31,4 % соответственно, а длина побегов уменьшилась на 4,7 % и 5,8 %.

Действие данного конъюгата в концентрации 10^{-8} М привело к наибольшему изменению морфометрических параметров амаранта трехцветного: длина корня увеличивалась на 58,2 %, а побега – на 8,7 % (рисунки 1, 2).



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

Рисунок 1 – Влияние эпикастерона и его конъюгатов на длину корня амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля



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

Рисунок 2 – Влияние эпикастерона и его конъюгатов на длину побега амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля

Для дальнейшего проведения вегетационного лабораторного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации исследуемых веществ: 24-эпикастерон в концентрации 10^{-11} М, 2-моносалицилат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-10} М и тетраиндолилacetат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-8} М, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на рост корней и побегов амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал.

Семена замачивались в растворах ЭК и его конъюгатов на 5 ч, далее высаживались в пластиковые контейнеры на универсальном почвогрунте и выращивались в лабораторных условиях вегетационного эксперимента. Растения выращивались в услови-

ях постоянной влажности почвы. Вегетационные емкости перемещались ежедневно по схеме, обеспечивающей однородные условия роста и развития растений.

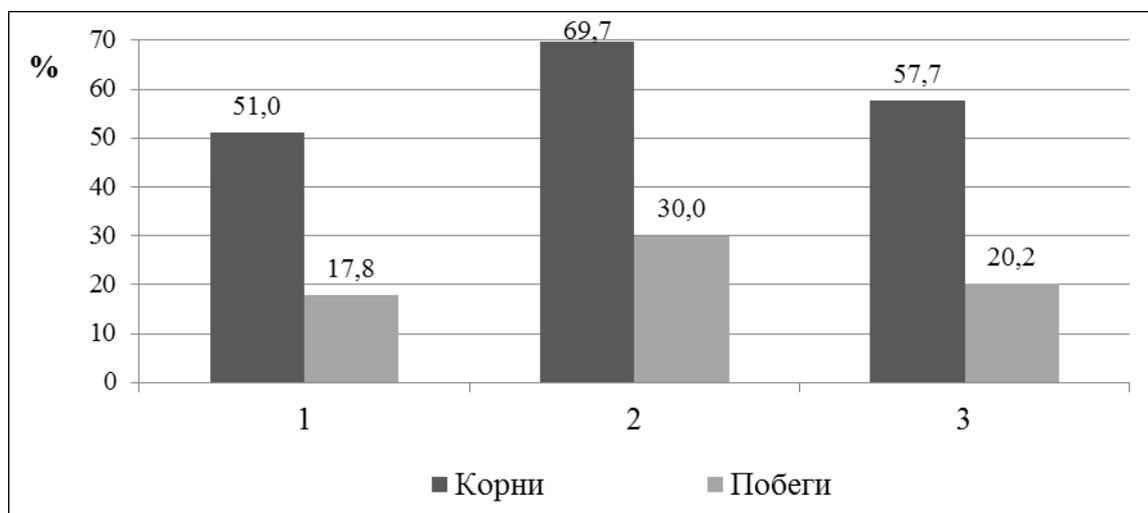
Содержание основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов) осуществлялось методом ацетоновой вытяжки [3], определение активности каталазы в побегах исследуемых растений проводилось по методу М. А. Королюк, основанному на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс [4].

Предварительная обработка семян амаранта ЭК в концентрации 10^{-11} М и его конъюгатами S23 в концентрации 10^{-10} М и S31 в концентрации 10^{-8} М приводила к увеличению длины корней и побегов у растений амаранта трехцветного (таблица 2). Так, длина корней увеличивалась на 51,0–69,7 % (рисунок 3), а побегов – на 17,8–30,0 % соответственно (рисунок 3); различия статистически достоверны (статистически недостоверно только по воздействию ЭК в концентрации 10^{-11} М на рост побега).

Таблица 2 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Контроль	78,8 ± 7,55	100,0	111,5 ± 7,41	100,0
ЭК 10^{-11} М	119,0 ± 3,56*	151,0	131,4 ± 4,98	117,8
S23 10^{-10} М	133,7 ± 3,84***	169,7	145,0 ± 7,38**	130,0
S31 10^{-8} М	124,3 ± 4,34***	157,7	134,0 ± 7,47*	120,1

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



1 – ЭК, 10^{-11} М; 2 – S23, 10^{-10} М; 3 – S31, 10^{-8} М

Рисунок 3 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля

Исследование содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал проводилось с изучением концентрации хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов (Кар).

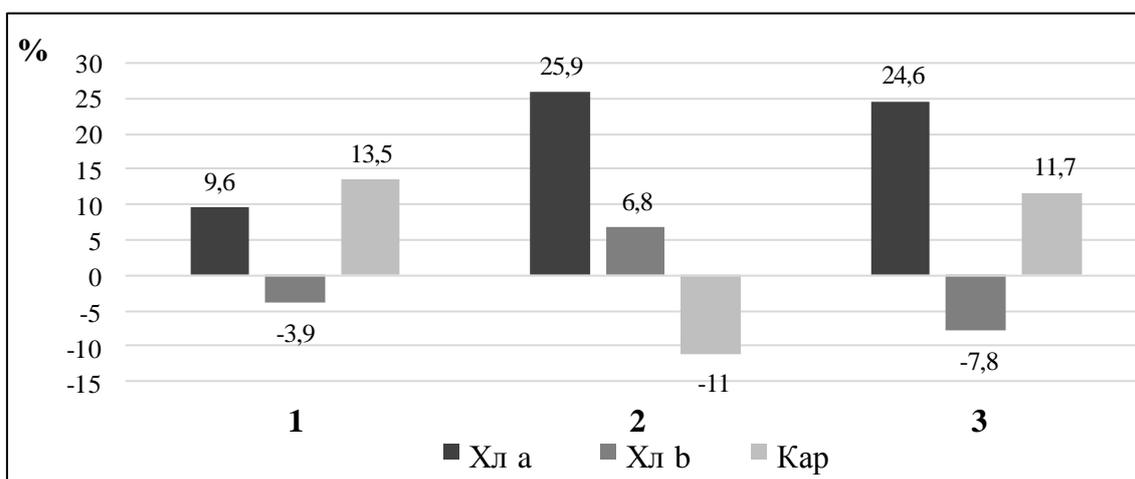
Проведенные исследования показали, что при использовании ЭК в концентрации 10^{-11} М наблюдалось повышение содержания Хл *a* и Кар на 9,6 % и 13,5 % соответственно (таблица 3, рисунок 4), но зафиксировано снижение содержания Хл *b* на 3,9 %.

При использовании S23 в концентрации 10^{-10} М наблюдалось также повышение содержания Хл *a* и Хл *b* на 25,9 % и 6,8 % соответственно, но зафиксировано снижение содержания Кар на 11 %.

Использование S31 в концентрации 10^{-8} М также приводило к повышению содержания Хл *a* (24,6 %) и Кар на 11,7 % и понижению Хл *b* на 7,8 % соответственно (рисунок 4), однако эти различия статистически недостоверны.

Таблица 3 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Содержание, мг/г		
	хлорофилла <i>a</i>	хлорофилла <i>b</i>	каротиноидов
Контроль	0,313 ± 0,035	0,103 ± 0,006	0,401 ± 0,094
ЭК 10^{-11} М	0,343 ± 0,008	0,099 ± 0,007	0,455 ± 0,014
S23 10^{-10} М	0,394 ± 0,039	0,110 ± 0,003	0,358 ± 0,019
S31 10^{-8} М	0,390 ± 0,022	0,095 ± 0,007	0,448 ± 0,047



1 – ЭК, 10^{-11} М; 2 – S23, 10^{-10} М; 3 – S31, 10^{-8} М

Рисунок 4 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля

Основные функции в регуляторной деятельности клетки выполняют ферменты антиоксидантной защиты (пероксидаза и каталаза), обеспечивающие нормальный ход окислительных процессов.

В опытах с амарантом трехцветным предварительная обработка семян ЭК и его конъюгатом S23 в концентрации 10^{-10} М приводила к незначительному увеличению активности каталазы в листьях.

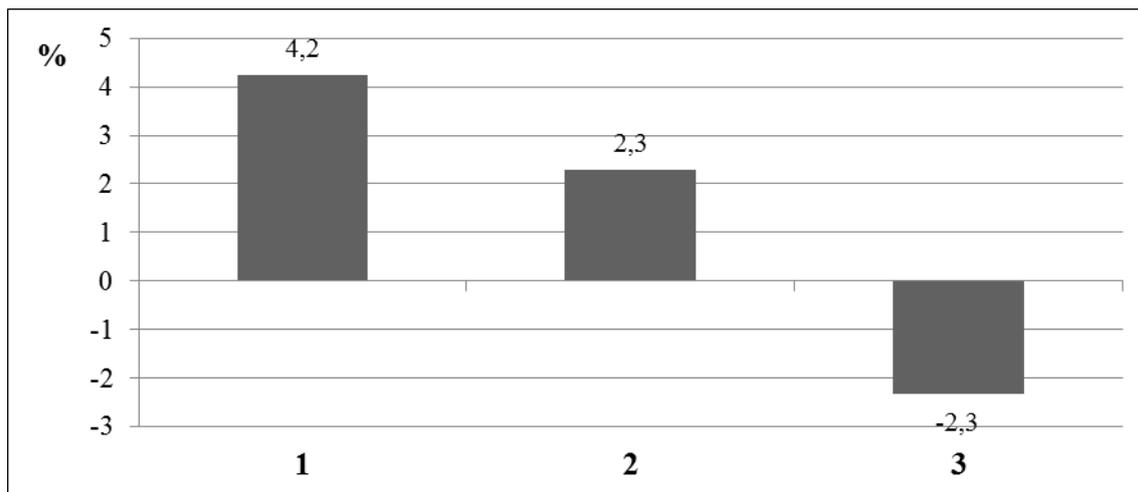
Так, активность каталазы увеличивалась на 4,2 % (статистически достоверно) и 2,3 % соответственно (таблица 4, рисунок 5).

Предварительная обработка семян S31 в концентрации 10^{-8} М приводила к снижению активности каталазы в листьях на 2,3 %, однако эти различия статистически недостоверны.

Таблица 4 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на активность каталазы в листьях амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Активность каталазы	
	мкат/л	% к контролю
Контроль	982,8 ± 11,8	100,0
ЭК, 10 ⁻¹¹ М	1024,5 ± 8,8*	104,2
S23, 10 ⁻¹⁰ М	1005,2 ± 8,4	102,3
S31, 10 ⁻⁸ М	959,9 ± 14,3	97,7

Примечание – * – достоверно при P ≤ 0,05.



1 – ЭК, 10⁻¹¹ М; 2 – S23, 10⁻¹⁰ М; 3 – S31, 10⁻⁸ М

Рисунок 5 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на активность каталазы в листьях амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля

Заключение

В результате проведенных лабораторных экспериментов установлено:

1) из протестированных веществ и концентраций для амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал максимальным ростостимулирующим эффектом на морфометрические параметры (длину корня и побега) обладает конъюгат эпикастастерона S23 (2-моносалицилат 24-эпикастастерона) в концентрации 10⁻¹⁰ М;

2) максимальным увеличением содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов) в листьях амаранта трехцветного обладает конъюгат эпикастастерона S31 (тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона) в концентрации 10⁻⁸ М;

3) повышением активности каталазы обладают ЭК (эпикастастерон) в концентрации 10⁻¹¹ М и его конъюгат S23 (2-моносалицилат 24-эпикастастерона) в концентрации 10⁻¹⁰ М при использовании предпосевного замачивания семян.

На основании выполненных исследований рекомендуется использовать 2-моносалицилат 24-эпикастастерон в концентрации 10⁻¹⁰ М как регулятор роста для амаранта трехцветного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хрипач, В. А. Перспективы практического применения brassinosteroidов нового класса фитогормонов (обзор) / В. А. Хрипач, В. И. Жабинский, Ф. А. Лахвич // С.-х. биология. – 1995. – № 1. – С. 3–11.

2. Прусакова, Л. Д. Роль брасиностероидов в росте, устойчивости и продуктивности растений / Л. Д. Прусакова, С. И. Чижова // *Агрохимия*. – 1996. – № 11. – С. 137–150.
3. Такимацу, Т. Биологические основы и практическое применение эпибрасинолида / Т. Такимацу. – М., 1988. – 19 с.
4. Пустовойтова, Т. П. Повышение засухоустойчивости растений под воздействием эпибрасинолида / Т. П. Пустовойтова, Н. Е. Жданова, Н. В. Жолкевич // *Докл. РАН*. – 2001. – № 5. – С. 697–700.
5. Никулин, П. В. Особенности растений амаранта как С4-растения / П. В. Никулин // *Естествознание и гуманизм* : сб. науч. тр. – 2007. – Т. 4, № 1. – С. 46–48.
6. Семена цветочных культур. Правила приемки и методы отбора проб. Межгосударственный стандарт : ГОСТ 24933.0-81. – Введ. 01.10.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 23 с.
7. Дышко, В. Н. Агрохимические методы исследований : учеб.-метод. пособие / В. Н. Дышко, В. В. Дышко, П. В. Романенко. – Смоленск : ФГБОУ ВПО «Смол. ГСХА», 2014. – 48 с.
8. Шульгин, И. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм / И. А. Шульгин, А. А. Ничипорович // *Хлорофилл* : сб. науч. ст. / под ред. А. А. Шлыка. – Минск : Наука и техника, 1974. – С. 121–136.
9. Метод определения активности каталазы / М. А. Корольук [и др.] // *Лаб. дело*. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
10. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Khripach, V. A. Pierspiektivy praktichieskogo primienienija brassinostieroidov novogo klassa fitogormonov (obzor) / V. A. Khripach, V. I. Zhabinskij, F. A. Lakhvich // *S.-h. biologija*. – 1995. – № 1. – S. 3–11.
2. Prusakova, L. D. Rol' brassinostieroidov v rosti, ustojchivosti i produktivnosti rastienij / L. D. Prusakova, S. I. Chizhova // *Agrokhimija*. – 1996. – № 11. – S. 137–150.
3. Takimacu, T. Biologichieskije osnovy i praktichieskoje primienienije epibrassinolida / T. Takimacu. – M., 1988. – 19 s.
4. Pustovojtova, T. P. Povyshenije zasukhoustojchivosti rastienij pod vozdiejstvijem epibrassinolida / T. P. Pustovojtova, N. Ye. Zhdanova, N. V. Zholkievich // *Dokl. RAN*. – 2001. – № 5. – S. 697–700.
5. Nikulin, P. V. Osobiennosti rastienij amaranta kak S4-rastienija / P. V. Nikulin // *Jestiestvoznaniie i gumanizm* : sb. nauch. tr. 2007. – Т. 4, № 1. – S. 46–48.
6. Siemiena cvietochnykh kul'tur. Pravila prijomki i mietody otbora prob. Miezghosudarstviennyj standart : GOST 24933.0-81. – Vvied. 01.10.86. – M. : Standartinform, 2011. – 23 s.
7. Dyshko, V. N. Agrokhimichieskije mietody issliedovanij : uchieb.-mietod. posobije / V. N. Dyshko, V. V. Dyshko, P. V. Romanienko – Smoliensk : FGBOU VPO «Smol. GSHA», 2014. – 48 s.
8. Shul'gin, I. A. Raschiot sodierzhanija pigmientov s pomoshchju nomogramm / I. A. Shul'gin, A. A. Nichiporovich // *Khlorofill* : sb. nauch. st. / pod ried. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1974. – S. 121–136.
9. Mietod opriedielienija aktivnosti katalazy / M. A. Koroliuk [i dr.] // *Lab. dielo*. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
10. Rokickij, P. F. Biologichieskaja statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Uradzhaj, 1973. – 320 s.

УДК 612.176

Галина Евгеньевна Хомич*канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина**e-mail: medicine@brsu.brest.by***Galina Khomich***Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
of Department of Anatomy, Physiology and Human Safety**of Brest State A. S. Pushkin University**e-mail: medicine@brsu.brest.by*

ВОЗДЕЙСТВИЕ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ЛЮДЕЙ, ПОСТОЯННО ЖИВУЩИХ В РАЙОНАХ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В настоящее время пристальное внимание уделяется изменениям функциональных особенностей организма при воздействии малых доз ионизирующей радиации. Хроническое низкоинтенсивное радиоактивное облучение организма может вызывать различные отрицательные эффекты, т. к., вероятнее всего, нет безопасной пороговой дозы облучения, и даже малый уровень радиации негативно отражается на здоровье человека. Исследования в данном направлении очень актуальны и интенсивно проводятся в нашей стране и за ее пределами. В регионах, загрязненных выброшенными из разрушенного реактора радионуклидами, увеличилась частота многих, в т. ч. сердечно-сосудистых, заболеваний. Ионизирующее излучение модифицирует функцию центральных и периферических механизмов адаптации, уменьшает функциональный ответ сердца и сосудов на активацию β -адренергических рецепторов и повышает стимуляцию α -адренорецепторов, что приводит к снижению уровня регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: *ионизирующее излучение, функции центральных и периферических механизмов, адаптации, сердечно-сосудистая активация.*

The Effect of Static Load on the Functional State on the Cardiovascular System People Who Live Permanently in the Districts Radionuclide Contamination

Currently, close attention is paid to changes in the functional characteristics of the body under the effects of low doses of ionizing radiation. Chronic low-intensity radiation exposure to the body can cause various negative effects, since, most likely, there is no safe dose of radiation and even a small level of radiation negatively affects human health. Research in this direction is very relevant and intensively conducted in our country and abroad. In the regions contaminated with radionuclides released from the destroyed reactor, the frequency of many, including cardiovascular diseases, has increased, since ionizing radiation modifies the function of central and peripheral adaptation mechanisms, reduces the functional response of the heart and blood vessels to the activation of β -adrenergic receptors and increases the stimulation of α -adrenergic receptors, which leads to a decrease in adaptive capabilities on the part of the cardiovascular system

Key words: *the cardiovascular system, the function of central and peripheral adaptation mechanisms, reduces the functional response of the heart and blood.*

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС породила острейшую проблему прогнозирования последствий и разработки средств профилактики негативного действия хронического низкоинтенсивного радиоактивного излучения на население и окружающую среду, приспособительных возможностей со стороны сердечно-сосудистой системы. Исследования в данном направлении очень актуальны и интенсивно проводятся в нашей стране и за ее пределами. В регионах, загрязненных выброшенными из разрушенного реактора радионуклидами, увеличилась частота многих, в т. ч. и сердечно-сосудистых, заболеваний [1; 2]. Ионизирующее излучение модифицирует функцию центральных и периферических механизмов адаптации, уменьшает функциональный ответ сердца и сосудов на активацию β -адренергических рецепторов и повышает на стимуляцию

α -адренорецепторов [3], что приводит к снижению уровня регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы.

В настоящее время пристальное внимание уделяется изменениям функциональных особенностей организма при воздействии малых доз ионизирующей радиации. Хроническое низкоинтенсивное радиоактивное облучение организма может вызывать различные отрицательные эффекты, т. к., вероятнее всего, нет безопасной пороговой дозы облучения, и даже малый уровень радиации негативно отражается на здоровье человека [5; 7].

Исследования, проведенные рядом авторов в течение многих лет после аварии на Чернобыльской АЭС, четко показывают, что у детей и взрослых, проживающих в условиях воздействия радиационного излучения, наряду с общим увеличением количества различных заболеваний многие из них протекают более тяжело, чаще возникают рецидивы и обострения. У населения, подвергнувшегося воздействию радиации, также резко увеличился процент заболеваний сердечно-сосудистой системы [1; 7].

Научные исследования, проведенные на студентах, постоянно проживающих в районах радионуклидного загрязнения, показывают, что гемодинамические показатели у большинства из них сохраняются в границах нормальных значений, однако имеют большое непостоянство [4]. Такой «синдром функционального непостоянства кровообращения» связан с повышенной возбудимостью высших центров вегетативной нервной системы, что вызывает изменения в нейрогуморальных механизмах регуляции гемодинамики с преимущественным влиянием парасимпатического отдела [5]. Грубых нарушений кровенаполнения сосудов конечностей не возникает, однако проявляется лабильность тонуса мелких и средних сосудов [6].

В проведенных научных исследованиях, выполненных на крысах, находившихся в течение 30 дней в 10-километровой зоне от очага аварии на ЧАЭС, показано, что радиологическая обстановка, в которой ведущая роль принадлежит ионизирующему излучению, модифицирует функцию центральных и периферических механизмов адаптации. Это приводит к снижению приспособительных возможностей со стороны различных систем, в т. ч. и сердечно-сосудистой [6]. При этом в патогенезе выявляемых изменений со стороны кровообращения под влиянием ионизирующего излучения существенная роль придается нарушениям нейрогуморальных механизмов регуляции сократительной деятельности миокарда и состояния сосудистого тонуса [7].

Исследования, проведенные после аварии на Чернобыльской АЭС, четко показывают, что у детей и взрослых людей, проживающих на местности, загрязненной радионуклидами, увеличение заболеваний сердечно-сосудистой системы связано с накоплением в тканях радионуклидов, влияющих на эластичность стенок периферических кровеносных сосудов [2], что отражается на гемодинамических показателях сердечно-сосудистой системы. Применение дозированных физических нагрузок позволяет более детально анализировать функциональное состояние сердца и сосудов у людей, подвергавшихся и не подвергавшихся хроническому воздействию низкоинтенсивного радиоактивного облучения.

Анализ функционирования сердечно-сосудистой системы у молодых людей, постоянно проживающих на местности с повышенным радиоактивным фоном, имеет большое значение для изучения механизмов действия малых доз радиации на кровообращение. Выяснение этого вопроса позволило бы теоретически обосновать и практически применять методы профилактики негативного влияния хронического низкоинтенсивного радиоактивного облучения на кровеносную систему, а также прогнозировать возможные компенсаторные изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы.

Цель работы – изучение реакций со стороны некоторых гемодинамических показателей сердечно-сосудистой системы на физическую статическую нагрузку.

Изучение функционального состояния сердечно-сосудистой системы в покое и при дозированной нагрузке у взрослых людей, многие годы проживавших на радиоактивно загрязненной местности, дает возможность выявить звенья, наиболее уязвимые для малых доз радиации.

Материалы и методы исследования

Исследовалось функциональное состояние сердечно-сосудистой системы при выполнении статической физической нагрузки у студентов, проживавших и не проживавших в зоне радиационного контроля. В обследуемую группу вошли студенты Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина, которые проживали в Лунинецком и Столинском районах Брестской области на местности, имеющей повышенный уровень радиоактивного загрязнения цезием. Контрольную группу составили студенты, не проживавшие и не находившиеся продолжительное время в зоне радиоактивного загрязнения.

По методике А. А. Астахова [2] на многофункциональном мониторе кровенаполнения «Кентавр-1» одновременно регистрировались следующие показатели:

- 1) частота сердечных сокращений (ЧСС);
- 2) систолическое артериальное давление (САД);
- 3) амплитуда реоволны пальца ноги (АРП);
- 4) амплитуда реоволны голени (АРГ);
- 5) амплитуда реоволны легких (АРЛ).

Статической физической нагрузкой для тестируемых обследуемых служило удержание в положении лежа на вытянутых вверх руках в течение одной минуты штанги, весом 50 % от максимально возможного.

Электроды накладывались на спину, грудь, плечевые и бедренные отделы конечностей, на голень и большой палец правой ноги обследуемой. Электрическое сопротивление, или импеданс, тканей между электродами измерялось с помощью серийного реографа Р4-02. С четырех каналов реографа сигналы поступали в монитор кровенаполнения «Кентавр-1», где производилась их автоматическая компьютерная обработка.

Результаты обработки в виде цифровых данных и гистограмм высвечивались на экране дисплея и давали с каждым ударом пульса характеристику артериального кровенаполнения, состояния тонуса кровеносных сосудов, систолического артериального давления, частоты сердечных сокращений в покое и при выполнении статической нагрузки.

Результаты и их обсуждение

Проведенный анализ импедансометрических характеристик кровеносных сосудов показал, что в состоянии покоя у девушек как опытной, так и контрольной группы обнаруживается несколько различных состояний тонуса микрососудов и магистральных кровеносных сосудов нижних конечностей. Согласно [3], о нормальном, констрикторном, спазматическом или дилататорном состоянии микрососудов в организме человека можно судить по значениям амплитуды реоволны пальца ноги, а магистральных кровеносных сосудов – по амплитуде реоволны голени. При нормальном тонусе и, соответственно, диаметре кровеносных сосудов у взрослого человека АРП составляет примерно 80–150 мОм, а АРГ – 80–130 мОм. При вазодилатации и гипотонии АРП равняется 160–300 мОм, АРГ – 140–300 мОм. При умеренном сужении сосудов (констрикторном состоянии) значения АРП и АРГ уменьшаются до 70–30 мОм, а при очень сильном сужении кровеносных сосудов (спазматическом состоянии) величины АРП и АРГ падают ниже 30 мОм, что согласуется с данными [6].

Нами было получено у испытуемых в состоянии покоя до выполнения статической нагрузки несколько сочетаний функционального состояния микрососудов и магистральных кровеносных сосудов:

- 1) нормальный тонус микрососудов и магистральных сосудов;
- 2) констрикторное состояние микрососудов и нормальный тонус магистральных сосудов;
- 3) констрикторное состояние микрососудов и магистральных сосудов;
- 4) спазматическое состояние микрососудов и констрикторное состояние магистральных сосудов;
- 5) спазматическое состояние микрососудов и магистральных сосудов;
- 6) дилататорное (гипотоническое) состояние микрососудов и магистральных сосудов.

В результате проведенных исследований было установлено, что шесть различных сочетаний тонуса микрососудов и магистральных сосудов встречаются с разной частотой у обследуемых, долго проживавших и не проживавших на радиационно загрязненной местности.

Нами было выявлено, что в контрольной группе участников эксперимента в состоянии покоя до выполнения статической нагрузки обследуемые с нормальным тонусом мелких и крупных сосудов нижних конечностей составляли 51,28 %, с констрикторным состоянием микрососудов и нормальным состоянием магистральных сосудов – 25,64 %, с констрикторным состоянием микрососудов и магистральных сосудов – 12,82 %, со спазматическим тонусом микрососудов и констрикторным тонусом магистральных сосудов – 5,14 %, со спазматическим состоянием микрососудов и магистральных сосудов – 2,56 %, с дилататорным состоянием мелких и крупных сосудов – 2,56 %.

В экспериментальной группе показатели распределились следующим образом. С нормальным тонусом микрососудов и магистральных сосудов оказалось 32,14 % студентов, с констрикторным состоянием микрососудов и нормальным состоянием магистральных сосудов – 14,29 %, со спазматическим состоянием микрососудов и констрикторным тонусом магистральных сосудов – 14,29 %, со спазматическим тонусом мелких и крупных сосудов – 21,43 %, с дилататорным тонусом микрососудов и магистральных кровеносных сосудов – 7,14 %.

Таким образом, у студентов, длительное время проживавших в районах с повышенным радиоактивным фоном, значительно чаще (в 67,68 % случаев), чем у студентов контрольной группы (в 48,79 % случаев), наблюдаются отклонения от нормального тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. При этом чаще отмечается вазоконстрикция микрососудов и магистральных сосудов, что согласуется с данными [4], свидетельствующими об увеличении количества случаев гипертензии у людей, постоянно подвергающихся воздействию низкоинтенсивного радиоактивного облучения.

Следующим этапом нашей работы было изучение реакций кровеносных сосудов ног и легких на физическую статическую нагрузку у девушек обследуемой группы в зависимости от исходного состояния тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. Довольно существенным является то обстоятельство, что в зависимости от исходного просвета мелких и магистральных сосудов ног наблюдались неоднозначные реакции АРП, АРГ и АРЛ на статическую нагрузку. В настоящей работе представлены результаты исследования влияния статической нагрузки на АРП, АРГ, АРЛ, САД и ЧСС у взрослых людей, имевших первоначальный нормальный тонус мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей.

Известно, что статическая нагрузка оказывает существенное влияние на деятельность сердечно-сосудистой системы, что отражается в ее функциональных показателях: частоте сердечных сокращений, величине кровяного давления, перераспределении крови

между сосудистыми регионами, величине систолического и минутного объема крови и др. Исследования показали, что средняя амплитуда реоволны пальца ноги в покое до выполнения статической нагрузки у девушек, находящихся в горизонтальном положении, составила 102,68 мОм, а амплитуда реоволны голени равнялась 87,32 мОм, что, согласно данным литературы [3; 6] свидетельствует о нормальном тоне и оптимальной величине просвета мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей.

Выполнение статической нагрузки продолжительностью в одну минуту вызывало достоверное уменьшение величины АРП на 26,04 % и значений АРГ на 8,12 %. Одновременно наблюдалось увеличение амплитуды реоволны легких на 11,48 %. Полученные данные показывают, что выполнение статической нагрузки по величине ≈ 50 % от максимальной вызывает у испытуемых с нормальным тоном кровеносных сосудов нижних конечностей изменение просвета сосудов и перераспределение крови между сосудистыми регионами большого и малого кругов кровообращения.

Одновременный мониторинг систолического артериального давления и частоты сердечных сокращений выявил более выраженное увеличение кровяного давления (на 16,19 %) при статической нагрузке и менее существенное возрастание частоты пульса (на 7,16 %). Такие изменения характерны для статических нагрузок, которые вызывают более значительное повышение артериального давления. ЧСС при этом возрастает мало, а при выполнении статических усилий, близких к максимальным, может даже уменьшаться. В этом случае увеличение ЧСС наблюдается не во время выполнения статического усилия, а сразу после его окончания, что получило название феномена Линдгарда. Такое уменьшение пульсации ЧСС можно объяснить увеличением активности симпатического отдела вегетативной нервной системы во время статической нагрузки и усилением централизации регуляторных механизмов сердечного ритма [6].

Полученные данные свидетельствуют, что выполнение статической нагрузки вызывает у испытуемых с нормальным просветом кровеносных сосудов нижних конечностей умеренное перераспределение тона кровеносных сосудов большого и малого кругов кровообращения, оптимальное повышение систолического артериального давления и частоты сердечных сокращений.

У студентов с умеренно суженным, или констрикторным, состоянием микрососудов при одновременно нормальном тоне магистральных кровеносных сосудов ног средняя АРП до выполнения статической нагрузки равнялась $42,51 \pm 0,45$ мОм, а средняя АРГ – $111,02 \pm 0,52$ мОм. Выполнение одноминутной статической нагрузки вызывало достоверное увеличение значений АРП на 83,02 % при одновременном уменьшении АРГ на 10,98 %. Параллельно происходило увеличение АРЛ на 49,11 %, САД на 14,06 % и ЧСС на 11,9 %. Полученные данные показывают, что статическая нагрузка у студентов этой выборки вызывает сужение магистральных сосудов ног при одновременном расширении микрососудов нижних конечностей и кровеносных сосудов легких. Судя по средним значениям и динамике АРП, АРГ, АРЛ, САД и ЧСС, можно констатировать, что перераспределение крови между сосудистыми регионами и общая реакция сердечно-сосудистой системы на статическую нагрузку у девушек с констрикторным состоянием микрососудов и нормальным макрососудов ног протекают удовлетворительно.

Чрезвычайно суженное, или спазматическое, состояние мелких кровеносных сосудов при одновременно констрикторном состоянии крупных сосудов ног наблюдалось у 14,29 % исследуемых из обследуемой группы.

Полученные результаты показали, что до статической нагрузки средняя величина АРП составляла $18,1 \pm 0,2$ мОм, АРГ – $48,24 \pm 0,1$ мОм. Средняя величина АРЛ у этих студентов составляла $651,95 \pm 6,72$ мОм, что свидетельствовало о значительном просвете кровеносных сосудов легких.

Выполнение статической нагрузки приводило к значительному увеличению (на 140,88 %) АРП при параллельном уменьшении АРГ на 44,86 % и АРЛ на 10,27 %. Это свидетельствует о том, что при нагрузке у обследуемых со спазматическим состоянием микрососудов и повышенным тонусом крупных кровеносных сосудов осуществлялось перераспределение крови из малого круга кровообращения и крупных сосудов большого круга в мелкие сосуды нижних конечностей. При этом резко возрастали колебания отдельных значений АРП, диапазон которых находился в пределах 5–177 мОм. На основании этих данных можно предполагать, что удержание штанги студентами, имеющими указанное состояние кровеносных сосудов ног, вызывает значительно большую нагрузку на сердечно-сосудистую систему, чем у студентов с нормальным тонусом кровеносных сосудов.

У участников эксперимента со спазматическим состоянием микро- и макрососудов ног в состоянии покоя средняя АРП равнялась $24,96 \pm 0,57$ мОм, АРГ – $17,25 \pm 0,05$ мОм, АРЛ – $481,46 \pm 4,13$ мОм. Удержание штанги вызывало увеличение показателей АРП на 53,53 %. При этом не происходило достоверных изменений средней величины АРГ, хотя пульсация ее значений в обе стороны от изолинии существенно возрастала. Амплитуда револны легких уменьшалась на 11,12 %. Это свидетельствует о том, что у студентов со спазмом кровяного русла перераспределение крови происходит в основном за счет микрососудов нижних конечностей. Магистральные сосуды ног не участвуют, а сосуды малого круга кровообращения вносят небольшой вклад в перераспределение крови при статической нагрузке.

Таким образом, характер сдвигов АРП, АРГ, АРЛ, САД и ЧСС при статической нагрузке и затяжной характер восстановления данных показателей после окончания удержания штанги показывают, что применявшаяся функциональная нагрузка выполняется наиболее тяжело при спазматическом состоянии кровеносных сосудов нижних конечностей.

Сильно расслабленное, т. е. дилататорное, состояние мелких и крупных кровеносных сосудов ног встречалось у 14,29 % студенток обследуемой группы. Средняя АРП у них составляла $174,47 \pm 4,3$ мОм, средняя АРГ – $141,5 \pm 1,0$ мОм, средняя АРЛ – $404,49 \pm 13,84$ мОм. У студентов с дилататорным состоянием сосудов наблюдались самые большие параметры пульсации сосудов по сравнению с другими выборками испытуемых.

Выполнение одноминутной статической нагрузки вызывало у тестируемых студентов, постоянно живущих в условиях радионуклидного загрязнения, уменьшение средних значений АРП на 49,58 %, АРГ – на 15,21 % при одновременном увеличении АРЛ на 42,91 %. При нагрузке также наблюдалось уменьшение диапазона колебаний АРП в 2,6 раза, АРГ – в 1,3 раза и АРЛ – в 1,3 раза. В результате таких изменений под влиянием статической нагрузки реографические характеристики кровеносных сосудов ног, а также САД начинали приобретать параметры, обнаруженные в покое у обследуемых с нормальным тонусом кровеносных сосудов. По-видимому, выполнение умеренной по величине статической нагрузки оказывает благоприятное влияние на тонус кровеносных сосудов и кровяное давление, и такую нагрузку можно рекомендовать в целях профилактики гипотонии.

Заклучение

1. В зависимости от фонового состояния тонуса микрососудов и магистральных кровеносных сосудов нижних конечностей при статической нагрузке наблюдаются разнонаправленные сдвиги значений амплитуд револн мелких и крупных сосудов ног и сосудов легких. С наименьшим напряжением для сердечно-сосудистой системы выполняется статическая нагрузка испытуемыми, имевшими в состоянии покоя нормаль-

ный тонус кровеносных сосудов нижних конечностей. У студентов со спазмом кровеносных сосудов ног перераспределение крови при физической статической нагрузке происходит главным образом только за счет микрососудов, что вызывает большое напряжение в деятельности сердечно-сосудистой системы.

2. У студентов, длительное время проживавших в районах с повышенным радиоактивным фоном, значительно чаще (67,68 % случаев), чем у студентов контрольной группы (48,79 % случаев), наблюдаются отклонения от нормального тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. При этом чаще отмечается вазоконстрикция микрососудов и магистральных сосудов, что согласуется с данными литературы [4], свидетельствующими об увеличении количества случаев гипертензии у людей, постоянно подвергающихся воздействию низкоинтенсивного радиоактивного облучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баевский, Р. М. Введение в донозологическую диагностику / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М. : Слово, 2008. – 176 с.
2. Balueva, T. V. Effects of the endothelial relaning factor on the orthostatic reaction of systemic hemodynamics in rats / T. V. Balueva, I. V. Sergeev, L. I. Osadchie // *Aviakosm. Ekolog. Med.* – 2003. – № 37. – P. 27–29.
3. Софронов, Г. А. Влияние постуральной коррекции гемодинамики на параметры сердечного ритма / Г. А. Софронов // *Мед. akad. журн.* – 2014. – Т. 14, № 3. – С. 38–51.
4. Гелис, Л. Г. Острый коронарный синдром и биомаркеры кардиоваскулярного риска / Л. Г. Гелис, Е. А. Медведева, Н. А. Шибeko. – Минск : Медисонт, 2018. – 339 с.
5. Осадчий, Л. И. Гемодинамическая структура антиортостатических реакций: соотношение механической активности сердца и артериальное давление / Л. И. Осадчий, Т. В. Балуева, И. В. Сергеев // *Авиакосм. и экол. медицина.* – 1997. – Т. 31, № 3. – С. 19–23.
6. Курлянская, Е. К. Рекомендации по диагностике и лечению хронической сердечной недостаточности / Е. К. Курлянская, А. М. Пристром, Т. А. Троянова-Щуцкая. – Минск, 2019. – 67 с.
7. Саваневский, Н. К. Реакции кровеносной системы на изменение положения тела человека в пространстве / Н. К. Саваневский, Г. Е. Хомич // *Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2011. – № 2. – С. 53–57.
8. Robertson, D. The pathophysiology and diagnosis of ortostatic hypotension / D. Robertson // *Clinical Auton. Res.* – 2008. – № 18. – P. 2–7.

REFERENCES

1. Bajevskij, R. M. Vviedienije v donozologichieskuju diagnostiku / R. M. Bajevskij, A. P. Biersienieva. – M. : Slovo, 2008. – 176 s.
2. Balueva, T. V. Effects of the endothelial relaning factor on the orthostatic reaction of systemic hemodynamics in rats / T. V. Balueva, I. V. Sergeev, L. I. Osadchie // *Aviakosm. Ekolog. Med.* – 2003. – № 37. – P. 27–29.
3. Sofronov, G. A. Vlijanije postural'noj korriekcii giemodinamiki na paramietry sierdiechnogo ritma / G. A. Sofronov // *Mied. akad. zhurn.* – 2014. – Т. 14, № 3. – S. 38–51.
4. Gielis, L. G. Ostryj koronarnyj sindrom i biomarkierj kardiovaskuliarnogo riska / L. G. Gielis, Ye. A. Miedviedieva, N. A. Shiebieko. – Minsk : Miedicont, 2018. – 339 s.
5. Osadchij, L. I. Giemodinamichieskaja struktura antiortostatichieskikh rieakcij: sootnoshenije miekhanichieskoj aktivnosti sierdca i arterial'noje davlienije / L. I. Osadchij, T. V. Balujeva, I. V. Siergiejev // *Aviakosm. i ekol. miedicina.* – 1997. – Т. 31, № 3. – S. 19–23.

6. Kurlianskaja, Ye. K. Riekomiendacii po diagnostikie i liechieniju khronichieskoj sierdiechnoj niedostatochnosti / Ye. K. Kurlianskaja, A. M. Pristrom, T. A. Trojanova-Shchuckaja. – Minsk, 2019. – 67 s.

7. Savanievskij, N. K. Rieakcii krovienosnoj sistiemy na izmienienije polozhenija tiela chielovieka v prostranstvie / N. K. Savaneivskij, G. Ye. Khomich // Viesn. Bresc. un-ta. Sier. 5, Khimija. Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2011. – № 2. – S. 53–57.

8. Robertson, D. The pathophysiology and diagnosis of ortostatic hypotension / D. Robertson // Clinical Auton. Res. – 2008. – № 18. – P. 2–7.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 27.11.2023

УДК 631.459.3

**Николай Николаевич Цыбулько¹, Виктор Борисович Цырибко²,
Елена Валерьевна Алексейчик³**

¹д-р с.-х. наук, проф., нач. науч.-исслед. сектора
Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета

²канд. с.-х. наук, доц., зав. лаб. агрофизических свойств и защиты почв от эрозии
Института почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси

³аспирант 2-го года обучения каф. экологического мониторинга и маркетинга
Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета

Mikalai Tsybulka¹, Viktor Tsyribko², Elena Alexeichik³

¹Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Research Sector
of International State Ecological A. D. Sakharov Institute of Belarusian State University

²Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Head of the Laboratory of Agrophysical Properties and Protection of Soil Erosion
of Institute of Soil Science and Agrochemistry of National Academy of Sciences of Belarus

³2-nd Year Postgraduate Student of the Department of Environmental Monitoring and Marketing
of International State Ecological A. D. Sakharov Institute of Belarusian State University
e-mail: ¹nik.nik1966@tut.by

ДЕФЛИРОВАННЫЕ ПОЧВЫ: ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Представлен анализ существующих подходов и диагностических критериев определения дефлированности почв. Основные генетические типы почв Беларуси в зависимости от степени разрушения верхних горизонтов под действием ветра делятся на слабо-, средне- и сильнодефлированные. В природоохранной деятельности с целью выявления, оценки и учета деградированных земель критериями степени их деградации в результате дефляции почв являются уменьшение мощности плодородного слоя почвы и появление (увеличение) мощности абиотического (неплодородного) наноса. По данным почвенного обследования, в Беларуси дефляции почв подвержено 82,7 тыс. га сельскохозяйственных земель. В составе почв, подверженных дефляции, слабодефлированные почвы занимают 87,5 %, среднедефлированные – 11,7 %, сильнодефлированные – 0,8 %. Удельный вес почв, подверженных дефляционным процессам, в составе пахотных земель изменяются от 0,4–0,5 % в Витебской и Могилевской областях до 1,9–2,9 % в Гомельской, Гродненской и Минской областях.

Ключевые слова: дефляция почв, степень дефляционной деградации, диагностические критерии.

Deflated Soils: Diagnostic Criteria and Distribution in the Territory of Belarus

The analysis of existing approaches and diagnostic criteria for determining soil deflation is presented. The main genetic types of soils in Belarus, depending on the degree of destruction of the upper horizons under the influence of wind, are divided into weakly, medium and highly ventilated. In environmental protection activities, in order to identify, assess and account for degraded lands, the criteria for the degree of their degradation as a result of soil deflation are: a decrease in the power of the fertile soil layer and the appearance (increase) of the power of abiotic (infertile) sediment. According to the soil survey in Belarus, 82,7 thousand ha of agricultural land are subject to soil deflation. In the composition of soils subject to deflation, weakly ventilated soils occupy 87,5 %, medium-ventilated – 11,7 %, highly ventilated soils – 0,8 %. The proportion of soils subject to deflationary processes in the composition of arable land varies from 0,4–0,5 % in the Vitebsk and Mogilev regions to 1,9–2,9 % in the Gomel, Grodno and Minsk regions.

Key words: soil deflation, degree of deflationary degradation, diagnostic criteria.

Введение

В современном мире одной из глобальных проблем является деградация почвенного покрова, представляющая собой совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функции почв, количественному и качественному

ухудшению их состава, свойств и режимов, природно-хозяйственной значимости земель [1].

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), общая площадь деградированных земель составляет более 25 % территории суши, а во всем мире 1,96 млрд га почвенного покрова подвержено деградации, обусловленной деятельностью человека. Ежегодный экономический ущерб от деградации земельных ресурсов оценивается в 490 млрд долл. США [2]. Деградация земельных ресурсов усугубляется современными процессами изменения климата [3].

В Беларуси выявлено более 20 видов и форм деградации почв [4–6]. Ветровая эрозия (дефляция) почв, определяемая такими факторами, как характер климата, рельеф территории, особенности почвенного и растительного покрова, проявляется и в виде повседневной ветровой эрозии на открытых незащищенных растительностью массивах, и в виде пыльных бурь.

Повседневная эрозия протекает под воздействием слабых воздушных потоков – ветров скоростью <15 м/с, пыльные бури возникают при сильных ветрах, скорость которых превышает 10–15 м/с. Пыльная (песчаная) буря представляет перенос большого количества пыли, песка, частиц сухого торфа и их смесей сильным ветром в приземном слое воздуха (на высоте >2 м от поверхности) [7].

На территории Беларуси дефляция почв чаще всего возникает весной (апрель–май) и в начале лета (первая декада июня), когда верхний слой почвы распылен механической обработкой и не защищен растительным покровом, реже – осенью. Потери почвы составляют в апреле 30 %, в мае – 42 %, в июне – 24 %, в сентябре – 4 % от общей суммы годовых потерь [8].

Перенос частиц почвы вызывают ветры, обладающие необходимой критической скоростью, достаточной для отрыва частиц от поверхности. Для минеральных почв легкого гранулометрического состава это ветры со скоростью 5–6 м/с, для органогенных торфяных почв – 8–9 м/с. При критической скорости ветра в движение приходят частицы почвы диаметром от 1,0 до 0,25 мм и меньше. Агрегаты и частицы диаметром >1 мм обычно не переносятся ветром, а перекатываются по поверхности почвы и только при штормовых ветрах могут вовлекаться в воздушный поток [9].

Противодефляционная устойчивость почв по физическому смыслу аналогична противозрозионной стойкости: она характеризует способность почвы противостоять сдувающему действию воздушного потока. Количественно она выражается величиной скорости начала массового движения частиц почвы, которая определяется размером, плотностью и сцеплением агрегатов и комков.

Цель статьи – провести анализ существующих подходов и диагностических критериев (показателей) определения дефлированности почв Беларуси при проведении почвенного обследования земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств, а также установления степени деградации почвенного покрова под влиянием ветровой эрозии в природоохранной практике.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования явились дефлированные почвы пахотных и луговых земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств Беларуси. Предмет исследования – диагностические критерии (показатели) дефлированности почв и степени дефляционной деградации земель. Типы и подтипы почв приведены согласно Номенклатурному списку почв Республики Беларусь [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Диагностические критерии дефлированности почв и степени дефляционной деградации земель. В Беларуси почвенное обследование и корректировка результатов почвенного обследования земель, обновление почвенных карт регламентируется соответствующим техническим кодексом установившейся практики [11].

Объектом почвенного обследования дефлированных почв являются сельскохозяйственные земли сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств, а также сельскохозяйственные земли, на которых ранее не проводилось почвенное обследование.

Определение степени подверженности почв дефляции проводится по количеству сохранившихся генетических горизонтов, их мощности. С этой целью сравнивают дефлированные почвы с почвами, не подверженными ветровой эрозии, принятыми за эталон. Диагностические критерии отнесения почв к дефлированным и степень их дефлированности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии установления степени дефлированности почв

Степень дефлированности почв	Состояние генетического горизонта		
	разрушен	распахивается	подпахотный
Слабодефлированные	пахотный (A_n), не более половины	гумусовый (A_1), частично	элювиально-иллювиальный (A_2B)
Среднедефлированные	пахотный (A_n), полностью	гумусовый (A_1) и элювиально-иллювиальный (A_2B), иллювиальный (B_1), частично	иллювиальный (B_1)
Сильнодефлированные	пахотно-элювиальный (A_nA_2) и элювиально-иллювиальный (A_2B_1)	иллювиальный (B_2)	иллювиальный (B_2) или (B_3) либо подстилающая или почвообразующая порода (C)

В зависимости от степени разрушения верхних горизонтов под действием ветра дефлированные почвы делятся на:

1) слабодефлированные – пахотный (A_n) горизонт разрушен не более половины, частично распахивается гумусовый горизонт (A_1), подпахотным является элювиально-иллювиальный горизонт (A_2B);

2) среднедефлированные – пахотный (A_n) горизонт разрушен полностью, распахиваются гумусовый (A_1), элювиально-иллювиальный (A_2B) горизонты и частично иллювиальный горизонт (B_1), подпахотным является иллювиальный горизонт (B_1);

3) сильнодефлированные – пахотно-элювиальный (A_nA_2) и элювиально-иллювиальный (A_2B_1) горизонты разрушены полностью, распахивается иллювиальный горизонт (B_2), подпахотным являются иллювиальный (B_2) или (B_3) горизонт либо подстилающая или почвообразующая порода (C).

В процессе дефляции формируются навейные почвы, которые в зависимости от мощности наносов делятся на почвы: со слабонавейным верхом (мощность навейного горизонта до 10 см), со средненавейным верхом (мощность навейного горизонта до 11–25 см), с сильмонавейным верхом (мощность навейного горизонта >25 см).

В природоохранной деятельности Беларуси с целью выявления, оценки и учет деградированных земель, разработки почвозащитных мероприятий критериями степени деградации земель в результате дефляции почв выступают: уменьшение мощности

плодородного (гумусированного) слоя почвы (%) и появление или увеличение мощности абiotического (неплодородного) наноса (см) (таблица 2).

Таблица 2 – Критерии оценки и показатели степени деградации земель под влиянием ветровой эрозии (дефляции) почв

Критерии оценки степени деградации земель	Показатели степени деградации земель			
	1 низкая	2 средняя	3 высокая	4 очень высокая
Уменьшение мощности плодородного (гумусированного) слоя почвы, %	10–25	>25–50	>50–75	>75
Появление или увеличение мощности абiotического (неплодородного) наноса, см	3–10	>10–20	>20–40	>40

Степень деградации земель по каждому показателю (критерию) имеет четыре уровня: низкая, средняя, высокая и очень высокая. При низкой степени деградации уменьшение мощности плодородного слоя составляет 10–25 %, при средней степени – >25–50 %, при высокой степени – >50–75 %, при очень высокой степени деградации – >75 % [12].

Земли с низкой, средней и высокой степенью деградации относятся к деградирующим землям. Данные земли возможно использовать по целевому назначению (при необходимости с ограничениями или специальными мероприятиями). Земли, степень деградации которых является очень высокой, относятся к деградированным землям.

Распространение дефлированных почв. Развитие процессов ветровой эрозии наиболее характерно для пахотных земель, т. к. на луговых землях, покрытых в течение всего года растительностью, перенос почвенных частиц ветром практически отсутствует. По данным почвенного обследования, в Беларуси дефляции почв подвержено 82,7 тыс. га земель. Площадь дефлированных почв на пахотных землях составляет 65,0 тыс. га (78,6 %), на луговых землях – 17,7 тыс. га (21,4 %). В составе почв, подверженных дефляции, слабдефлированные почвы занимают 87,5 %, среднедефлированные – 11,7 %, сильнодефлированные почвы – 0,8 % (рисунок 1).

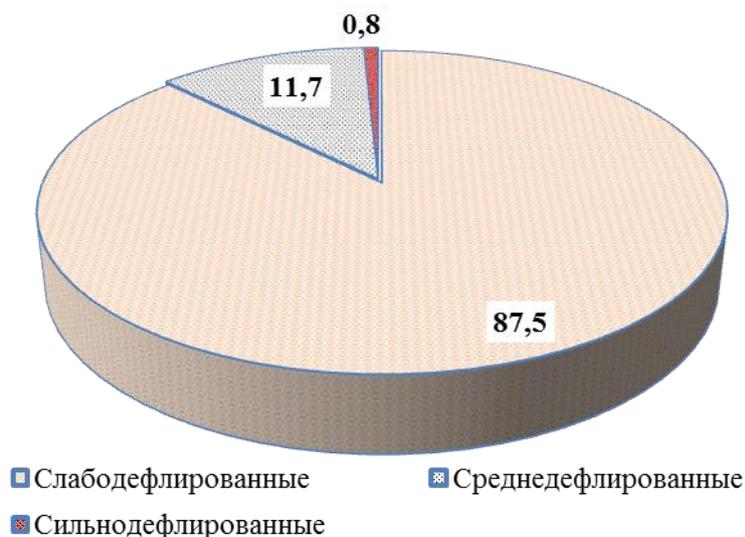


Рисунок 1 – Удельный вес почв разной степени дефлированности, % от общей площади почв, подверженных дефляции

Площади и удельный вес почв, подверженных дефляционным процессам, изменяются от 2,7–4,2 тыс. га (0,4–0,5 % в составе пахотных земель) в Витебской и Могилевской областях до 21,3–21,8 тыс. га (1,9–2,9 % в составе пахотных земель) в Гомельской, Гродненской и Минской областях (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение дефлированных почв по областям Беларуси

Область	Всего пахотных земель, тыс. га	Подвержено дефляции почв	
		тыс. га	%
Брестская	725,9	11,3	1,6
Витебская	769,5	4,2	0,5
Гомельская	852,6	21,8	2,6
Гродненская	738,2	21,3	2,9
Минская	1 152,8	21,4	1,9
Могилевская	744,7	2,7	0,4
Всего по Беларуси	4 984,8	82,7	1,7

Группировка районов по удельному весу дефлированных почв на пахотных землях показала, что к первой группе (менее 1 % дефлированных почв) относится 66 районов, ко второй (1,1–2 %) – 27 районов, к третьей (2,1–4,0 %) – 14 районов, к четвертой (4,1–6 %) – 9 районов. Пятая группа (более 6 % дефлированных почв) включает всего три района: Пружанский (6,1 %), Светлогорский (6,8 %) и Стародорожский (8,2 %) (рисунок 2).

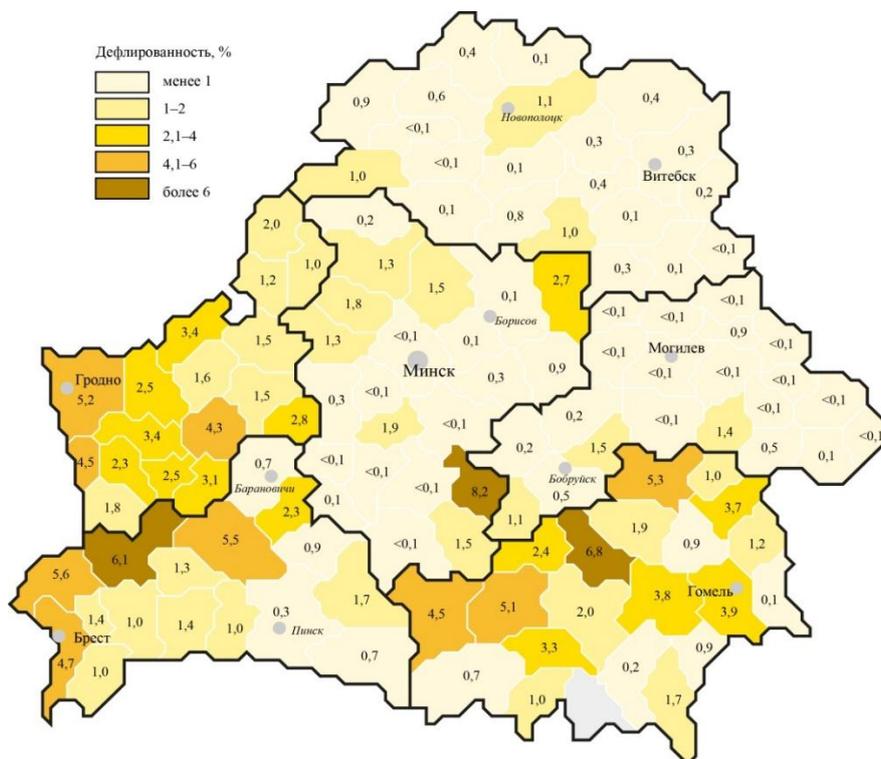


Рисунок 2 – Группировка районов по удельному весу дефлированных почв в составе пахотных земель, %

Заклучение

Представлен анализ существующих подходов и диагностических критериев определения дефлированности почв. Основные генетические типы почв Беларуси в за-

висимости от степени разрушения верхних горизонтов под действием ветра делятся на слабо-, средне- и сильнодефлированные.

В природоохранной деятельности с целью выявления, оценки и учета деградированных земель критериями степени их деградации в результате дефляции почв являются уменьшение мощности плодородного слоя почвы и появление (увеличение) мощности абиотического (неплодородного) наноса.

По данным почвенного обследования, в Беларуси дефляции почв подвержено 82,7 тыс. га сельскохозяйственных земель. В составе почв, подверженных дефляции, слабодефлированные почвы занимают 87,5 %, среднедефлированные – 11,7 %, сильнодефлированные почвы – 0,8 %. Удельный вес почв, подверженных дефляционным процессам, в составе пахотных земель изменяются от 0,4–0,5 % в Витебской и Могилевской областях до 1,9–2,9 % в Гомельской, Гродненской и Минской областях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии : в 2 т. / редкол.: Э. Н. Молчанов (отв. ред.) [и др.]. – М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. – Т. 1 : Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий : монография. – 756 с.

2. The state of food and agriculture // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, 2012. – 166 p.

3. Землепользование России в условиях изменения глобального климата и беспрецедентных социально-экономических вызовов: состояние почвенного (земельного) покрова, тенденции изменения, деградация, методология учета, прогнозы / под ред. Р. С.-Х. Эдельгериева, А. В. Гордеева, А. Л. Иванова. – М. : Изд-во МБА, 2022. – 100 с.

4. Черныш, А. Ф. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка / А. Ф. Черныш // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2 (57). – С. 7–18.

5. Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : практ. пособие / В. В. Лапа [и др.] ; под общ. ред. В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.

6. Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года / В. М. Байчоров [и др.] ; под общ. ред. В. С. Хомича. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 332 с.

7. Ларионов, Г. А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки / Г. А. Ларионов. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 200 с.

8. Эрозионная деградация почв Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 2 (117). – С. 19–26.

9. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.

10. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.] ; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 170 с.

11. Почвенное обследование земель и создание, обновление почвенных карт. Порядок и технология работ : ТКП 651-2020 (33520). – Введ. 01.07.20. – Минск : Госкомимущество, 2020. – 66 с.

12. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Порядок выполнения работ по определению деградации земель (почв). Общие положения : ТКП 17.03-05-2018 (33140). – Введ. 11.01. 2018. – Минск : Минприроды, 2018. – 18 с.

REFERENCES

1. Nauchnyje osnovy priedotvrashchienija diegradacii pochv (ziemiel') siel'sko-khoziajstviennykh ugodij Rossii i formirovanija sistem vosproizvodstva ikh plodorodija v adaptivno-landshaftnom ziemliedielii : v 2 t. / riedkol.: E. N. Molchanov (otv. ried.) [i dr.]. – M. : Pochv. in-t im. V. V. Dokuchajeva Rossiel'khozakadiemii, 2013. – T. 1: Tieorietichieskije i mietodichieskije osnovy priedotvrashchienija diegradacii pochv (ziemiel') siel'skokhoziajstviennykh ugodij : monografija. – 756 s.

2. The state of food and agriculture // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, 2012. – 166 p.

3. Ziemiropol'zovanie Rossii v uslovijakh izmienienija global'nogo klimata i biespriedientnykh social'no-ekonomichieskikh vyzovov: sostojanije pochviennogo (ziemiel'nogo) pokrova, tendencii izmienienija, diegradacija, mietodologija uchiota, prognozy / pod ried. R. S.-Kh. Edel'gierijeva, A. V. Gordiejeva, A. L. Ivanova. – M. : Izd-vo MBA, 2022. – 100 s.

4. Diegradacija pochv siel'skokochoziajstviennykh ziemiel' Bielarusi: vidy i kolichiestviennaja ocenka / A. F. Chiernysh [i dr.] // Pochvoviedienije i agrokhimija. – 2016. – № 2 (57). – S. 7–18.

5. Osushennyje torfianyje i diegrotorfianyje pochvy v sostavie siel'skokhoziajstviennykh ziemiel' Riespubliki Bielarus' : prakt. posobije / V. V. Lapa [i dr.] ; pod obshch. ried. V. V. Lapy ; In-t pochvoviedienija i agrokhimii. – Minsk : IVC Minfina, 2018. – 215 s.

6. Prognoz sostojanija prirodnoj sriedy Bielarusi na pieriod do 2035 goda / V. M. Bajchorov [i dr.] ; pod obshch. ried. V. S. Khomicha ; Nac. akad. nauk Bielarusi [i dr.]. – Minsk : Bielarus. navuka, 2022. – 332 s.

7. Larionov, G. A. Eroziya i diefliacija pochv: osnovnyje zakonomiernosti i kolichiestviennyje ocenki / G. A. Larionov. – M. : Izd-vo MGU, 1993. – 200 s.

8. Eroziionnaja diegradacija pochv Bielarusi / N. N. Cybul'ko [i dr.] // Ziemiiedielije i zashchita rastienij. – 2018. – № 2 (117). – S. 19–26.

9. Pochvy Riespubliki Bielarus' / V. V. Lapa [i dr.] ; pod ried. V. V. Lapy. – Minsk : IVC Minfina, 2019. – 632 s.

10. Atlas pochv siel'skokochoziajstviennykh ziemiel' Riespubliki Bielarus' / V. V. Lapa [i dr.] ; pod obshch. ried. V. V. Lapa, A. F. Chiernysa. – Minsk : In-t pochvoviedienija i agrokhimii, 2017. – 170 s.

11. Pochviennoje obsliedovanie ziemiel' i sozdanie, obnovlienije pochviennykh kart. Poriadok i tiekhnologija rabot : ТКР 651-2020 (33520). Vvied. 01.07.20. – Minsk : Goskomimushchiestvo, 2020. – 66 s.

12. Okhrana okruzhajushchiej sriedy i prirodopol'zovanie. Ziemi. Poriadok vypolnie-nija rabot po opriedielieniju diegradacii ziemiel' (pochv). Obshchije polozhenija : ТКР 17.03-05-2018 (33140). Vvied. 11.01. 2018. – Minsk : Minprirody, 2018. – 18 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 26.01.2024

УДК 579.25

Юй Чао¹, Алексей Викторович Лагодич²¹соискатель 5-го года обучения каф. генетики
Белорусского государственного университета²канд. биол. наук, доц., доц. каф. генетики Белорусского государственного университета**Yu Chao¹, Aliaksei Lahodzich²**

5th Year Applicant of the Department of Genetics of Belarusian State University

²Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Genetics of Belarusian State University

e-mail: ¹cygoodluck1989@gmail.com; ²LagodichAV@bsu.by

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ШИКИМОВОЙ КИСЛОТЫ БАКТЕРИЯМИ *BACILLUS SUBTILIS* С ИНАКТИВИРОВАННЫМ ГЕНОМ ШИКИМАТКИНАЗЫ

В результате выполнения настоящего исследования у штаммов бактерий с инактивированным геном шикиматкиназы *B. subtilis* 168wt21CSA и *B. subtilis* 5434p4SA была произведена оценка эффективности синтеза шикимовой кислоты в зависимости от условий культивирования и состава питательной среды. В условиях прерывистого культивирования оценен вклад влияния концентраций источника углерода (глюкозы) и концентраций аминокислот на титр шикимовой кислоты в ферментационной среде. Продемонстрировано, что в проанализированном диапазоне концентраций источника углерода биомасса бактерий и выработка шикимовой кислоты прямо пропорциональны внесённому количеству глюкозы. L-Phe, L-Trp и L-Tyr как конечные продукты пути метаболизма шикимовой кислоты при более высокой концентрации могут оказывать ингибирующее действие на продукцию шикимовой кислоты, вероятно, по принципу ретроингибирования. Эти результаты позволили подобрать условия для синтеза шикимовой кислоты (2 % глюкозы и 12,5 мкг/мл аминокислот), позволяющие увеличить ее содержание в культуральной среде до 808 мкг/мл для штамма *B. subtilis* 168wt21CSA и до 1385 мкг/мл для штамма *B. subtilis* 5434p4SA.

Ключевые слова: шикимовая кислота, шикиматный путь, оптимизация состава ферментационной среды, концентрация аминокислот, концентрация глюкозы, ретроингибирование.

Features of Shikimic Acid Synthesis by B. Subtilis Strains with Inactive Gene of Shikimate Kinase

In this work, the effectiveness of the synthesis of shikimic acid was evaluated in bacterial strains with the inactivated shikimate kinase gene *B. subtilis* 168wt21CSA and *B. subtilis* 5434p4SA, depending on the cultivation conditions and the composition of the nutrient medium. Through experimental comparison, it is found that within a suitable range, the concentration of carbon source (glucose) is directly proportional to the growth of bacteria and the production of shikimic acid. L-Phe, L-Trp and L-Tyr are the terminal products of the shikimic acid metabolism pathway, which at a higher concentration can feedback inhibit the production of shikimic acid. These results demonstrate that flask cultivations of the derivative strains with inactivated shikimate kinase gene *B. subtilis* 168wt21CSA and *B. subtilis* 5434p4SA in the optimized fermentation (2 % glucose and 12,5 μg/ml amino acid) respectively leads to the maximal accumulation of SA increased to 808 μg/ml and 1385 μg/ml.

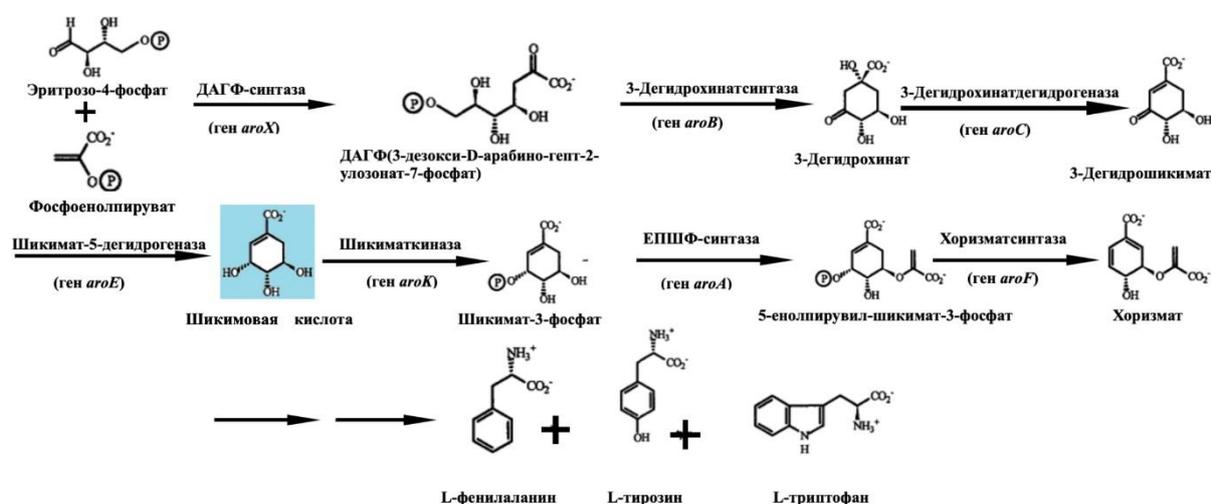
Key words: shikimic acid, shikimic acid metabolic pathway, optimization of the composition of the fermentation medium, amino acid concentration, glucose concentration, feedback inhibition.

Введение

Шикимовая кислота благодаря хиральным свойствам является ключевым элементом при синтезе ингибитора нейраминидазы, используемого в качестве основного компонента противовирусного препарата Осельтамивир [1]. Она является промежуточным продуктом пути биосинтеза ароматических аминокислот (L-Phe, L-Trp и L-Tyr) у микроорганизмов и растений, также у многих растений участвует в синтезе алкалоидов [2; 3].

Основным источником получения шикимовой кислоты являются химический синтез и экстракция из плодов бадьяна настоящего (*Illicium verum* Hook.f.), но эти процессы дороги и сложны в технологическом плане и не всегда обеспечивают высокий выход целевого продукта [4]. Во время пандемии свиного гриппа именно высокая стоимость и нехватка исходного сырья являлись основными причинами недостаточного

количества требуемых лекарственных препаратов [5; 6]. В качестве альтернативного источника получения шикимовой кислоты все чаще рассматриваются процессы, основанные на микробном синтезе, и в последние годы им уделяют все большее внимания. Подходы по модификации шикиматного пути были описаны в [7–14], и они оказались весьма рентабельны при использовании модифицированных штаммов бактерий *E. coli* и позволили существенно повысить выход целевого продукта [9–12]. Однако путь синтеза шикимовой кислоты хорошо исследован не только у *E. coli*, и соответственно, такие знания могут быть использованы для успешной коррекции метаболических путей и биосинтеза целевых продуктов и у других организмов [13; 14]. Для получения продуцентов шикимовой кислоты можно использовать перспективные в биотехнологическом плане бактерии *B. subtilis*, которые обладают статусом GRAS (Generally Recognized As Safe) [15], что в дальнейшем может упростит процедуру выделения и очистки целевых продуктов.



Примечание – На рисунке указаны гены, кодирующие ферменты шикиматного пути [10].

Рисунок 1 – Шикиматный путь у *B. subtilis*

Общая схема шикиматного пути у *B. subtilis* представлена на рисунке 1 [10]. Начинается путь с образования 3-деокси-D-арабиногептулозонат-7-фосфата (ДАГФ), которое катализируется продуктом гена *aroA* – ферментом ДАГФ-синтазой. Образующийся ДАГФ в результате трех ферментативных реакций превращается в шикимовую кислоту. В свою очередь, шикимовая кислота далее под действием продукта гена *aroK* – фермента шикиматкиназы – превращается в шикимат-3-фосфат. Далее шикимат-3-фосфат превращается в хоризмат и через ряд реакций используется для синтеза ароматических аминокислот и других продуктов ароматического пути.

Материалы и методы исследований

Бактериальные штаммы и плазмиды. В работе использовали штаммы *B. subtilis*: 168wt (прототроф, ревертант, дикий фенотип) и ВКПМ 5434 (характеризующийся повышенным уровнем синтеза триптофана) и их производные, полученные путем гомологичной рекомбинации, приведшей к инактивации гена шикиматкиназы 168wt21CSA и 5434p4SA [16].

Параметры культивирования в ферментационной среде и пробоподготовка для ВЭЖХ. Бактериальные штаммы культивировали в бульоне LB при 37 °C и 200 об/мин. в течение 14–16 ч. В качестве инокулята использовали культуральный

бульон. Вносили 10 %–20 % об. инокулята в 5–50 мл ферментативного бульона (минимальная среда Spizizen: 0,5 %–2 % глюкозы; 1,4 % K_2HPO_4 ; 0,6 % KH_2PO_4 ; 0,072 % безводного $MgSO_4$; 0,2 % $(NH_4)_2SO_4$; 0,19 % цитрата натрия-2H₂O [17] с 12,5–50 мкг/мл тирозина, 12,5 мкг/мл–50 мкг/мл триптофана, 12,5 мкг/мл–50 мкг/мл фенилаланина и 0,5 %–2 % глюкозы). После внесения инокулята бактерии культивировали при 37 °С, 200 об/мин. в течение 72–96 ч.

По истечении 72–96 ч. культивирования бактериальные клетки осаждали центрифугированием при 10 000 об/мин. в течение 15 мин. на центрифуге *Thermo Scientific® Heraeus Fresco*. Супернатант отбирали, определяли его объем и использовали для последующего определения содержания шикимовой кислоты; полученную бактериальную суспензию использовали для прямого определения количества биомассы. Отобранный супернатант пропускали через фильтр 0,45 мкм *CHROMAFIL®Xtra PES-45/25*. Для ВЭЖХ объем инъекции составлял 5 мкл, инъекции проводили трижды.

Определение оптической плотности бактериальной культуры проводили при длине волны 600 нм против стерильной среды культивирования. Показания прибора для каждой пробы снимали три раза. Измерения осуществляли на спектрофотометре Carry 60 (*Agilent Technologies*), используя программу Cary Win UV / Simple Reads.

Подготовка стандарта шикимовой кислоты для ВЭЖХ-анализа. Образец стандарта шикимовой кислоты растворяли в метаноле до концентрации 2 мг/мл. Полученный раствор отфильтровывали с помощью шприцевого бактериального фильтра 0,45 мкм *CHROMAFIL®Xtra PES-45/25*. Для работы использовали трехкратные инъекции по 5 мкл, согласно [18; 19].

Количественный анализ шикимовой кислоты методом ВЭЖХ. Рост клеток контролировали путем измерения оптической плотности при длине волны 600 нм (OP_{600}) с помощью УФ спектрофотометра Carry 60, используя программу Cary Win UV / Simple Reads.

Сырую биомассу клеток, полученных в ферментационной среде, определяли как прямым методом (осаждение, промывка, взвешивание), так и с использованием калибровочной кривой зависимости величины OP_{600} от биомассы и количества клеток.

Супернатанты анализировали с помощью ВЭЖХ на хроматографе LCMS-2020 (*Shimadzu*, Япония) с использованием колонки Allure C18 (4,6 мм × 150 мм, размер частиц сорбента 5 мкм) и детектора на основе фотодиодной матрицы SPD-M20A (*Shimadzu*, Япония). Разделение веществ проводили градиентным элюированием при температуре колонки 40 °С и скорости потока 0,5 мл/мин. на протяжении 20 мин.

На основании анализа собственных результатов [16] и протоколов, представленных в работах [10; 18; 19], были изменены условия градиента мобильной фазы. Исходные и модифицированные условия представлены в таблицах 1 и 2 соответственно, что позволило повысить чувствительность метода. Обнаружение и измерение концентрации шикимовой кислоты проводили при длине волны 210 нм с помощью детектора на основе фотодиодной матрицы SPD-M20A, как описано в работах [10; 16; 18; 19].

Таблица 1 – Условия хроматографического разделения, %

Время, мин	H ₂ O	Метанол	1 %-ная муравьиная кислота
0–12	88–80	2–10	10
12–13	80–0	10–90	10
13–15	0	90	10
15–20	88	2	10

Примечание – стандарт шикимовой кислоты элюировался на 2,9 минуте [10; 16; 18; 19].

Таблица 2 – Модифицированные условия хроматографического разделения, %

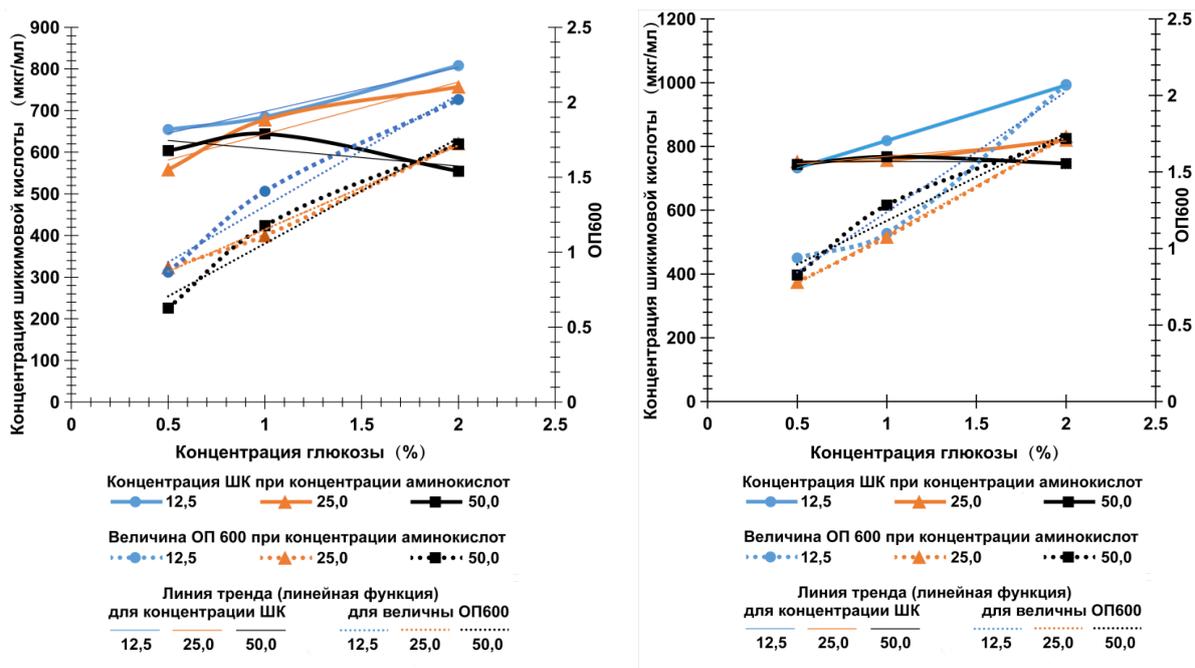
Время, мин.	H ₂ O	Метанол	1 %-ная муравьиная кислота
0–12	97–92	2–7	1
12–13	92–4	7–95	1
13–15	4	95	1
15–20	97	2	1

Примечание – стандарт шикимовой кислоты элюировался на 2,7 минуте.

Результаты и их обсуждение

Оценка влияния концентрации источника углерода (глюкозы) на выход шикимовой кислоты. В серии экспериментов мы определяли эффективную концентрацию глюкозы как предпочтительного источника углерода и энергии для синтеза шикимовой кислоты мутагенизированными штаммами *B. subtilis* 168wt21CSA и 5434p4SA.

Вариациям подвергались исходная концентрация глюкозы и ароматических кислот в ферментационной среде, объемная доля инокулята и время культивирования. На рисунках 2–6 отражена информация об эффективности накопления шикимовой кислоты в культуральной жидкости в зависимости от состава среды и параметров культивирования.



(А) *B. subtilis* 168wt21CSA

(Б) *B. subtilis* 5434p4SA

Рисунок 2 – Влияние концентрации источника углерода на рост бактерий и выход шикимовой кислоты у штаммов (А) *B. subtilis* 168wt21CSA и (Б) *B. subtilis* 5434p4SA

(объемная доля инокулята 10 %; 72 ч.; 200 об/мин., φ = 20 мм 37 °С)

Как видно из линий тренда, представленных на рисунке 2, для штаммов *B. subtilis* 168wt21CSA и 5434p4SA при следующих условиях культивирования (37 °С, 10 % инокулята, ферментация 72 ч) характерна прямая линейная зависимость оптической плотности культуры от концентрации глюкозы. То есть при одинаковых параметрах концентраций аминокислот в ферментационной среде биомасса бактерий (прирост оптичес-

ской плотности) увеличивалась с увеличением концентрации глюкозы и прямо пропорциональна концентрации глюкозы в ферментационной среде в пределах изучаемого диапазона (0,5–2,0 %). Таким образом, при концентрации глюкозы 2,0 % клетки достигли максимальной оптической плотности (рисунок 2).

При условии концентрации аминокислот 12,5–25 мкг/мл в диапазоне концентраций глюкозы 0,5–2,0 %, концентрация шикимата в ферментационной среде увеличивалась по мере увеличения концентрации глюкозы, и была прямо пропорциональна концентрации глюкозы. Однако, согласно данным рисунка 2, при условии начальной концентрации аминокислот в 50 мкг/мл в диапазоне изученных концентраций глюкозы в ферментационной среде оптимальной для выхода шикимовой кислоты является концентрация глюкозы в 1,0 %. При концентрации глюкозы в 1,0 % были достигнуты максимальные значения концентраций шикимата в ферментационной среде; при превышении этого значения выход шикимовой кислоты у штамма *B. subtilis* 168wt21CSA значительно снижался, а у штамма *B. subtilis* 5434p4SA снижался незначительно.

Наблюдаемые для штаммов *B. subtilis* 168wt21CSA и *B. subtilis* 5434p4SA закономерности могут быть объяснены следующим образом: глюкоза является источником углерода, необходимым для роста *B. subtilis*, и достаточное количество источника углерода способствует росту бактерий. Однако при наличии в среде ароматических аминокислот в высоких концентрациях (50 мкг/мл и более) может возникать выраженный эффект ретроингибирования. Штамм *B. subtilis* 5434p4SA является производным от штамма *B. subtilis* ВКПМ5434, обладающего способностью к сверхсинтезу триптофана, и унаследовал от него пониженную чувствительность ДАГФ-синтазы к ретроингибированию продуктами шикиматного пути [16]. Таким образом, регуляторные системы штамма *B. subtilis* 5434p4SA должны быть в меньшей степени подвержены ингибированию продуктами шикиматного пути и обеспечивать больший выход шикимовой кислоты по сравнению с интактной системой регуляции штамма *B. subtilis* 168wt21CSA, что мы и наблюдали на практике. При культивировании изучаемых штаммов в средах с концентрацией глюкозы 1 % и более и высоким содержанием ароматических аминокислот (50 мкг/мл и более) падение показателей накопления шикимовой кислоты в среде культивирования наблюдается для обоих штаммов *B. subtilis* 5434p4SA и *B. subtilis* 168wt21CSA, однако более выражено для штамма 168wt21CSA.

Оценка влияния начального содержания ароматических аминокислот в среде культивирования на эффективность синтеза шикимовой кислоты и ее накопление в культуральной среде. В штаммах *B. subtilis* 168wt21CSA и *B. subtilis* 5434p4SA ген шикиматкиназы (*aroK*) был инактивирован [16]. Такая инактивация блокирует возможность синтеза трех аминокислот, располагающихся в цепочке метаболических превращений после шикимат-3-фосфата, образуемого под действием шикиматкиназы (рисунок 1). То есть у штаммов *B. subtilis* 168wt21CSA и *B. subtilis* 5434p4SA шикимат не может выступать предшественником для синтеза ароматических аминокислот, и поэтому они были дополнительно введены в среду.

Далее в работе нами было изучено влияние различных концентраций этих аминокислот на эффективность накопления биомассы (контроль по оптической плотности) и накопление шикимата в среде культивирования штаммов *B. subtilis* 168wt21CSA и *B. subtilis* 5434p4SA.

Из линии тренда на рисунках 3(А) и 3(Б) видно: при постоянной концентрации глюкозы с изменением концентрации аминокислот в изучаемом диапазоне 12,5–50 мкг/мл значение оптической плотности клеток *B. subtilis* и продукции шикимовой кислоты уменьшались с увеличением концентрации аминокислот. То есть в этом случае мы наблюдаем обратную зависимость между исходной концентрацией аминокислот в среде культивирования и уровнем синтеза шикимовой кислоты. Также можно отметить,

что при концентрации конечных продуктов метаболического пути – триптофана, фенилаланина и тирозина, равной 50 мкг/мл, – наблюдается эффект ретроингибирования, выражающийся в уменьшении уровня синтеза шикимовой кислоты при наблюдаемой тенденции незначительного снижения биомассы клеток *B. subtilis*.

Так, в ферментационной среде у штамма *B. subtilis* 168wt21CSA (рисунок 3(А)), максимальная оптическая плотность (ОП₆₀₀ = 2,02) и титр шикимата (807,96 мкг/мл) были получены при концентрации аминокислот 12,5 мкг/мл.

В ферментационной среде у штамма *B. subtilis* 5434p4SA при концентрации аминокислоты 12,5 мкг/мл (рисунок 3(Б)) накопление биомассы (оптическая плотность) достигали значений ОП₆₀₀ = 2,07 при титре шикимата в 992,01 мкг/мл. Повышение концентраций аминокислот выше этого уровня демонстрировало проявление ингибирующего эффекта.

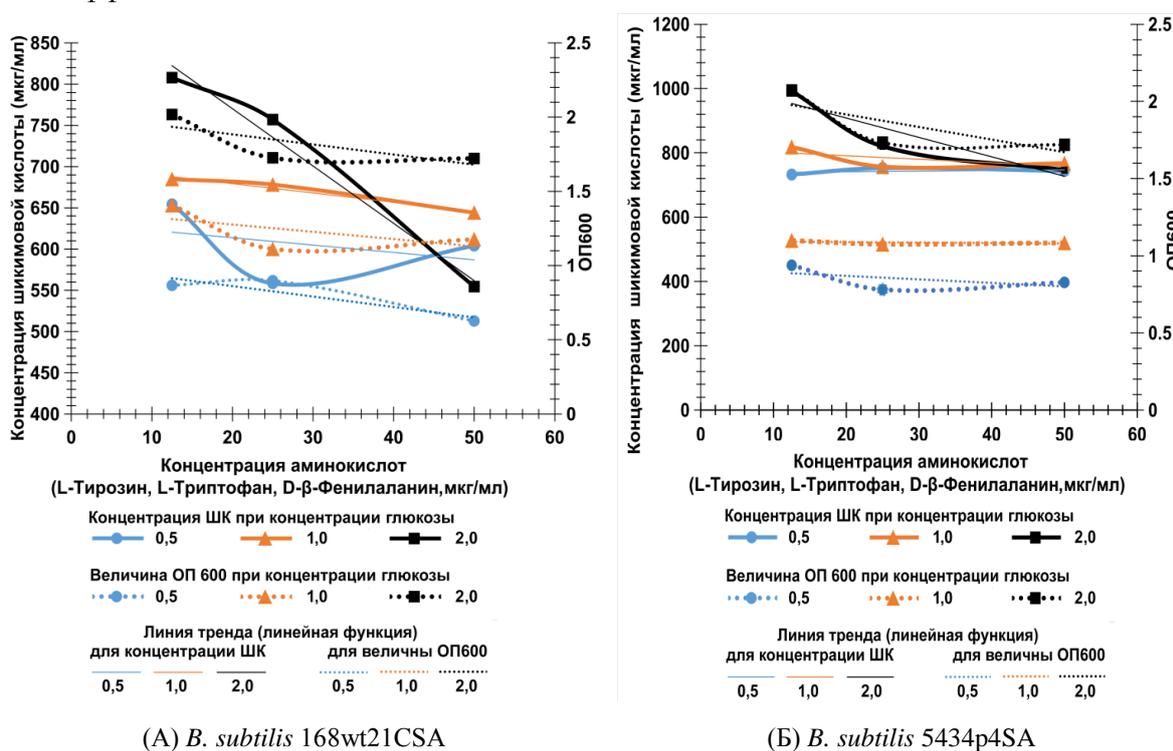


Рисунок 3 – Влияние концентрации аминокислот на рост бактерий и выход шикимовой кислоты у штаммов (А) *B. subtilis* 168wt21CSA и (Б) *B. subtilis* 5434p4SA (объемная доля инокулята 10 %; 72 ч.; 200 об/мин., φ = 20 мм 37 °С)

Таким образом, анализ данных, приведенных на рисунках 3(А) и 3(Б), показывает, что биомасса бактерий и выход шикимовой кислоты обратно пропорциональны концентрации ароматических аминокислот в ферментационной среде. Объяснить наблюдаемое явление можно как проявление ретроингибирования, и наиболее вероятно, что именно такой эффект на ДАГФ-синтазу оказывают высокие концентрации вводимых аминокислот, которые являются более поздними интермедиатами шикиматного пути. Чем выше концентрация в среде поздних метаболитов шикиматного пути (L-тирозина, L-триптофана, D-β-фенилаланина), тем ниже выход шикимовой кислоты.

Основываясь на закономерностях, продемонстрированных на рисунках 2 и 3, можно сделать вывод, что чем выше концентрация глюкозы (в изученном диапазоне 0,5–2,0 %) и меньше концентрация аминокислот (в диапазоне 12,5–50 мкг/мл), тем выше значение оптической плотности культуры и выход шикимовой кислоты. Таким образом, при концентрации глюкозы 2 % и концентрации аминокислот 12,5 мкг/мл значе-

ние оптической плотности и выход шикимовой кислоты у штаммов *B. subtilis* 168wt21CSA и 5434p4SA должны быть наиболее высокими, что мы и наблюдаем. Так, для штамма *B. subtilis* 168wt21CSA выход шикимовой кислоты составил 807,96 мкг/мл, а для штамма *B. subtilis* 5434p4SA – 992,01 мкг/мл.

Оценка влияния накопления бактериальной массы (эффективность роста, контроль по оптической плотности) на выход шикимовой кислоты. Данные, представленные на рисунках 2 и 3, демонстрируют положительную корреляцию между ростом бактериальной культуры (контроль по ОП₆₀₀) и выходом шикимовой кислоты. Чтобы найти оптимальное время ферментации и достичь цели по оптимизации условий для увеличения выхода шикимовой кислоты, мы культивировали исходные штаммы *B. subtilis* 168wt, ВКПМ 5434 и полученные на их основе производные 168wt21CSA и 5434p4SA в ферментационной среде (минимальная среда Spizizen с концентрацией аминокислот 12,5 мкг/мл и 2,0 % глюкозы) в течение 96 часов. Измерение оптической плотности среды проводили сразу после внесения инокулята и далее через 2, 4, 6, 8, 24, 48, 72 и 96 ч культивирования (рисунок 4).

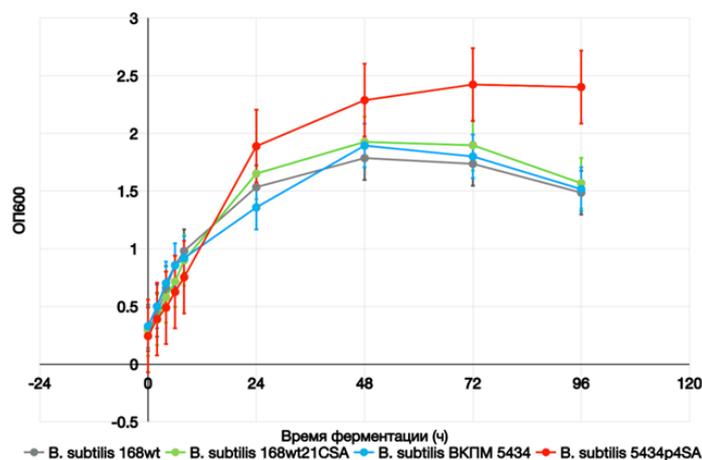
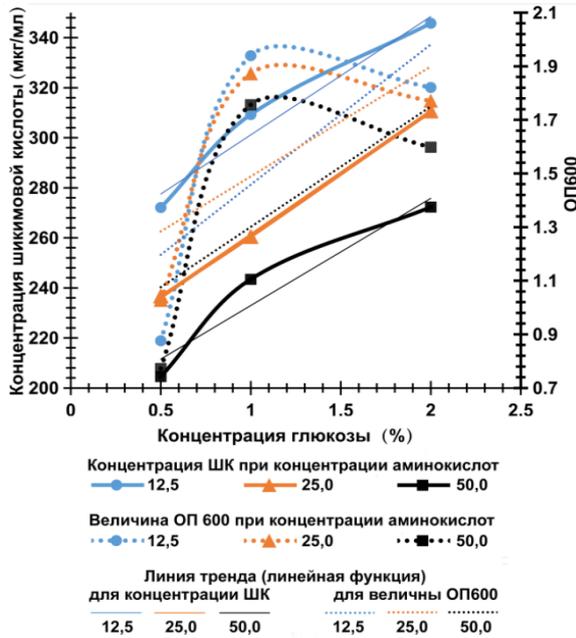


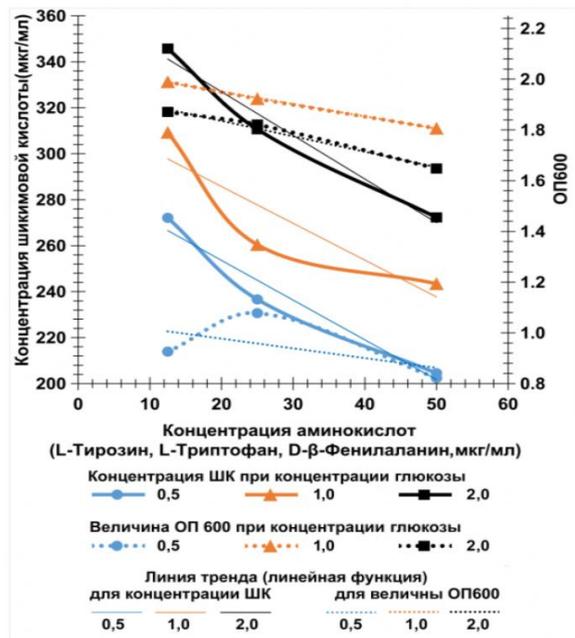
Рисунок 4 – Изменение оптической плотности культуры клеток от времени культивирования (объемная доля инокулята 10 %; 96 ч.; 200 об/мин., φ = 20 мм, 37 °С)

Анализ кривых роста, представленных на рисунке 4, позволил заключить, что для исходных штаммов *B. subtilis* 168wt, ВКПМ 5434 и производного 168wt21CSA характерно достижение наибольших значений оптической плотности после 48 ч культивирования с характерным выходом на плато и последующим снижением вследствие старения культуры. Для штамма *B. subtilis* 5434p4SA характерны несколько иные физиологические особенности, заключающиеся в более продолжительном адаптационном периоде, сменяющемся эффективным ростом. Наибольшие значения оптической плотности и, следовательно, прирост биомассы для этого штамма наблюдали после 72–96 ч культивирования. Следует отметить, что высокий показатель оптической плотности для этого штамма сохранялся и на 5–6-е сут. периодического культивирования, тогда как для других штаммов показатель оптической плотности культуры на этих сроках значительно снижался (данные на рисунке 4 не представлены).

Так как была отмечена положительная корреляция между приростом биомассы и выходом шикимовой кислоты, для следующей серии экспериментов был выбран штамм *B. subtilis* 5434p4SA, как обладающий наилучшими показателями роста в ферментационной среде. В следующей серии экспериментов наряду с оценкой вклада содержания в среде источника углерода и аминокислот на выход шикимовой кислоты оценивался и вклад условий культивирования, а именно количества внесенного инокулята и продолжительность культивирования (рисунки 5 и 6).

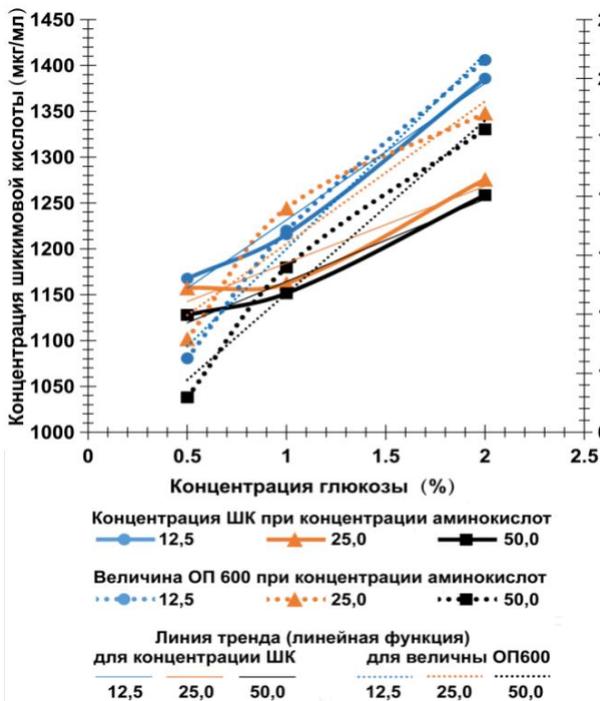


(А) Влияние концентрации источника углерода на рост бактерий и выход шикимовой кислоты

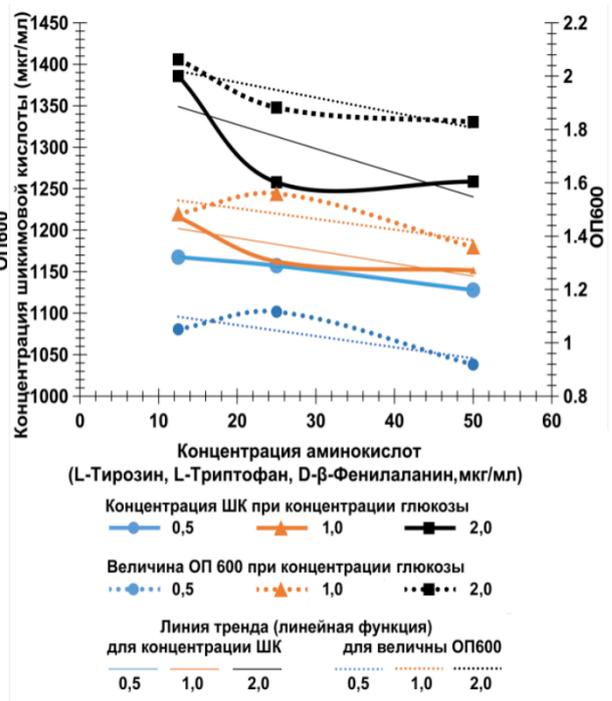


(Б) Влияние концентрации аминокислот на рост бактерий и выход шикимовой кислоты

Рисунок 5 – Зависимость эффективности роста бактерий и накопления шикимовой кислоты в культуральной жидкости от состава ферментационной среды и параметров культивирования штамма *B. subtilis* 5434p4SA (объемная доля инокулята 5 %; 48 ч.; 200 об/мин, φ = 20 мм, 37 °С)



(А) Влияние концентрации источника углерода на рост бактерий и выход шикимовой кислоты



(Б) Влияние концентрации аминокислот на рост бактерий и выход шикимовой кислоты

Рисунок 6 – Зависимость эффективности роста бактерий и накопления шикимовой кислоты в культуральной жидкости от состава ферментационной среды и параметров культивирования у *B. subtilis* 5434p4SA (Объемная доля инокулята 20 %; 72 ч.; 200 об/мин., φ = 20 мм, 37 °С)

Как видно из данных, представленных на рисунках 5 и 6, помимо состава среды существенный вклад на выход шикимата оказывает как время культивирования, так и способ получения биомассы в среде культивирования. Так, при использовании небольших количеств инокулята (объемная доля инокулята 5 %; 48 ч.; 200 об/мин., $\varphi = 20$ мм, 37 °С) максимальное значение оптической плотности культуры штамма *B. subtilis* 5434p4SA составило 1,94, однако выход шикимовой кислоты значительно сократился и составил 345,74 мкг/мл. При увеличении количества вносимой биомассы бактерий в среду культивирования (объемная доля инокулята 20 %; 72 ч.; 200 об/мин., $\varphi = 20$ мм, 37 °С) максимальное значение оптической плотности культуры штамма *B. subtilis* 5434p4SA составило 2,02, а выход шикимовой кислоты превысил получаемые ранее значения и составил 1385,78 мкг/мл.

Результаты, представленные на рисунках 5 и 6, свидетельствуют об эффективности предложенных условий культивирования для увеличения выхода шикимовой кислоты. Также можно предположить, что, вероятно, наиболее рациональными будут процессы культивирования, направленные на снижение потребления ресурсов среды для обеспечения ростовых показателей штамма, т. к. последние эксперименты демонстрируют, что эффективность синтеза шикимовой кислоты напрямую зависит от количества внесенной биомассы штамма-продуцента.

Таким образом, в серии экспериментов, направленных на оптимизацию условий культивирования полученного нами штамма *B. subtilis* 5434p4SA – продуцента шикимовой кислоты, нам удалось подобрать условия культивирования, обеспечивающие выход шикимовой кислоты на конкурентоспособном уровне.

В условиях периодического культивирования штамма *B. subtilis* 5434p4SA при соблюдении следующих параметров культивирования: объемная доля инокулята 20 %; периодичность – 72 ч.; 200 об/мин., $\varphi = 20$ мм, 37 °С, концентрация глюкозы – 2 %, ароматических аминокислот – 12,5 мкг/мл – количество шикимовой кислоты, выявляемой в культуральной среде, составляет 1385,79 мкг/мл.

Заклучение

В результате выполнения настоящей работы было продемонстрировано, что для штаммов *B. subtilis* 168wt21CSA и *B. subtilis* 5434p4SA с инактивированным геном шикиматкиназы характерен повышенный уровень синтеза шикимовой кислоты, способной накапливаться в культуральной среде. Путем прямого измерения концентрации шикимовой кислоты в среде культивирования осуществлена оценка эффективности использования различных условий культивирования полученных штаммов (продуцентов шикимовой кислоты) и определены оптимальные условия для ее синтеза. Обнаружено, что эффективность синтеза шикимовой кислоты в ферментационной среде находится в прямой зависимости от концентрации глюкозы в среде культивирования и количества внесенной биомассы бактерий и в обратной от концентрации в среде культивирования ароматических аминокислот. Для штамма *B. subtilis* 5434p4SA подобраны условия, позволяющие получить шикимовую кислоту в количестве 1385,79 мкг/мл культуральной среды в условиях периодического культивирования.

Авторы выражают глубокую благодарность Елене Олеговне Корик, доценту кафедры биохимии биологического факультета Белорусского государственного университета, за неоценимую помощь при проведении анализа методом ВЭЖХ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jennifer, L. Influenza neuraminidase inhibitors: antiviral action and mechanisms of resistance / L. Jennifer, B. McKimm // *Influenza Other Respir Viruses.* – 2013. – P. 25–36.

2. Bradley, D. Star role for bacteria in controlling flu pandemic / D. Bradley // *Nat Rev Drug Discov.* – 2005. – Vol. 4. – P. 945–946.
3. Liquidambar styraciflua: a renewable source of shikimic acid / L. B. Enrich [et al.] // *Tetrahedron Lett.* – 2008. – Vol. 49. – P. 2503–2505.
4. An interactive study of influential parameters for shikimic acid production using statistical approach, scale up and its inhibitory action on different lipases / G. Rawat [et al.] // *Bioresour Technol.* – 2013. – Vol. 144. – P. 675–679.
5. A natural isolate producing shikimic acid: isolation, identification and culture condition optimization / G. Rawat [et al.] // *Appl Biochem Biotechnol.* – 2013. – Vol. 169. – P. 2290–2302.
6. Rawat, G. Expanding horizons of shikimic acid: recent progresses in production and its endless frontiers in application and market trends / G. Rawat, P. Tripathi, R. K. Saxena // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2013. – Vol. 97. – P. 4277–4287.
7. Ghosh, S. Production of shikimic acid / S. Ghosh, Y. Chisti, U. C. Banerjee // *Bio-technol. Adv.* – 2012. – Vol. 30. – P. 1425–1431.
8. Kai, C. Deletion of the *aroK* gene is essential for high shikimic acid accumulation through the shikimate pathway in *E. coli* / C. Kai // *Bioresource Technology.* – 2012. – Vol. 119. – P. 141–147.
9. Metabolic engineering for the production of shikimic acid in an evolved *Escherichia coli* strain lacking the phosphoenolpyruvate: carbohydrate phosphotransferase system / A. Escalante [et al.] // *Microb Cell Fact.* – 2010. – Vol. 9, № 1. – P. 21–33.
10. Metabolic flux responses to genetic modification for shikimic acid production by *Bacillus subtilis* strains / D. F. Liu [et al.] // *Microbial Cell Factories.* – 2014. – Vol. 13, nr 1. – P. 40–51.
11. Deletion of the *aroK* gene is essential for high shikimic acid accumulation through the shikimate pathway in *E. coli* / K. Chen [et al.] // *Bioresour. Technol.* – 2012. – Vol. 119. – P. 141–147.
12. Metabolic engineering of *Escherichia coli* for improving shikimate synthesis from glucose / X. Chen [et al.] // *Bioresour Technol.* – 2014. – Vol. 166. – P. 64–71.
13. Metabolic engineering for microbial production of shikimic acid / M. Kramer [et al.] // *Metab. Eng.* – 2003. – Vol. 5. – P. 277–283.
14. Hydroaromatic equilibration during biosynthesis of shikimic acid / D. R. Knop [et al.] // *J. Am. Chem. Soc.* – 2001. – № 123. – P. 10173–10182.
15. US Food and Drug Administration. Carbohydrase and protease enzyme preparations derived from *Bacillus subtilis* or *Bacillus amyloliquefaciens* // *Affirmation of GRAS Status as direct food ingredients.* – 1999. – Vol. 64, nr 78. – P. 19887–18895.
16. Chao, Y. Analysis of the efficiency factors of electro-transformation of *Bacillus subtilis* to inactivate the *aroK* gene by the method of homologous recombination / Y. Chao, A. V. Lahodzich // *Journal of the Belarusian State University. Biology.* – 2021. – № 2. – P. 64–73.
17. Spizizen, J. Transfomtiom of biochemically deficient strains of *Bacillus subtilis* by deoxyribonucleate / J. Spizizen // *Pathology And Microbiology.* – 1958. – Vol. 44, nr 10. – P. 1072–1078. – DOI: 10.1073/pnas.44.10.1072
18. Extraction and chromatographic determination of shikimic acid in Chinese conifer needles with 1-benzyl-3-methylimidazolium bromide ionic liquid aqueous solutions / F. L. Chen [et al.] // *Journal Of Analytical Methods in Chemistry.* – 2014. – P. 12.
19. Çiğdem, A. Quantification of shikimic acid in the methanolic extracts of three alnus taxons growing in Turkey / A. Çiğdem, E. Ö. Burçin, L. A. Mehmet // *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences.* – 2016. – Vol. 13, nr 1. – P. 71–76.

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

УДК 364.122.5

*Максим Альбертович Богдасаров¹, Юлия Викторовна Богдасарова²,
Александр Александрович Волчек³, Владимир Викторович Таболин⁴*

*¹д-р геол.-минерал. наук, проф., член-корр. Национальной академии наук Беларуси,
проф. каф. городского и регионального развития*

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

*²магистр геогр. наук, аспирант 2-го года обучения каф. городского и регионального развития
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина*

³д-р геогр. наук, проф., проф. каф. природообустройства

Брестского государственного технического университета

⁴д-р юрид. наук, проф., проф. департамента публичного права

Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Maksim Bahdasarau¹, Yuliya Bahdasarava², Alexander Volchek³, Vladimir Tabolin⁴

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, 2-nd Year Postgraduate Student

of the Department of Urban and Regional Development

of Brest State A. S. Pushkin University

³Doctor of Geographical Sciences, Professor,

Professor of the Department of Environmental Engineering

of Brest State Technical University

⁴Doctor of Legal Sciences, Professor, Professor of the School of Public Law

of Higher School of Economics

e-mail: ¹bogdasarov73@mail.ru; ²bogdasarova81@icloud.com; ³volchak@tut.by; ⁴tabolin@mail.ru

ГОРОДСКАЯ СРЕДА И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ КАК КАТЕГОРИИ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрены различные научные подходы к понятиям «городская среда» и «качество жизни», показан их междисциплинарный характер, с исследовательских позиций выделены критерии оценки городской среды и качества жизни населения современного города, сформулированы основные цели формирования индекса качества городской среды и возможности ее моделирования, намечены важнейшие пути к построению универсальной модели управления городом.

Ключевые слова: *городская среда, качество жизни, критерии оценки, индекс качества.*

Urban Environment and Quality of Life as Categories of Interdisciplinary Research

Various scientific approaches to the concepts of «urban environment» and «quality of life» are considered, their interdisciplinary nature is shown, criteria for assessing the urban environment and the quality of life of the population of a modern city are highlighted from a research perspective, the main goals of forming an index of the quality of the urban environment and the possibilities of its modeling are outlined, the most important ways to build a universal model of city management.

Key words: *urban habitat, quality of life, assessment criteria, quality index.*

Введение

В общенаучном плане категория рассматривается как наиболее общее базовое понятие, выражающее сущностные характеристики и признаки определенных закономерностей, факторов и содержания знаний о тех или иных явлениях действительности. В данном случае нас будет интересовать междисциплинарное проявление таких сложных понятий, как «городская среда» и «качество жизни» горожан. Высокая степень как

актуальности, так и дискуссионности исследования этих понятий определяется широким использованием их не только в научной среде специалистов-урбанистов, но и в законодательстве, стратегическом планировании развития государства, критериях оценки управленческих результатов деятельности республиканских и местных органов власти.

Современное развитое государство – это прежде всего «городское государство». По данным ООН, начиная с 2007 г. более 50 % населения мира живет в городах, а к 2050 г. горожанами будут почти 70 % жителей Земли [1]. В Беларуси в городах проживает 79,5 % населения, в России – около 75 %. В первую очередь это «заметили» политики, поскольку электорат перестал быть смешанным (сельско-городским), а большинство активных избирателей стало горожанами. Эта тенденция невольно порождает ряд негативных последствий: стимулирование роста крупных, опорных в экономическом развитии, городов при определенной деградации сельских форм жизни населения, повышение плотности населения, приводящее к социальным и психологическим конфликтам, развитию экологических и ряда других проблем, что, в свою очередь, формирует вольное или невольное «урбанизирование» правотворчества и постоянной рост внимания всех ветвей власти к городским проблемам. Тем же тенденциям мы обязаны актуализации в последние два-три десятилетия естественно-научных и гуманитарных исследований городской среды с точки зрения качества жизни населения.

Как справедливо отмечал В. Л. Глазычев, характеристика современного города с целью повышения качества жизни горожан остро нуждается в интегральном научном знании. Требуется критический анализ обширного эмпирического материала для построения целостной картины взаимодействия исследовательского и проектного подходов к городу. Подход к городу с естественно-научных позиций, перенос на него представлений об объекте, оправдывающих себя в природоведении, и породили понятие «городская среда». Не просто город как плотно застроенная территория, но именно среда обитания, формируемая городом, – объект настоящих и будущих исследований [2].

Введенный в научный оборот американским экономистом Дж. К. Гэлбрэйтом в книге «Общество изобилия» (1958) [3] термин «качество жизни» в эпоху постиндустриального развития, нацеленного на поиск новых путей и возможностей повышения благосостояния населения, сообразно иерархической модели потребностей А. Маслоу [4], также стал рассматриваться как самостоятельная научная категория.

Методика исследования

Городская среда обитания человека формирует его отношение к городу и системе управления им. Она создается благодаря совместному действию абиотического, биотического и антропогенного факторов. Абиотические факторы сформированы неживой природой, биотические – живой природой, антропогенные – человеком. Городская среда обитания подлежит тщательному описанию, изучению и оценке с целью создания комплексной программы развития конкретной территории, направленной на удовлетворение потребностей населения и создания благоприятных условий его жизне-деятельности. Понятие «городская среда» является базовым для двух других:

1) способности городской среды удовлетворять объективные потребности и запросы жителей города в соответствии с общепринятыми в данный момент времени нормами и стандартами жизнедеятельности;

2) оценки качества городской среды, т. е. установления количественных значений ее качественных показателей, способных обеспечить сравнение с установленными критериями.

Понятие «качество жизни» географическими науками трактуется как интегральное явление, зависящее от многих факторов, в том числе: здоровья человека, социально-экономических, экологических, культурных и других условий его жизнедеятельно-

сти, а также от субъективного отношения индивида к различным сторонам своей жизни. В свою очередь, экологи считают необходимым отразить в определении важность влияния на качество жизни человека природных условий, благоприятной в экологическом плане среды обитания. Таким образом, изучение качества жизни должно представлять собой комплексную оценку процессов и факторов, его определяющих. При этом должны использоваться как статистические показатели, так и индикаторы, раскрывающие специфику качества жизни конкретного субъекта исследования, что позволит сравнивать качество жизни различных групп населения [5].

Применение общенаучных и специальных гуманитарных (социальных, правовых, экономических, политологических и др.) методов позволяет исследовать комплексную природу и содержание названных категорий с целью ясного и полного представления их как важных инструментов оценки жизнедеятельности населения с учетом разноплановых условий его существования, а также выявления объективной взаимосвязи между состоянием городской среды и качеством жизни.

Методологическая особенность данного исследования заключается также в междисциплинарном характере естественнонаучных и гуманитарных компетенций авторов.

Результаты и их обсуждение

Формирование теоретических основ исследования качества жизни было начато в 1960-е гг. в экономически развитых странах. Существенный вклад в определение сущности категории «качество жизни» как многогранного понятия современного общественного прогресса внесли известные зарубежные ученые: Р. Арон, Д. Белл, З. Бжезинский, А. Винер, Г. Кан, Г. Маркузе, А. Тойнби, Э. Фромм, Дж. Форрестер и др.

В СССР теоретические исследования в плане систематизации содержания и методологии оценки качества жизни стали проводиться в научных центрах и ведущих вузах страны с 1970-х гг. Проблемы экономической оценки уровня и качества жизни населения в разные периоды активно обсуждались видными советскими экономистами: С. А. Айвазяном, В. Ф. Безъязычным, И. В. Бестужевым-Ладой, Е. Ш. Гонтмахером, Р. С. Гринбергом, В. М. Жеребиным, Л. Г. Зубовым, В. С. Немчиновым, Н. М. Римащевой, В. М. Рутгайзером, А. И. Субетто и др. [6].

К сожалению, городская среда в этот период рассматривалась исключительно с архитектурно-градостроительной (урбанистической) точки зрения, поскольку объективные причины необходимости послевоенного восстановления более 1 700 советских городов требовали скорейшего создания хотя бы минимальных условий для жизни людей. Кроме того, длительное время первостепенной задачей государства было создание и развитие промышленных центров без серьезного учета экологических и социальных факторов городской среды.

Проблемность исследования названных категорий определяется еще и тем, что город как объект исследования в комплексе процессов жизнедеятельности практически непостижим в силу целого ряда причин:

1) сложность и разнообразие параметров и индикаторов состояния его социально-экономической, хозяйственно-коммунальной, общественно-политической и других сфер жизни;

2) вследствие воздействия на городскую среду антропогенных и социально-психологических факторов, находящихся в постоянной динамике, для их оценки часто можно говорить лишь о тенденциях формирования, развития, действия и взаимодействия;

3) сложно предсказуемое воздействие внешних по отношению к городу факторов регионального, национального и мирового характера, зависящих от места и роли города на этих уровнях жизнедеятельности;

4) разнообразие природно-климатических, геодемографических и экологических условий жизнедеятельности города, образующих индивидуальный ареал существования людей в данном месте;

5) индивидуальная историческая «судьба» каждого конкретного города, влияющая на его правовые, социальные, политические и экономические характеристики [7].

Тем не менее современный город с исследовательских позиций, по нашему мнению, может быть оценен на основе различных критериев, важнейшими из которых являются географический, территориально-демографический, политико-административный, экономический, социокультурный и социоструктурный.

Рассмотрим каждый из них подробнее:

- географический (с его помощью оценивается географическое положение города, природные условия, доступность основных транспортных узлов, таких как аэропорты, железнодорожные станции и автомагистрали, наличие пространства для расширения и развития, а также экологическая ситуация);

- территориально-демографический (оценивается комплексное состояние городского населения: количество, плотность, половозрастная структура, распределение по территории города, а также наличие и доступность жилья и объектов социальной инфраструктуры);

- политико-административный (оценивается степень управляемости города, централизованности его основных институтов, эффективность функционирования всех его систем и служб, четкость правил и законов, регулирующих его развитие);

- экономический (оценивается степень развитости городской экономики, обеспеченность рабочими местами жителей, инвестиционная привлекательность, доступ к рынкам и поставщикам товаров и услуг);

- социокультурный (оценивается инфраструктура, способствующая социальному развитию и благополучию его жителей – наличие музеев, театров, парков, спортивных комплексов и других объектов культуры и отдыха, которые привлекают людей и способствуют их социальной интеграции);

- социоструктурный (оценивается обеспеченность равных возможностей для жителей, независимо от их социального статуса, расы, пола или возраста, доступность жилья, образования, здравоохранения и социальной защиты для всех слоев населения).

По этим параметрам, интегрированным из различных статистических данных по достаточно сложным многоступенчатым формулам, становится возможным объективно оценить уровень и динамику социального развития как отдельных регионов, так и страны в целом (рисунок 1). Именно поэтому вполне обосновано и внимание ученых к проблемам качества жизни, ибо это тот фундамент, на котором основываются ключевые процессы как в политической, так и в социальной сфере. Этот показатель позволяет судить о большей или меньшей эффективности той или иной экономической модели, о качестве управленческой деятельности государства и о развитии общественных структур и институтов.

По мнению О. А. Ковынёвой и Б. И. Герасимова [5], отличительные особенности понятия «качество жизни» состоят в следующем:

- 1) оно является конечным интегральным показателем, в значительной степени характеризующим качество работы государственных органов управления всех уровней;

- 2) в состав определяющих его факторов входят как стратегические факторы развития общества, которые должны формировать и реализовывать государственные органы управления, так и тактические – конкретные показатели качества жизни, характеризующие эффективность реализации стратегических факторов;

3) категория «качество жизни» не является предметом какой-либо одной науки (например, философии, социологии или статистики), а относится к междисциплинарной науке при ведущей роли географии, экологии и экономики.

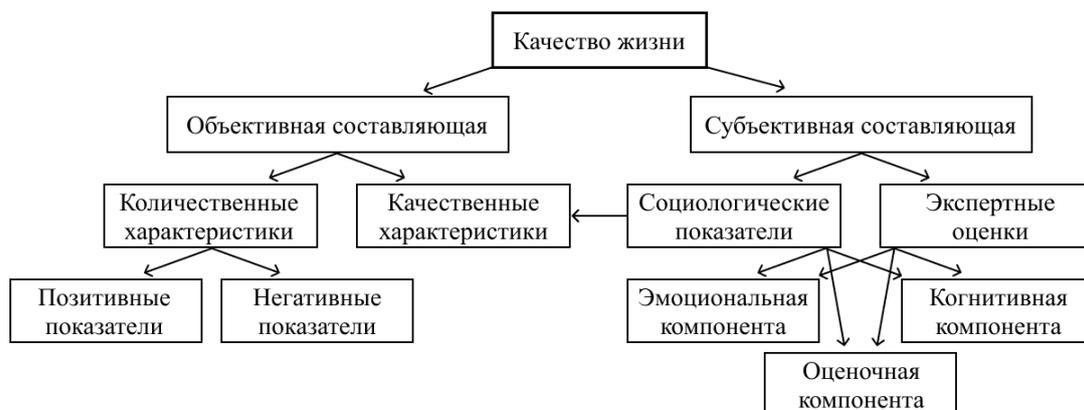


Рисунок 1 – Структура понятия «качество жизни» [8]

Нам же представляется, что с точки зрения содержания самого понятия «качество жизни» и его междисциплинарных гуманитарных характеристик процесс обеспечения качества жизни коренным образом связан с обеспечением жизнедеятельности в городе в целом. При этом действуют некоторые дополнительные и более значимые критерии (рисунок 2).

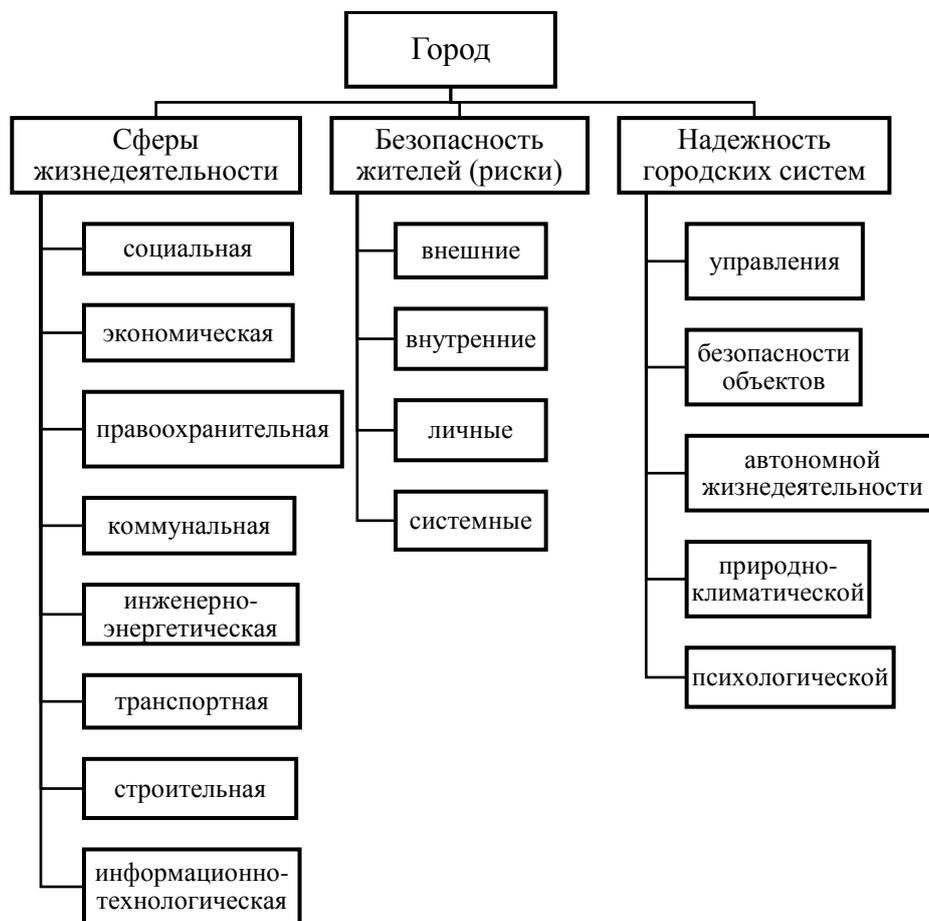


Рисунок 2 – Соотношение качества жизни с факторами жизнедеятельности города

Состояние структуры жизнедеятельности любого города определяется практически постоянным набором ее характерных сфер. Вариативность же определяется лишь его экономико-правовым статусом (столица, административный центр региона, исторический город, центр промышленности и торговли, портовый, курортный и т. п.) и размером (количеством жителей). Первостепенным фактором обеспечения жизнедеятельности является ее безопасность в определенных условиях и на достаточном уровне [9]. Устойчивость и стабильность параметров безопасности городской среды создают основу повышения уровня качества жизни населения и функционирования всех систем жизнедеятельности города.

Опираясь на представленные выше подходы, коротко рассмотрим содержание понятий «городская среда» и «качество жизни» с точки зрения доктринальных трудов ученых, представляющих различные науки.

Широко распространено понимание городской среды как обжитого пространства всего города, сложенного из пространств человеческого общения – прямых или косвенных [10]. Нужно признать, что данное определение носит весьма обобщенный культурологический характер. В социальной психологии для уточнения предмета исследования вводится специальный термин – «городская среда», которое обозначает конкретное своеобразие общественных отношений на определенном этапе их развития [11]. Городская среда также может исследоваться как пространственно-материальная структура, как функциональное пространство, как объект управления [12].

Необходимо согласиться с позицией Д. Н. Ганченко и Ю. А. Тарзанова [13], которые считают, что в отношении формирования понимания сущности термина «городская среда» в литературе используется множество подходов, отражающих системную, функциональную и иные доктрины:

- место сосредоточения больших масс людей, функционального образования, играющего важную роль в жизни и развитии общества, в его территориальной организации;
- набор политик городского развития, через которые город и его жители могут быть конкурентными на изменяющихся рынках рекрутинга, товаров, информации, услуг и др.;
- совокупность конкретных основополагающих условий, созданных человеком и природой в границах населенного пункта, которые оказывают влияние на уровень и качество жизнедеятельности человека;
- среда обитания и производственной деятельности людей, природный и созданный людьми материальный мир – совокупность природных, техногенных, социальных и экономических условий жизни, существующих в городе на занимаемой им территории;
- среда, в которой возникают и из которой распространяются инновации, проходящие в своем развитии ряд циклов и др.

Междисциплинарность понятия городской среды определяется как комплекс взаимосвязанных условий (естественно-природных и искусственно созданных, материальных и нематериальных), оказывающих прямое или опосредованное влияние на процессы жизнеобеспечения и жизнедеятельности населения [14].

На наш взгляд, связующим понятием между городской средой и качеством жизни является термин «комфортная городская среда», который некоторыми авторами [13] рассматривается как социально-экономическая категория, отражающая отношения внутри некоторого территориального пространства, направленные на формирование позитивного восприятия степени удовлетворенности состоянием объективных факторов внутренней и внешней среды условий проживания.

Понятие качества жизни, как и городской среды, объединяет широкий круг таких факторов, как материальные условия жизни, образование, здоровье, работа, политические права, социальные связи, условия окружающей среды, экономическая и физи-

ческая безопасность, удовлетворенность жизнью [15]. Наиболее обобщенную, по нашему мнению, дефиницию данного понятия дает П. С. Мстиславский: «Качество жизни – это уровень развития и степень удовлетворения комплекса позитивных, объективно-разумных потребностей и интересов людей» [16].

Среди всего многообразия подходов и методик к оценке качества жизни в городах особое место, считаем, занимает российская методика формирования индекса качества городской среды, позволяющая выявлять конкурентные преимущества городов и одновременно ограничения, препятствующие их развитию, а также актуальные проблемы и перспективные направления развития городов. Методика предназначена для определения качества городской среды городов путем расчета и присвоения им индекса качества городской среды, представляющего собой цифровое значение (в баллах) состояния городской среды, полученное в результате комплексной оценки количественных и поддающихся измерению индикаторов, характеризующих уровень комфорта на соответствующей территории.

На основе совокупности значений индикаторов определяются следующие уровни качества городской среды:

а) благоприятная городская среда – состояние городской среды, при котором количество набранных баллов составляет более 50 % максимально возможного количества баллов индекса города;

б) неблагоприятная городская среда – состояние городской среды, при котором количество набранных баллов составляет менее 50 % максимально возможного количества баллов индекса города [17].

Исходя из этого высокое качество жизни подразумевает наличие следующих аспектов:

- достаточная продолжительность здоровой жизни, поддержанная хорошим медицинским обслуживанием и безопасностью (отсутствием значимых угроз жизни и здоровью);
- приемлемый объем потребления товаров и услуг, гарантированный доступ к материальным благам;
- удовлетворительные социальные отношения, отсутствие серьезных общественных конфликтов и угроз достигнутому уровню благополучия;
- благополучие семьи;
- познание мира и развитие – доступ к знаниям, образованию и культурным ценностям, формирующим личность и представления об окружающем мире;
- учет мнения индивида при решении общественных проблем, участие в создании общепринятой картины мира и правил поведения человека;
- социальная принадлежность, полноправное участие в общественной и культурной жизни во всех их формах;
- доступ к разнообразной информации, включая сведения о положении дел в обществе;
- комфортные условия труда, дающего простор для творчества и самореализации, относительно короткий рабочий день, оставляющий человеку достаточно свободного времени для различных занятий [18].

Соответственно, низкое качество городской среды, в свою очередь, может быть связано со следующими проблемами:

- недостаточная инфраструктура: отсутствие или недостаточная доступность общественного транспорта, нехватка зеленых зон, проблемы с водоснабжением и канализацией;

- неравенство в доступе к ресурсам: различия в доступности жилья, образования, здравоохранения и рабочих мест между различными социальными группами;
- социальные проблемы: бедность, безработица, преступность и другие социальные проблемы, которые могут влиять на качество жизни горожан;
- экологические проблемы: загрязнение воздуха, воды и почв, шум и другие факторы, которые могут негативно влиять на здоровье горожан;
- культурные проблемы: недостаток разнообразия в культуре и искусстве, отсутствие возможностей для культурного развития и досуга;
- проблемы безопасности: угрозы терроризма, насилия и другие проблемы, которые могут вызывать страх и беспокойство у горожан [18].

Некоторые ученые в качестве цели перспективного стратегического планирования предлагают разработку и построение такой комплексной модели города, которая обеспечивала бы наиболее реалистичное, научно обоснованное и объективированное правовое регулирование основных общественных отношений, возникающих в процессах жизнедеятельности города на основе:

- ✓ сбора, обработки и глубокого системно-прогнозного анализа параметров состояния городской среды;
- ✓ выявления негативных (нештатных, дестабилизирующих, опасных) тенденций в процессах жизнедеятельности населения, системе управления городом, инфраструктуре городского хозяйства, социально-психологическом состоянии населения, городской экономике и политике;
- ✓ предложения и обоснования правовых и других мер по нормализации параметров для предотвращения возможных негативных последствий или их преодоления [6].

Следовательно, стратегическая цель моделирования города должна пониматься как поиск эффективных и оптимальных методов и средств управления процессами, происходящими с городами и в городах.

Конкретными целями формирования индекса города при этом являются:

- 1) определение текущего состояния городской среды, в т. ч. конкурентных преимуществ города и ограничений, препятствующих его развитию, актуальных проблем и перспективных направлений развития;
- 2) формирование системы мониторинга процессов в сфере развития городской среды с использованием набора индикаторов, направленной на обеспечение обоснованности принимаемых на всех уровнях власти решений в сфере развития городской среды, в т. ч. на поддержку и вовлечение в принятие этих решений граждан;
- 3) обеспечение возможности сопоставления условий жизни населения в различных городах и регионах;
- 4) повышение открытости для граждан и общественности результатов работы органов власти в сфере развития городской среды и создание основы для оценки эффективности их работы в этой сфере;
- 5) стимулирование граждан и представителей бизнеса к их вовлечению в реализацию мероприятий по благоустройству городов [17].

В соответствии с концепцией, предложенной учеными-урбанологами, делаются попытки разработать основные подходы к построению универсальной модели управления городом. основополагающей целью городского управления при этом ставится максимальное повышение качества жизни населения города путем радикального повышения эффективности городского управления во всех сферах жизнедеятельности на основе внедрения новых информационных технологий, а качество жизни населения определяется тем, насколько полно удовлетворены ключевые совокупные потребности жителей: финансовые (зарплаты, пенсии, выплаты, льготы и т. д.), функциональные (жилье, транс-

порт, медицина, образование и т. д.), эмоциональные (удовольствие / радость от жизни в городе), духовные (соответствие жизни базовым духовным ценностям).

В качестве способов удовлетворения совокупных потребностей населения предлагаются прямой (предоставление услуг: транспорт, медицина и т. д.) и косвенный (создание оптимальных условий для удовлетворения потребностей населения коммерческими структурами и/или некоммерческими организациями). Главное условие максимизации качества жизни населения – это оптимальное использование ресурсов (материальных, финансовых, человеческих и т. д.), находящихся в распоряжении города. Ключевые положения этой модели города заключаются в том, что система городского управления должна обеспечивать удовлетворение совокупных потребностей всех «заинтересованных лиц» (контрагентов) города: отдельных жителей и семей, коммерческих структур, некоммерческих (общественных) организаций, республиканских и региональных государственных структур и прочих контрагентов города [6].

Заключение

Таким образом, городская среда обитания, по нашему мнению, это именно совокупность конкретных основополагающих условий, созданных человеком и природой в границах населенного пункта, которые оказывают влияние на уровень и качество жизнедеятельности человека и формируют отношение человека к городу и системе управления. Городская среда оказывает большое влияние на здоровье и благополучие людей, поэтому важно создавать комфортные условия для жизни и работы в городе, чтобы люди могли чувствовать себя хорошо и безопасно.

Качество жизни населения – междисциплинарное понятие, комплексный показатель, который отражает эффективность всех сторон жизнедеятельности человека, уровень удовлетворения материальных, духовных и социальных потребностей, уровень интеллектуального, культурного и физического развития, а также степень обеспечения безопасности жизни. Качество жизни населения является одним из важнейших показателей уровня развития страны, поскольку влияет на экономическое развитие, социальное благополучие и уровень преступности в обществе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2022-envisaging-the-future-of-cities>. – Date of access: 29.02.2024.
2. Глазычев, В. Л. Социально-экологическая интерпретация городской среды / В. Л. Глазычев. – М. : Наука, 1984. – 180 с.
3. Гэлбрейт, Дж. К. Общество изобилия / Дж. К. Гэлбрейт ; пер. с англ., науч. ред. рос. изд. С. Д. Бодрунова. – М. : Олимп-Бизнес, 2018. – 404 с.
4. Маслоу, А. Мотивация и личность / А. Маслоу ; пер. с англ. Т. Гутман, Н. Мухина. – СПб. : Питер, 2019. – 351 с.
5. Ковынёва, О. А. Управление качеством жизни населения / О. А. Ковынёва, Б. И. Герасимов ; под науч. ред. Б. И. Герасимова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 88 с.
6. Зарецкий, А. Д. Качество жизни : учеб. пособие / А. Д. Зарецкий, Т. Е. Иванова // Междунар. журн. приклад. и фундам. исслед. – 2012. – № 9. – С. 126–128.
7. Юридическая урбанонология. Урбанонологическая теория : в 2 т. / под общ. ред. В. В. Таболина. – М. : Юстицинформ, 2021. – 2 т. – 824 с.
8. Куликов, Л. М. Экономическая теория / Л. М. Куликов. – М. : ТК Велби : Проспект, 2012. – 432 с.

9. Корабельникова, Ю. Л. Обеспечение безопасности человека в городе: современное состояние, проблемы и перспективы / Ю. Л. Корабельникова. – М. : РУСАЙНС, 2021. – 220 с.
10. Городская среда. Технологии развития / В. Л. Глазычев [и др.] ; под ред. В. Л. Глазычева. – М. : Ладыя, 1995. – 240 с.
11. Иванова, Л. Теоретические предпосылки участия прессы в формировании городской среды [Электронный ресурс] / Л. Иванова // Науч.-культурол. журн. – 2005. – № 18 (120). – Режим доступа: <http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=663&level1=main&level2=articles>. – Дата доступа: 29.02.2024.
12. Почтовая, А. В. Современное состояние городской среды: основные понятия, проблемы и особенности управления / А. В. Почтовая // Вопр. экономики и упр. – 2017. – № 4 (11). – С. 3–7.
13. Ганченко, Д. Н. Комфортная городская среда: инновация или трансформация термина / Д. Н. Ганченко, Ю. А. Тарзанова // Развитие теории и практики упр. соц. и экон. системами. – 2019. – № 8. – С. 81–85.
14. Нотман, О. В. Городская среда как междисциплинарное понятие / О. В. Нотман // О-во: социология, психология, педагогика. – 2021. – № 12. – С. 104–107.
15. Лебедева, Л. С. «Качество жизни»: ключевые подходы и структура понятия / Л. С. Лебедева // Мониторинг обществ. мнения. Экон. и соц. перемены. – 2018. – № 4. – С. 68–80.
16. Мстиславский, П. С. Вопросы теории и методологии анализа качества жизни / П. С. Мстиславский // Уровень жизни населения регионов России. – 2002. – № 2. – С. 5–17.
17. Об утверждении Методики формирования индекса качества городской среды [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства Рос. Федерации, 23 марта 2019 г., № 510-р. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72104984>. – Дата доступа: 29.02.2024.
18. Урбанонология – новый взгляд на изучение городов в условиях глобализации / М. А. Богдасаров [и др.] // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. – 2023. – № 2. – С. 3–16.

REFERENCES

1. World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2022-envisaging-the-future-of-cities>. – Date of access: 29.02.2024.
2. Glazychiev, V. L. Social'no-ekologichieskaja interpretacija gorodskoj sriedy / V. L. Glazychiev. – М. : Nauka, 1984. – 180 s.
3. Gelbrejt, Dzh. K. Obshchiestvo izobilija / Dzh. K. Gelbrejt ; pier. s angl., nauch. ried. ros. izd. S. D. Bodrunova. – М. : Olimp-Biznes, 2018. – 404 s.
4. Maslou, A. Motivacija i lichnost' / A. Maslou ; pier. s angl. T. Gutman, N. Mukhina. – SPb. : Pitier, 2019. – 351 s.
5. Kovyniova, O. A. Upravlienije kachiestvom zhizni nasielienija / O. A. Kovyniova, B. I. Gierasimov ; pod nauch. ried. B. I. Gierasimova. – Tambov : Izd-vo Tamb. gos. tiekhn. un-ta, 2006. – 88 s.
6. Zarieckij, A. D. Kachiestvo zhizni : uchieb. posobije / A. D. Zarieckij, T. Ye. Ivanova // Miezhdunar. zhurn. priklad. i fundam. isslied. – 2012. – № 9. – S. 126–128.
7. Juridichieskaja urbanologija. Urbanologichieskaja tieorija : v 2 t. / pod obshch. ried. V. V. Tabolina. – М. : Justitsinform, 2021. – 2 t. – 824 s.
8. Kulikov, L. M. Ekonomichieskaja tieorija / L. M. Kulikov. – М. : ТК Velbi : Prospiekt, 2012. – 432 s.

9. Korabiel'nikova, Yu. L. Obiespiechienije biezopasnosti chielovieka v gorodie: sovriemiennoje sostojanije, problimy i pierspektivy / Yu. L. Korabiel'nikova. – M. : RUSAINS, 2021. – 220 s.
10. Gorodskaja srieda. Tiekhnologii razvitija / V. L. Glazychiev [i dr.] ; pod ried. V. L. Glazychieva. – M. : Lad'ja, 1995. – 240 s.
11. Ivanova, L. Teorietichieskije priedposylki uchastija priessy v formirovanii gorodskoj sriedy [Elektronnyj riesurs] / L. Ivanova // Nauch.-kul'turoł. zhurn. – 2005. – № 18 (120). – Riezhim dostupa: <http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=-663&level1=main&level2=articles>. – Data dostupa: 29.02.2024.
12. Pochtovaja, A. V. Sovriemiennoje sostojanije gorodskoj sriedy: osnovnyje poniatija, problimy i osobiennosti upravlienija / A. V. Pochtovaja // Vopr. ekonomiki i upr. – 2017. – № 4 (11). – S. 3–7.
13. Ganchienko, D. N. Komfortnaja gorodskaja srieda: innovacija ili transformacija tiermina / D. N. Ganchienko, Yu. A. Tarzanova // Razvitije teorii i praktiki upr. social. i ekon. sistiemami. – 2019. – № 8. – S. 81–85.
14. Notman, O. V. Gorodskaja srieda kak miezhdisciplinarnoje poniatije / O. V. Notman // Obshchestvo: sociologija, psikhologija, pedagogika. – 2021. – № 12. – S. 104–107.
15. Liebiedieva, L. S. «Kachiestvo zhizni»: kliuchievye podkhody i struktura poniatija / L. S. Liebiedieva // Monitoring obshchestv. mnienija. Ekon. i soc. pieriemieny. – 2018. – № 4. – S. 68–80.
16. Mstislavskij, P. S. Voprosy teorii i mietodologii analiza kachiestva zhizni / P. S. Mstislavskij // Urovien' zhizni nasielienija riegionov Rossii. – 2002. – № 2. – S. 5–17.
17. Ob utvierzhdienii Mietodiki formirovanija indeksa kachiestva gorodskoj sriedy [Elektronnyj riesurs] : rasporiazhenije Pravitel'stva Ros. Fiedieracii, 23 marta 2019 g., № 510-r. – Riezhim dostupa: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72104984>. – Data dostupa: 29.02.2024.
18. Urbanologija – novyj vzgliad na izuchienije gorodov v uslovijakh globalizacii / M. A. Bogdasarov [i dr.] // Zhurn. Bielorus. gos. un-ta. Gieografija. Gieologija. – 2023. – № 2. – S. 3–16.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 26.01.2024

УДК 551.24+528.8+550.8

Андрей Петрович Гусев*канд. геол.-минерал. наук, доц., зав. каф. геологии и географии
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины***Andrei Gusev***Candidate of Geological and Mineralogical Science, Associate Professor,
Head of the Department of Geology and Geography
of Francisk Skorina Gomel State University**e-mail: gusev@gsu.by***ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)**

Статья посвящена актуальной геоэкологической задаче – разработке системы индикаторов риска современной геодинамической активности. В качестве индикаторов рассмотрены плотность космолинементов, содержание тропосферного метана, плотность теплового потока, сейсмичность, пораженность территории экзогенными геологическими процессами, газогеохимические аномалии (гелий, водород) и аномалии вертикальных современных движений земной поверхности. В качестве операционных территориальных единиц оценки предложено использовать выделы ландшафтов. Интегральная оценка геодинамического риска определялась как средний балл оценки комплекса индикаторов. Проведена оценка риска современной геодинамической активности территории восточной части Белорусского Полесья. На основе интегральной оценки установлено, что для значительной части (85,6 %) территории района характерен низкий риск современной геодинамической активности, очень низкий риск отмечен для 12,2 % территории. Средний уровень риска современной геодинамической активности обнаруживается на 2,2 % территории (в тектоническом отношении это северная ступень Припятского прогиба).

Ключевые слова: *современная геодинамическая активность, космолинементы, экзогенные геологические процессы, газогеохимические аномалии, риск.*

***Assessment of Contemporary Geodynamic Activity of the Territory
(on the Example of the South-East of Belarus)***

The article is devoted to an urgent geoecological problem – the development of a system of risk indicators of modern geodynamic activity. The density of cosmolineaments, the content of tropospheric methane, the density of heat flow, seismicity, the extent of the territory affected by exogenous geological processes, gas geochemical anomalies (helium, hydrogen) and anomalies of vertical modern movements of the earth's surface are considered as indicators. It is proposed to use landscape divisions as operational territorial assessment units. The integral assessment of geodynamic risk was determined as the average score of a set of indicators. An assessment of the risk of modern geodynamic activity in the territory of the eastern part of Belarusian Polesie was carried out. Based on the integral assessment, it was established that a significant part (85,6 %) of the region's territory is characterized by a low risk of modern geodynamic activity; a very low risk was noted for 12,2 % of the territory. An average level of risk from modern geodynamic activity is found on 2,2 % of the territory (tectonically, this is the northern step of the Pripyat trough).

Key words: *modern geodynamic activity, cosmolineaments, exogenous geological processes, gas geochemical anomalies, risk.*

Введение

Под геодинамически активными зонами понимают пространственно локализованные (как линейные, так изометричные) участки земной коры разного масштаба, в которых имеются или могут возникать условия для концентрации и разрядки тектонических напряжений, изменений деформированности земной коры. Эти зоны в значительной мере контролируют локализацию и развитие некоторых экзогенных геологических процессов, нарушение проницаемости водоупорных горизонтов, местоположение гидрогеологических окон, пространственное перераспределение техногенного загрязнения по земной поверхности; с ними связаны проявления сейсмичности, горные удары и другие негативные явления [1–3]. Имеются предположения, что аварийность технических систем также может быть связана с аномальной геодинамической активностью

земных недр [4]. К геодинамічна актыўным зонам адносяць тектонічныя разломы, над якімі назіраюцца інтэнсіўныя лакальныя аномаліі вертыкальных і гарызонтальных рухаў зямной паверхні, характэрныя высокай амплітудой (50–70 мм/год), кароткім перыядам (0,1–1 год), прастранствавай лакалізацыяй (0,1–1 км), пульсацыйным і знакопераменным характарам [5].

Змяненні флюідна-газавога рэжыма ў геодинамічна актыўных зонах адражаюцца ў ваганніях складу газаў, вільнасці і тэмпературы пачвогрунтаў, прыземнага слоя атмасферы, што можа фіксіравацца як наземнымі, так і дыстанцыйнымі даследаваннямі [6].

Выяўленне геодинамічна актыўных зон з'яўляецца актуальнай геаэкалагічнай задачай, паколькі сучасная геодинамічная актыўнасць уплывае на:

- 1) развіццё экзогенных геалагічных працэсаў;
- 2) абароненасць падземных водаў к забруджванню;
- 3) працэсы карозіі падземных тэхнічных сістэм;
- 4) аномальныя дэфармацыі зямной паверхні;
- 5) сейсмічнасць.

Геаэкалагічны аспект сучаснай геодинамічнай актыўнасці выражаецца ў рыску аварыяў тэхнічных сістэм, супражаных з забруджваннем кампанентаў ландшафту, ў зніжэнні устойлівасці прыродных геасістэм к тэхногенным уздзеянням. Такім чынам, сучасная геодинамічная актыўнасць з'яўляецца важным фактарам, які можа аказваць прамое ці косвеннае ўплыванне на геаэкалагічную сітуацыю. Рыск негатыўных наступстваў сучаснай геодинамічнай актыўнасці следуе ўлічваць пры геаэкалагічным прагназаванні.

Аднак сучасная геодинамічная актыўнасць, як правіла, рэдка разглядаецца пры геаэкалагічнай ацэнцы тэрыторыі. Аднай з метадычных праблем з'яўляюцца розніцы ў ацэньваемых тэрытарыяльных адзінках: геаэкалагічная ацэнка праводзіцца па адміністрацыйным ці ландшафтным тэрытарыяльным адзінкам, а ацэнка геодинамічнай актыўнасці – па тектонічным структурам.

Цель даследаванняў – разробка сістэмы індэкараў рыска сучаснай геодинамічнай актыўнасці ў рамках геаэкалагічнай ацэнка тэрыторыі.

Рэшаемыя задачы: 1) аб'ясненне індэкараў сучаснай геодинамічнай актыўнасці для ўмоў слабосеймічнага рэгіёна; 2) разробка балльнай сістэмы ацэнка індэкараў рыска сучаснай геодинамічнай актыўнасці; 3) аналіз тэматычных карт, даных дыстанцыйнага зондзіравання Зямлі; 4) ацэнка сучаснай геодинамічнай актыўнасці геасістэм усходняй часткі Беларускага Полесся.

Матэрыялы і метадыка даследаванняў

Район даследаванняў – усходняя частка Беларускага Полесся (Полескай ландшафтнай правінцыі), ахопваючая такія тектонічныя структуры, як Прыпятскі прагіб, Воранежскую антеклізу, Жлобінскую седловіну, Брагінско-Лоевскую седловіну і Украінскі шчыт. У межах тэрыторыі прадставлены наступныя роды прыродных ландшафтаў (згодна класіфікацыі ландшафтаў Беларусі): водналедніковыя – 35,8 % ад агульнай плошчы; озерна-аллювіяльныя – 20,7 %; аллювіяльныя тэрасаваныя – 17,3 %; пойменныя – 8,5 %; моренна-зандровыя – 8,0 %; озерна-балотныя – 7,9 %; холмісто-моренна-эрозійныя – 1,0 %; вторычна-моренныя – 0,7 %.

Індэкары сучаснай геодинамічнай актыўнасці намі абіраліся ісходзячы з рэды крытэрыяў: 1) даступнасць баз даных; 2) наякасць даказанай каррэляцыі з сучаснымі тектонічнымі працэсамі; 3) прастранствены ахват, адпаведны рэгіянальнаму і лакальнаму ўзрвням; 4) магчымасць іспальвання ў рэгіянах

с различным уровнем сейсмичности, в т. ч. в асейсмичных. На основе этих критериев были выбраны показатели, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Индикаторы риска современной геодинамической активности (региональный уровень)

Индикатор	Риск, балл			
	Очень низкий 1	Низкий 2	Средний 3	Высокий 4
Плотность космолинеаментов, км/км ²	<X	X-X + σ	X + σ-X + 2σ	>X + 2σ
Содержание тропосферного метана (по данным съемки Sentinel-5P TROPOMI), ppb	<X	X-X + σ	X + σ-X + 2σ	>X + 2σ
Плотность теплового потока, мВт/м ²	<40	40–60	60–80	>80
Пораженность территории экзогенными геологическими процессами, %	<1	1–5	5–25	>25
Сейсмичность (риск максимальной интенсивности сейсмических сотрясений с вероятностью 10 % за 50 лет по шкале MSK-64), балл	<5,0	5,0–6,0	6,0–7,0	>7,0
Газогеохимические аномалии в почвах и подземных водах (гелий, водород, радон), аномальные вариации геофизических полей, аномалии современных вертикальных движений земной поверхности	–	–	–	+

Примечание – X – среднее значение для региона (фон); σ – стандартное отклонение.

Плотность космолинеаментов определяется на основе дешифрирования космических снимков. Применение данного показателя для оценки геодинамической активности обосновано в работах И. С. Копылова [7]. В нашей работе для расчета этого показателя использована космоTECTONическая карта Беларуси [8].

Изучение тропосферного метана проводилось с помощью космической съемки спутника Sentinel-5P с сенсором TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument). Сенсор TROPOMI определяет атмосферные концентрации метана в миллиардных долях от объема (ppb). Пространственное разрешение съемки 7 × 5,5 км.

Регулярная составляющая потока метана над изучаемой территорией определялась с помощью осреднения измерений на заданном временном отрезке. В ряде работ установлена связь между потоками метана и современной геодинамической активностью [9; 10].

Для зон современной геодинамической активности характерна повышенная плотность теплового потока [11], что обуславливает использование нами этого показателя. Глобальный каталог данных находится в открытом доступе (http://www.wdcb.ru/sep/heat_flow/hf_cat_gl.ru.html).

Пораженность территории экзогенными геологическими процессами является индикатором геологического риска, обусловленного сложным взаимодействием природных и антропогенных процессов, в том числе вызванных тектонической активностью [1–3; 12]. Для оценки площадей распространения экзогенных геологических процессов (заболачивание, водная и ветровая эрозия, гравитационные процессы, суффозия) использовались топографические карты, сервис OpenStreetMap, цифровая модель высот SRTM.

Сейсмічнасьць (оцэніваецца як рыск максымальнай інтэнсіўнасьці сейсмічных сотрыясеньняў з верагоднасьцю 10 % за 50 лет па шкале MSK-64 в баллах) служыць ведучым індэкатарам геодынамічнай актывнасьці і яе апаьнасьці [5; 13].

Дополнительным критерием могут служить газогеохимические аномалии в почвах и подземных водах (гелий, водород, радон), аномальные вариации геофизических полей, аномалии современных вертикальных движений земной поверхности. Поскольку данная информация может быть получена только на основе специальных инструментальных наблюдений, как правило сильно ограниченных по времени и в пространстве, то предлагается считать их наличие как признак высокой степени геодинамической активности.

Оценка современной геодинамической активности основана на рискологическом подходе: риск рассматривается как мера опасности современной геодинамической активности [4; 14]. В таблице 1 приведены индикаторы риска современной геодинамической активности регионального уровня.

Каждый индикатор оценивался по четырехбалльной шкале риска. Операционная территориальная единица (ОТЕ) – геосистема в границах выдела рода природного ландшафта. Интегральная оценка геодинамического риска определялась как средний балл оценки индикаторов по ОТЕ: менее 1,5 – очень низкий; 1,51–2,50 – низкий; 2,51–3,50 – средний; более 3,5 – высокий.

Для привязки топографических и тематических карт, их оцифровки, обработки и дешифрирования космических снимков, операций с растрами использована геоинформационная система QGIS 3.26.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты оценки риска современной геодинамической активности приведены в таблице 2. Установлено, что средняя величина плотности космолинеаментов для района исследований составила 1,18 км/км² (стандартное отклонение 2,74 км/км²).

Таблица 2 – Оценка риска современной геодинамической активности, % площади

Индикатор	Риск			
	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий
Плотность космолинеаментов	67,3	27,5	3,3	1,9
Содержание тропосферного метана (летний период)	39,0–57,3	42,7–61,0	0,0	0,0
Плотность теплового потока	26,3	63,4	10,3	0,0
Пораженность территории экзогенными геологическими процессами	18,2	59,1	21,2	1,5
Сейсмичность (риск максимальной интенсивности сейсмических сотрыясеньняў з верагоднасьцю 10 % за 50 лет па шкале MSK-64)	12,2	74,2	13,6	0,0
Газогеохимические аномалии в почвах и подземных водах (гелий, водород, радон), аномальные вариации геофизических полей, аномалии современных вертикальных движений земной поверхности	–	–	–	10,3
Интегральная оценка	12,2	85,6	2,2	0,0

Высокая плотность космолинеаментов (более 6,7 км/км²) отмечается на 1,9 % территории (пойма реки Птичь и озерно-болотный ландшафт правобережье реки Припять), средняя плотность (3,92–6,70 км/км²) – 3,3 % территории (поймы рек Березина,

Уборть, Ствига, аллювиальные террасированные ландшафты вдоль Припяти, Днепра и Березины). Для большей части территории характерна низкая (27,5 %) и очень низкая (67,3 %) плотность космолинементов.

Содержание тропосферного метана изменяется в зависимости от сезона года (зимой повышается, летом снижается). Летом 2021 г. среднее содержания метана в зависимости от выдела ландшафта изменялось от 1 744,4 до 1 881,8 (региональный фон – 1 830,2) ppb. Летом 2022 г. – от 1 813,5 до 1 874,8 (фон – 1 843,0) ppb. Летом 2023 г. – от 1 733,0 до 1 837,2 (фон – 1 793,2) ppb.

Анализ показал, что в летний период на значительной части территории (в зависимости от года наблюдения – 42,7–61,0 % площади) среднее содержание метана не превышает региональный фон.

Зимой 2022 г. среднее содержание метана колебалось от 1 879,0 до 1 904,6 (фон – 1 893,0) ppb. Осенью 2022 г. – от 1 849,8 до 1 927,8 (1 874,0) ppb. Зимой 2023 г. – от 1 865,7 до 1 911,8 (1 882,7) ppb.

Было установлено, что в зимне-осенний период региональный фон может превышать почти на 90 % площади. Однако аномальное содержание тропосферного метана, превышающее фон более чем на величину стандартного отклонения, отмечалось только на 3,4 % территории (озерно-болотные ландшафты).

Повышенная плотность теплового потока (60–70 мВт/м²) отмечается на 10,3 % площади (выдела ландшафтов, приуроченные к северной ступени Припятского прогиба).

Плотность теплового потока ниже 40 мВт/м² характерна для 26,3 % территории. Для большей части территории (63,4 %) величина плотности теплового потока находится в интервале 40–60 мВт/м².

Сейсмичность оценивалась на основе анализа сейсмотектонической карты запада Белорусско-Прибалтийского региона [15].

Наиболее высокая сейсмичность (6–7 баллов по шкале MSK-64) характерна для 13,6 % территории (ландшафты, прилегающие к рекам Днепр и Березина; зона сочленения Припятского прогиба и Воронежской антеклизы).

Наименьшая сейсмичность (4–5 баллов по шкале MSK-64) отмечается для окраинных частей региона (12,2 % площади). Основная территория (74,2 %) имеет сейсмичность 5–6 баллов.

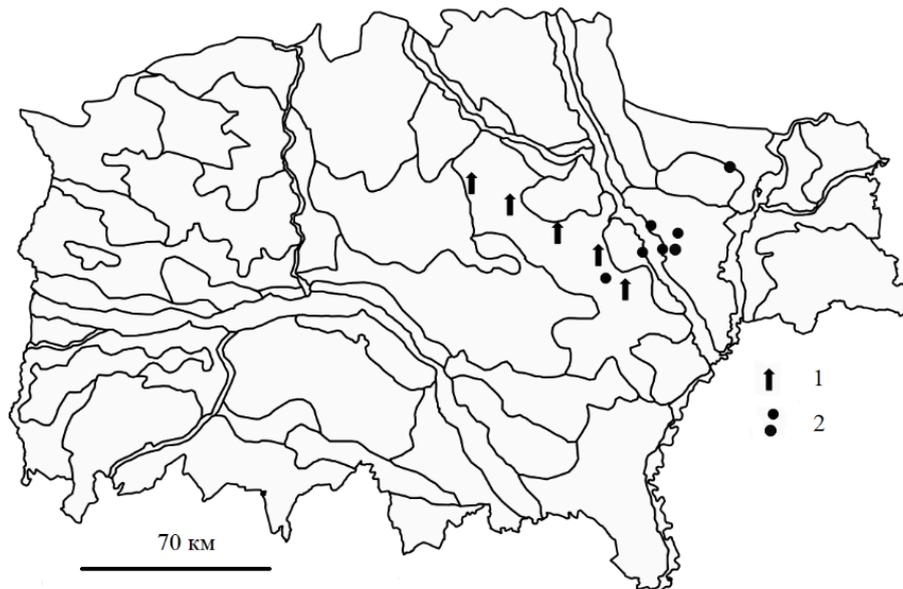
Пораженность экзогенными геологическими процессами в зависимости от выдела ландшафта изменяется от 0,2 до 63,0 %.

В целом в регионе экзогенным геологическим процессам подвержено 4,4 % территории.

Среди отмеченных процессов по площади преобладают заболачивание (86,0 % от всей площади, пораженной экзогенными процессами) и ветровая эрозия (на ветро-эрозионные формы рельефа приходится 9,1 %). Пораженность в пределах 5–25% общей площади характерна для 21,2 %, более 25 % – 1,5 % территории. Пораженность менее 1 % – 18,2 % площади.

Газогеохимические аномалии и аномалии современных вертикальных движений земной поверхности наблюдались в разные годы на 10,3 % площади региона в четырех ландшафтных выделах (рисунок 1).

Наблюдениями за современными тектоническими движениями (повторные нивелирования, светодальномерные и гравиметрические измерения), которые проводились в 1980–1990-х гг. на участке Речицко-Вишанского разлома (северная ступень Припятского прогиба), установлены аномальные деформации, локальные высокоамплитудные движения пикообразной формы (50–70 мм/год), колебания силы тяжести до 100–200 мкГал [5].



1 – аномаліі вертыкальных рухаў зямной паверхні;
2 – газогеохімічныя аномаліі (гелій, вадарод)

**Рисунік 1 – Газогеохімічныя аномаліі
і аномаліі вертыкальных рухаў зямной паверхні**

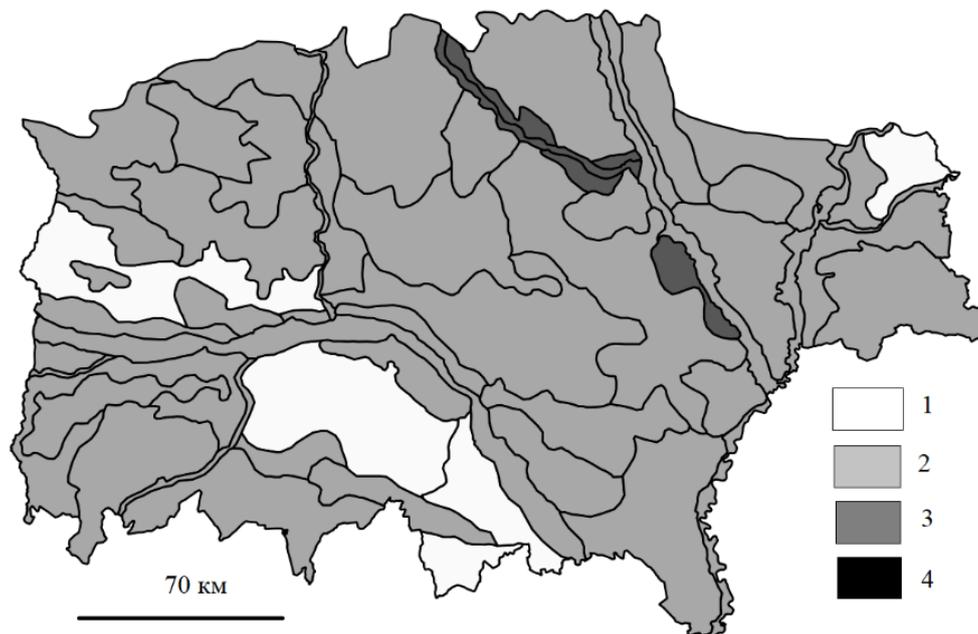
Былі обнаружены устойчиво фиксируемые газогеохимические аномалии гелия и водорода, приуроченные к участкам активных разломов северной ступени Припятского прогиба и Гомельской структурной перемычки. Так, в районе населенного пункта Костюковка (Гомельская структурная перемычка) в колодцах была обнаружена повышенная минерализация грунтовых вод ($1-2 \text{ г/м}^3$, при фоновых значениях $0,3-0,6 \text{ г/дм}^3$), установлены аномально высокие содержания водорастворенного гелия в напорных подземных водах, выявлена аномалия подпочвенного водорода ($15,5-37,0 \cdot 10^{-4} \text{ об.}\%$ при фоновой концентрации $0,5-1 \cdot 10^{-4} \text{ об.}\%$). Эта газогеохимическая аномалия расположена в зоне пересечения субрегиональных Гомельского и Западно-Ченковского, локального Костюковского разломов.

На участке Александровского субрегионального разлома (северная ступень Припятского прогиба) содержание гелия в грунтовых водах увеличивается до $7-40 \cdot 10^{-5} \text{ мл/л}$ (фоновое содержание $5,5-7,0 \cdot 10^{-5} \text{ мл/л}$), в неглубоких напорных – до $50-100 \cdot 10^{-5} \text{ мл/л}$. В колодцах деревни Остров концентрация гелия составила $40 \cdot 10^{-5} \text{ мл/л}$, в напорных водах – $1950 \cdot 10^{-5} \text{ мл/л}$ [16]. Содержание водорода в подпочвенном воздухе здесь колебалось в пределах $8,0-15,2 \cdot 10^{-4}$, среднее – $11,9 \cdot 10^{-4} \text{ об.}\%$.

Гелиевые аномалии соответствуют разрывным нарушениям, литологическим окнам и приуроченным к ним участкам межпластовых перетоков подземных вод. Схожий механизм формирования, обусловленный глубинным флюидопереносом, имеют водородные аномалии, регистрируемые в подпочвенном воздухе. Пространственно совпадающие гелиевые и водородные аномалии – важный признак геодинамически активных зон [17].

Интегральная оценка показывает, что для значительной части (85,6 %) территории региона характерен низкий риск современной геодинамической активности, очень низкий риск отмечается для 12,2 % территории. Средний уровень риска современной геодинамической активности обнаруживается на 2,2 % территории (в тектоническом отношении это северная ступень Припятского прогиба). Высокий уровень риска для

рассматриваемых геосистем нехарактерен. Пространственная структура интегральной оценки показана на рисунке 2.



1 – очень низкий; 2 – низкий; 3 – средний; 4 – высокий

Рисунок 2 – Интегральная оценка риска современной геодинамической активности для территории восточной часть Белорусского Полесья

Заключение

Таким образом, предложена система индикаторов для оценки риска современной геодинамической активности территории слабосейсмичного региона в рамках геоэкологических исследований. В качестве индикаторов рассмотрены плотность космолинементов, содержание тропосферного метана, плотность теплового потока, сейсмичность, пораженность территории экзогенными геологическими процессами, газогеохимические аномалии и аномалии вертикальных современных движений земной поверхности. В качестве операционных территориальных единиц оценки предложено использовать выделы ландшафтов. Выбор такой территориальной единицы обусловлен ее широким использованием при геоэкологическом анализе, оценке и прогнозировании.

В ходе исследований установлено, что высокая плотность космолинементов отмечается на 1,9 % территории (пойма реки Птичь и озерно-болотный ландшафт правобережье реки Припять), средняя плотность – 3,3 % территории (поймы рек Березина, Уборть, Ствига, аллювиальные террасированные ландшафты вдоль Припяти, Днепра и Березины). Для большей части территории характерна низкая (27,5 %) и очень низкая (67,3 %) плотность космолинементов.

Содержание тропосферного метана в летний период на значительной части территории (в зависимости от года наблюдения – 42,7–61,0 % площади) среднее содержание метана не превышает региональный фон. В зимне-осенний период региональный фон может превышать почти на 90 % площади.

Повышенная плотность теплового потока (60–70 мВт/м²) отмечается на 10,3 % площади (выделы ландшафтов, приуроченные к северной ступени Припятского прогиба). Плотность теплового потока ниже 40 мВт/м² характерна для 26,3 % территории.

Для большей части территории (63,4 %) величина плотности теплового потока находится в интервале 40–60 мВт/м².

Наиболее высокая сейсмичность (6–7 баллов) характерна для 13,6 % территории (ландшафты, прилегающие к рекам Днепр и Березина; зона сочленения Припятского прогиба и Воронежской антеклизы). Основная территория (74,2 %) имеет сейсмичность 5–6 баллов.

Пораженность экзогенными геологическими процессами в зависимости от выдела ландшафта изменяется от 0,2 до 63,0 %. Пораженность территории 5–25 % характерна для 21,2 % площади, более 25 % – для 1,5 %, менее 1 % – для 18,2 % площади.

Газогеохимические аномалии и аномалии современных вертикальных движений земной поверхности наблюдались в разные годы на 10,3 % площади региона в четырех ландшафтных выделах.

На основе интегральной оценки установлено, что для значительной части (85,6 %) территории района характерен низкий риск современной геодинамической активности, очень низкий риск отмечен для 12,2 % территории. Средний уровень риска современной геодинамической активности обнаруживается на 2,2 % территории. Высокий уровень риска для рассматриваемых геосистем нехарактерен.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Современные геодинамически активные зоны платформ / В. И. Макаров [и др.] // Геоэкология. Инженер. геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2007. – № 2. – С. 99–110.
2. Матвеев, А. В. Классификация природных и природно-антропогенных опасностей литосферного класса на территории Беларуси / А. В. Матвеев // Літасфера. – 2017. – № 1 (46). – С. 98–106.
3. Лобацкая, Р. М. Разломы литосферы и чрезвычайные ситуации / Р. М. Лобацкая, Г. Л. Кофф. – М. : Изд-во РЭФИА, 1997. – 196 с.
4. Касьянова, Н. А. Экологические риски и геодинамика / Н. А. Касьянова. – М. : Науч. мир, 2003. – 332 с.
5. Кузьмин, Ю. О. Современная геодинамика опасных разломов / Ю. О. Кузьмин // Физика Земли. – 2016. – № 5. – С. 87–101.
6. Бондур, В. Г. Физическая природа линеаментов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий / В. Г. Бондур, А. Т. Зверев // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 2, № 3. – С. 177–183.
7. Копылов, И. С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности / И. С. Копылов. – Пермь : ПГНИУ, 2019. – 131 с.
8. Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000: создание и результаты / Р. Г. Гарецкий [и др.] // Літасфера. – 2013. – № 1 (38). – С. 3–29.
9. Гусев, А. П. Потоки метана в тропосфере как индикатор современной геодинамической активности (на примере юго-востока Беларуси) / А. П. Гусев // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 2. – С. 90–99.
10. Гусев, А. П. Потоки метана в тропосфере: геологические и антропогенные источники (по данным Sentinel-5P TROPOMI) / А. П. Гусев // Регион. геосистемы. – 2023. – Т. 47, № 4. – С. 580–592.
11. Хуторской, М. Д. Геотермические модели геодинамических обстановок разного типа / М. Д. Хуторской, Б. Г. Поляк // Геотектоника. – 2014. – № 1. – С. 77–96.
12. Матвеев, А. В. Современные геологические процессы на территории восточной части Белорусского Полесья / А. В. Матвеев // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2020. – Т. 64, № 2. – С. 217–224.

13. Трифонов, В. Г. Проблемы изучения активных разломов / В. Г. Трифонов, А. И. Кожурин // Геотектоника. – 2010. – № 6. – С. 79–98.
14. Свалова, В. Б. «Горячие пятна» геозкологического риска и проблемы территориального планирования / В. Б. Свалова // Изв. высш. учеб. заведений. Геология и разведка. – 2022. – Т. 64, № 3. – С. 19–34.
15. Сейсмоструктура Беларуси и Прибалтики / Р. Е. Айзберг [и др.] // Літасфера. – 1997. – № 7. – С. 5–18.
16. Результаты водногелиевых исследований на северо-востоке Припятского прогиба и сопредельной территории / А. М. Гумен [и др.] // Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики Беларусь : сб. науч. тр. – Гомель : БелНИПИнефть, 1997. – Вып. 2. – С. 64–69.
17. Гумен, А. М. Газогеохимические индикаторы геодинамической активности глубинных разломов на юго-востоке Беларуси / А. М. Гумен, А. П. Гусев // Літасфера. – 1997. – № 6. – С. 140–149.

REFERENCES

1. Sovriemiennye geodinamicheski aktivnyje zony platform / V. I. Makarov [i dr.] // Geoekologija. Inzhenier. geologija. Hidrogeologija. Geokriologija. – 2007. – № 2. – S. 99–110.
2. Matviejev, A. V. Klassifikacija prirodnykh i prirodno-antropogiennykh opasnostiej litosfiernogo klassa na tierritorii Bielarusi / A. V. Matviejev // Litasfiera. – 2017. – № 1 (46). – S. 98–106.
3. Lobackaja, R. M. Razlomy litosfiery i chriezvyčajnyje situacii / R. M. Lobackaja, G. L. Koff. – M. : Izd-vo REFIA, 1997. – 196 s.
4. Kas’janova, N. A. Ekologichieskije riski i geodinamika / N. A. Kas’janova. – M. : Nauch. mir, 2003. – 332 s.
5. Kuz’min, Yu. O. Sovriemiennaja geodinamika opasnykh razlomov / Yu. O. Kuz’min // Fizika Ziemli. – 2016. – № 5. – S. 87–101.
6. Bondur, V. G. Fizichieskaja priroda lineamentov, riegistrirujemykh na kosmichieskikh izobrazhenijakh pri monitoringie siejsmoopasnykh tierritorij / V. G. Bondur, A. T. Zvieriev // Sovriem. problimy distanc. zondirovanija Ziemli iz kosmosa. – 2006. – Т. 2, № 3. – S. 177–183.
7. Kopylov, I. S. Morfonieotiektonichieskaja sistemi ocenki geodinamichieskoj aktivnosti / I. S. Kopylov. – Pierm’ : PGNIU, 2019. – 131 s.
8. Kosmotiektonichieskaja karta Bielarusi masshtaba 1 : 500000: sozdanije i riezul’taty / R. G. Gariεκij [i dr.] // Litasfiera. – 2013. – № 1 (38). – S. 3–29.
9. Gusiev, A. P. Potoki mietana v troposfierie kak indikator sovriemiennoj geodinamichieskoj aktivnosti (na primierie jugo-vostoka Bielarusi) / A. P. Gusiev // Viesn. Bresc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2023. – № 2. – S. 90–99.
10. Gusiev, A. P. Potoki mietana v troposfierie: geologichieskije i antropogiennyje istochniki (po dannym Sentinel-5P TROPOMI) / A. P. Gusiev // Riegion. geosistemy. – 2023. – Т. 47, № 4. – S. 580–592.
11. Khutorskoj, M. D. Geotiermichieskije modeli geodinamichieskikh obstanovok raznogo tipa / M. D. Khutorskoj, B. G. Poliak // Geotiektonika. – 2014. – № 1. – S. 77–96.
12. Matviejev, A. V. Sovriemiennye geologichieskije processy na tierritorii vostochnoy chasti Bieloruskogo Polies’ja / A. V. Matviejev // Dokl. Nac. akad. nauk Bielarusi. – 2020. – Т. 64, № 2. – S. 217–224.
13. Trifonov, V. G. Problemy izuchienija aktivnykh razlomov / V. G. Trifonov, A. I. Kozhurin // Geotiektonika. – 2010. – № 6. – S. 79–98.

14. Svalova, V. B. «Goriachije piatna» gieoekologichieskogo riska i problimy territorial'nogo planirovanija / V. B. Svalova // *Izv. vyssh. uchieb. zaviedienij. Gieologija i razviedka.* – 2022. – Т. 64, № 3. – S. 19–34.
15. Siejsmotiektonika Bielarusi i Pribaltiki / R. Ye. Ajzbiereg [i dr.] // *Litasfiera.* – 1997. – № 7. – S. 5–18.
16. Riezul'taty vodnogieliyevykh issliedovanij na sieviero-vostokie Pripiatskogo progiba i sopriediel'noj tierritorii / A. M. Gumen [i dr.] // *Poiski i osvojenije neftianyx riesursov Riespubliki Bielarus'* : sb. nauch. tr. – Gomiel' : BielNIPInieft', 1997. – Vyp. 2. – S. 64–69.
17. Gumen, A. M. Gazogieokhimichieskije indikatory gieodinamichieskoj aktivnosti glubinnykh razlomov na jugo-vostokie Bielarusi / A. M. Gumen, A. P. Gusiev // *Litasfiera.* – 1997. – № 6. – S. 140–149.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 13.02.2024

УДК 551.582:551.52.57

Александр Александрович Волчек¹, Алёна Васильевна Гречаник²
*¹д-р геогр. наук, проф., проф. каф. природообустройства
Брестского государственного технического университета*
*²магистр геогр. наук, специалист по сопровождению учебного процесса
каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина*
Alexander Volchek¹, Aliona Hrachanik²
*¹Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Environmental Engineering
of Brest State Technical University*
*²Master of Geographical Sciences, Educational Process Support Specialist
of the Department of Geography and Environmental Management
of Brest State A. S. Pushkin University*
e-mail: ¹Volchak@tyt.by; ²HrachanikA@tut.by

АСИНХРОННОСТЬ В ФОРМИРОВАНИИ МАКСИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Дана оценка основных характеристик максимальных скоростей ветра Беларуси, проведен статистический анализ изменчивости поля максимальных скоростей ветра в разрезе физико-географических провинций. Представлены пространственно-корреляционные функции. Дана количественная оценка эффекта асинхронности.

Ключевые слова: ветер, максимальная скорость, физико-географическая провинция, пространственно-корреляционная функция, асинхронность.

Asynchronicity in the Formation of Maximum Wind Speed on the Territory of Belarus in Modern Conditions

The paper gives an assessment of the main characteristics of the maximum speeds of the Belarusian wind. A statistical analysis of the variability of the field of maximum wind speeds in the context of physical and geographical provinces has been carried out. Spatial correlation functions are presented. A quantitative assessment of the asynchronous effect is given.

Key words: wind, maximum speed, physical and geographical province, spatial correlation function, asynchrony.

Введение

Ветер является одной из главных характеристик климата, который в той или иной степени влияет на современные климатические колебания. Современные изменения климата, начатые с 1988 г., выраженные в росте температур, особенно в холодный период, требуют детальных исследований как с целью выявления причин и закономерностей его формирования, так и с целью прогноза дальнейшего изменения климата в целом и его отдельных метеорологических элементов. В умеренных широтах Северного полушария отмечается снижение среднегодовых скоростей ветра. На территории Беларуси также отмечается снижение среднегодовых и среднемесячных скоростей ветра [1–4].

При общем снижении скоростей ветра особый интерес вызывают изменения максимальных скоростей и порывов ветра (шквалов, ураганов), которые могут нанести значительный ущерб хозяйственной деятельности человека: сельскому и лесному хозяйству, энергетике, строительству. Кроме того, сильные порывы ветра и шквалы в городе могут приводить к следующим последствиям: повреждению зданий, крыш и других конструкций, падению деревьев и веток, затруднению дорожного движения, подъему мелких предметов и частиц пыли в воздух.

Под максимальной скоростью ветра в данной работе понимаются значения, выбранные из данных за все сроки наблюдений и из всех отдельных определений скорости ветра между сроками за месяц с учетом порывов.

Объектом изучения является максимальная скорость ветра на территории Беларуси. Территория республики расположена в пределах Восточно-Европейской равнины на водоразделе рек бассейна Балтийского и Черного морей и представляет собой чередование низин и возвышенностей. Географическое положение и особенности рельефа местности влияют на формирование различных опасных метеорологических явлений, которые наносят значительный экономический ущерб [5]. Основным фактором, формирующим ветровой режим территории, является циркуляция атмосферы над континентом Евразия и над Атлантикой, которая определяется наличием стационарных барических центров: исландского минимума в течение всего года, сибирского максимума зимой и азорского – летом [6; 7].

Целью статьи является оценка пространственно-временных колебаний максимальных скоростей ветра на территории Беларуси в период современного потепления климата 1988–2020 гг. путем анализа временных рядов максимальной скорости ветра, осредненных за год и помесячно для различных физико-географических провинций Беларуси.

Материалы и методы исследования

На территории Беларуси выделяют пять физико-географических провинций, где каждая занимает определенную гипсометрическую ступень. Западно-Белорусская провинция охватывает систему возвышенностей Белорусской гряды с высотой 200–345 м. Восточно-Белорусская провинция представляет собой возвышенную равнину с абсолютными отметками 180–230 м. Полеская провинция – низменная равнина с высотными отметками ниже 150 м. Предполеская провинция занимает переходную орографическую ступень с отметками 150–190 м. Поозерская провинция является исключением, т. к. ее южная граница очерчена границей поозерского ледника, где рельеф, климат, почвенно-растительный покров, обилие озер и болот создают резко отличительный образ этой провинции [8].

Рассмотрена устойчивость выборочных статистик (средних) для физико-географических провинций Беларуси, выделяемых согласно европейской десятичной системе районирования применительно к максимальным скоростям ветра [9]. Нами выбрана данная система районирования т. к. она является единой признанной Международной федерацией документалистики системой физико-географического районирования суши.

Непременным условием физико-географического районирования является выбор ведущего фактора для выделения таксона. Беларусь относится к равнинным территориям, поэтому наиболее важными рубежами оконтуривания провинций являются орографические [10]. Они выступают в качестве объективно существующего фактора, влияющего на другие компоненты природного комплекса, в т. ч. и ветра.

Информационную базу для проведения исследования составили данные многолетних инструментальных наблюдений за скоростью ветра на 46 метеорологических станциях, опубликованные в государственном кадастре по климату Департамента по гидрометеорологии республиканского центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, за период 1988–2020 гг. Выбор этого периода обусловлен тем, что с 1988 г. наблюдается современный этап потепления климата [11].

Временная структура рядов наблюдений за максимальными скоростями ветра для отдельных физико-географических провинций Беларуси оценивалась с помощью линейных трендов

$$V_{max}(t) = V_{max}(0) \pm \Delta V \cdot t, \quad (1)$$

где $V_{max}(0)$ – максимальная скорость ветра на начало расчетного периода, м/с; ΔV – изменения максимальной скорости ветра, м/с/год; t – календарный год.

При статистическом анализе временных рядов использованы следующие методики [12]: для выявления тенденций изменений использовались хронологические месячные графики колебаний и разностные интегральные кривые; для оценки различий в статистических параметрах использовался критерий Стьюдента и критерий Фишера.

Пространственная структура максимальной скорости ветра представляет собой метеорологическое поле, которое является крайне изменчивым как в пространстве, так и во времени. При статистическом подходе максимальную скорость ветра можно рассматривать как случайный процесс. Совокупность значений максимальной скорости ветра для рассматриваемого объема пространства в данном интервале времени представляет собой некоторую случайную реализацию случайного поля [13]. Статистический подход требует отказа от попытки раздельного рассмотрения индивидуальных свойств случайных полей. Рассматриваются лишь их статистические характеристики, которые позволяют установить общие особенности, характерные для всего набора реализаций. Эти общие особенности принято называть статистической структурой случайного поля. На основе этого по сравнительно небольшому количеству данных можно судить о свойствах максимальной скорости ветра в пределах большой территории.

Для описания связи между значениями поля в различных точках наиболее употребляемыми являются такие характеристики статистической структуры, как корреляционные, ковариационные и спектральные функции [13]. В силу того что эти функции однозначно связаны между собой и равно пригодны для описания статистической структуры, в нашей работе отдано предпочтение корреляционным функциям как более точным и универсальным, отличающимся меньшей зависимостью от изменений сезонного и географического характера. Применение той или иной статистической модели поля обосновывалось на анализе физико-географических условий формирования максимальной скорости ветра.

Таким образом, для описания статистической структуры максимальной скорости ветра в настоящей работе использованы пространственно-корреляционные функции (ПКФ), которые имеют вид:

$$R(\rho) = R(0) + \alpha \cdot \rho, \quad (2)$$

где $R(\rho)$ – значение пространственной корреляционной функции на расстоянии ρ ; $R(0)$ – значение пространственной корреляционной функции при $\rho = 0$; α – эмпирический коэффициент; ρ – расстояние между метеостанциями.

Картина описания полей максимальных скоростей ветра с помощью корреляционных функций хотя и наглядна, но все-таки недостаточна для характеристики асинхронности. Требуется четкая и однозначная количественная оценка эффекта асинхронности как для отдельных пар точек, так и для целых областей.

Эффект асинхронности неоднозначен, его количественная оценка приближенна и сложна, тем более когда она осуществляется во всем диапазоне кривой обеспеченности гидрометеорологического элемента.

Одним из наиболее простых и надежных методов определения эффекта асинхронности гидрометеорологических величин является метод, разработанный Н. В. Сомовым [14].

Основное преимущество этого метода заключается в возможности однозначного определения количественных параметров эффекта асинхронности в любых зонах кривой обеспеченности в отдельности и для всей совокупности значений исследуемой величины.

В основу предложенной методики положено определение эффекта асинхронности по совмещенным кривым обеспеченности суммарных хронологического и равнообеспеченного рядов значений максимальных скоростей ветра.

Построение кривых обеспеченностей суммарного равнообеспеченного ряда максимальных скоростей ветра осуществляется путем их ранжирования в убывающем порядке с последующим суммированием и присвоением соответствующей обеспеченности каждому члену вновь образованного ряда.

При построении кривой обеспеченности суммарного хронологического ряда суммирование модульных коэффициентов максимальных скоростей ветра производится за соответствующие годы в хронологическом порядке, затем выполняется ранжирование ряда в убывающем порядке. В качестве количественного показателя степени асинхронности максимальной скорости ветра используется отношение

$$K_{ac} = \frac{\sum_{j=1}^K K_{j\ xp}(P)}{\sum_{j=1}^K K_{j\ p\sigma}(P)}, \quad (3)$$

где $\sum_{j=1}^K K_{j\ xp}(P)$ – сумма хронологических ранжированных модульных коэффициентов;

$\sum_{j=1}^K K_{j\ p\sigma}(P)$ – сумма равнообеспеченных ранжированных модульных коэффициентов;

K – количество метеостанций.

Аппроксимация коэффициентов асинхронности осуществлялась зависимостями:

$$K_{ac}(P, \rho) = K_0(P) + \alpha(P) \cdot \rho, \quad (4)$$

где $K_{ac}(P, \rho)$ – коэффициент асинхронности максимальной скорости ветра между двумя метеостанциями (физико-географическими провинциями); $K_0(P)$ – эмпирический коэффициент, зависящий от расчетной обеспеченности; $\alpha(P)$ – эмпирический коэффициент; ρ – расстояние между двумя метеостанциями (физико-географическими провинциями).

Для реализации приведенной методики нами разработаны алгоритмы расчета и реализованы пакетом прикладных программ, составленных в системе Windows Visual Basic.

Результаты и обсуждение

Средняя максимальная годовая скорость ветра в Беларуси составляет 20,7 м/с (рисунок 1).

Абсолютный максимум годового порыва ветра за исследуемый период составил 35 м/с и зафиксирован 29 июля 2016 г. на метеостанции Березинский заповедник. Наибольшие максимальные порывы ветра отмечаются по линии Волковыск – Новогру-

док – Слуцк – Горки, а также на северо-западе республики. Устойчивой тенденции снижения абсолютных максимальных годовых порывов не выявлено, для некоторых метеорологических станций отмечается незначительный рост (таблица 1).

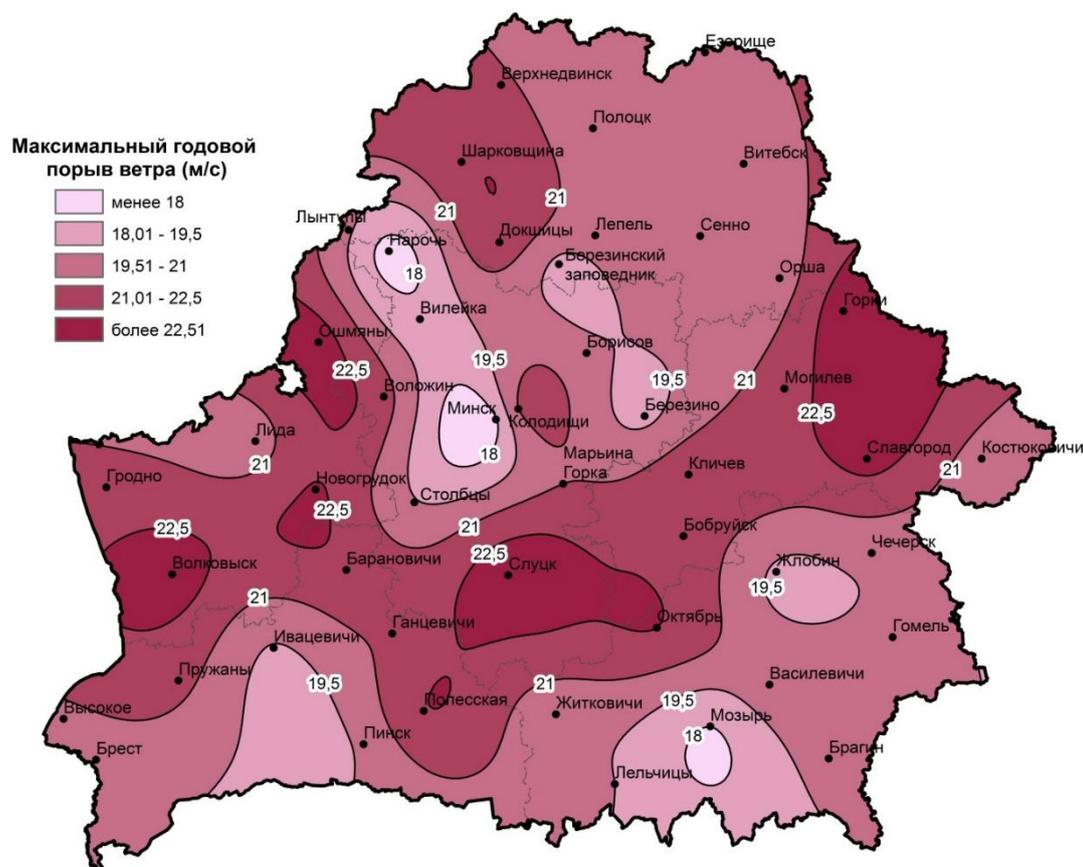


Рисунок 1 – Средний годовой абсолютный максимальный порыв ветра за период 1988–2020 гг.

Таблица 1 – Основные статистические параметры максимальных годовых скоростей ветра (1988–2020 гг.)

Метеостанция	Средняя многолетняя максимальная скорость ветра, м/с	Коэффициенты уравнения (1)				
		вариации	$V_{max}(0)$, м/с	$\pm \Delta V$, м/с/год	коррелиции	Градиент м/с/10 лет
Верхнедвинск	21,31	0,24	23	0,04	0,15	0,36
Витебск	20,25	0,29	22	-0,04	-0,17	-0,44
Езерище	20,55	0,35	19	-0,06	-0,20	-0,60
Лепель	19,78	0,25	23	-0,03	-0,11	-0,26
Лынтупы	19,63	0,22	19	-0,01	-0,05	-0,11
Полоцк	20,06	0,31	20	0,01	0,03	0,09
Сенно	19,84	0,28	21	-0,08	-0,30	-0,77
Шарковщина	22,31	0,36	23	-0,11	-0,35	-1,05
<i>Поозерская физико-географическая провинция</i>	<i>20,47</i>	<i>0,29</i>	<i>21,25</i>	<i>-0,04</i>	<i>-0,13</i>	<i>-0,35</i>
Волковыск	22,63	0,20	25	-0,09	-0,38	-0,86
Гродно, АМСГ	21,75	0,33	28	-0,11	-0,39	-1,10

Окончание таблицы 1

Лида	20,22	0,23	22	-0,02	-0,07	-0,16
Новогрудок	22,50	0,33	24	0,02	0,06	0,17
Ошмяны	23,16	0,29	28	-0,06	-0,21	-0,59
Борисов	19,63	0,20	20	0,07	0,31	0,65
Вилейка	18,79	0,49	21	-0,14	-0,45	-1,39
Воложин	21,53	0,34	24	0,02	0,06	0,18
Столбцы	19,68	0,29	22	0,05	0,18	0,47
Минск	17,94	0,16	19	-0,06	-0,35	-0,63
Березинский заповедник	19,34	0,68	20	-0,03	-0,08	-0,31
Докшицы	21,77	0,22	23	-0,03	-0,13	-0,31
<i>Западно-Белорусская физико-географическая провинция</i>	<i>20,75</i>	<i>0,31</i>	<i>23,00</i>	<i>-0,03</i>	<i>-0,12</i>	<i>-0,33</i>
Горки	23,28	0,37	25	0,06	0,18	0,55
Костюковичи	20,50	0,35	23	-0,00	0	-0,02
Могилев, АМСГ	21,50	0,21	23	-0,02	-0,10	-0,23
Славгород	23,06	0,33	24	-0,00	-0	-0,02
Орша	20,38	0,17	20	0,01	0,03	0,06
<i>Восточно-Белорусская физико-географическая провинция</i>	<i>21,74</i>	<i>0,29</i>	<i>23,00</i>	<i>0,01</i>	<i>0,02</i>	<i>0,07</i>
Жлобин	19,28	0,31	20	-0,13	-0,50	-1,29
Барановичи	21,94	0,27	27	-0,02	-0,07	-0,19
Пружаны	21,56	0,23	21	0,06	0,23	0,63
Ивацевичи	19,43	0,48	21	-0,08	0,23	-0,77
Березино	19,16	0,20	20	0,03	0,13	0,28
Марына Горка	20,84	0,18	22	-0,07	-0,35	-0,72
Слуцк	23,16	0,39	28	0,01	0,03	0,10
Бобруйск	21,88	0,25	22	-0,01	-0,03	-0,07
Кличев	21,69	0,31	24	-0,06	-0,22	-0,59
<i>Предполесская физико-географическая провинция</i>	<i>20,99</i>	<i>0,29</i>	<i>22,78</i>	<i>-0,03</i>	<i>-0,06</i>	<i>-0,29</i>
Брест	20,10	0,24	27	-0,05	-0,20	-0,46
Высокое	20,47	0,21	24	-0,05	-0,21	-0,48
Ганцевичи	20,87	0,39	24	-0,11	-0,35	-1,07
Пинск	19,94	0,31	23	0,03	0,12	0,32
Полесская, болотная	22,19	0,29	27	-0,11	-0,40	-1,08
Брагин	20,20	0,15	22	0,01	0,05	0,10
Василевичи	20,34	0,25	21	-0,10	-0,39	-0,95
Гомель	19,63	0,29	22	-0,02	-0,08	-0,20
Житковичи	20,28	0,17	24	0,01	0,07	0,14
Лельчицы	19,19	0,22	25	-0,17	-0,55	-1,68
Мозырь	17,97	0,25	20	-0,08	-0,37	-0,82
Октябрь	22,19	0,27	23	-0,01	-0,03	-0,09
<i>Полесская физико-географическая провинция</i>	<i>20,28</i>	<i>0,25</i>	<i>23,50</i>	<i>-0,05</i>	<i>-0,20</i>	<i>-0,52</i>
<i>Беларусь в целом</i>	<i>20,73</i>	<i>0,29</i>	<i>22,78</i>	<i>-0,03</i>	<i>-0,11</i>	<i>-0,33</i>

Примечание – Выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

Максимальные скорости ветра чаще всего регистрируются зимой. В этот период их доля составляет 37,3 %. Наибольшая повторяемость максимальной годовой скорости ветра наблюдается в январе – 20,4 %. Реже такие ветры отмечаются весной – 30,6 %.

Летом высокие скорости могут быть связаны с возникновением предгрозовых шквалов и регистрируются в 19,9 % случаев. Реже всего максимальные годовые скорости ветра фиксируются осенью – 12,2 %; минимальное их количество (2,8 %) приходится на сентябрь.

Таблица 2 – Число случаев максимальной годовой скорости ветра (1988–2020 гг.), %

Метеостанция	Месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Верхнедвинск	28,13	9,38	0,00	9,38	12,50	9,38	3,13	6,25	3,13	6,25	6,25	6,25
Витебск	28,13	9,38	9,38	15,63	15,63	6,25	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	0,00
Езерище	19,35	16,13	3,23	16,13	12,90	3,23	6,45	6,45	3,23	9,68	3,23	0,00
Лепель	34,38	6,25	6,25	12,50	3,13	6,25	3,13	6,25	6,25	3,13	3,13	9,38
Лынтупы	15,63	18,75	25,00	9,38	6,25	3,13	3,13	3,13	0,00	6,25	6,25	3,13
Полоцк	21,88	9,38	18,75	3,13	6,25	9,38	9,38	0,00	3,13	9,38	6,25	3,13
Сенно	18,75	12,50	9,38	6,25	9,38	6,25	9,38	6,25	0,00	6,25	6,25	9,38
Шарковщина	21,88	12,50	9,38	3,13	6,25	15,63	6,25	0,00	6,25	6,25	6,25	6,25
<i>Поозерская физико-географическая провинция</i>	<i>23,51</i>	<i>11,78</i>	<i>10,17</i>	<i>9,44</i>	<i>9,03</i>	<i>7,43</i>	<i>5,49</i>	<i>3,93</i>	<i>3,14</i>	<i>6,29</i>	<i>5,09</i>	<i>4,69</i>
Волковыск	28,13	3,13	21,88	6,25	0,00	0,00	6,25	12,50	0,00	3,13	9,38	9,38
Гродно, АМСГ	28,13	9,38	15,63	6,25	6,25	0,00	3,13	12,50	0,00	3,13	6,25	9,38
Лида	15,15	12,12	21,21	15,15	9,09	0,00	9,09	6,06	0,00	3,03	6,06	3,03
Новогрудок	28,13	9,38	15,63	15,63	3,13	0,00	9,38	3,13	0,00	6,25	6,25	3,13
Ошмяны	28,13	21,88	21,88	6,25	6,25	3,13	3,13	0,00	0,00	0,00	3,13	6,25
Борисов	12,50	9,38	12,50	9,38	9,38	9,38	15,63	3,13	6,25	0,00	9,38	3,13
Вилейка	33,33	18,52	7,41	14,81	11,11	3,70	0,00	3,70	0,00	0,00	3,70	3,70
Воложин	21,88	18,75	18,75	12,50	3,13	6,25	3,13	6,25	0,00	6,25	0,00	3,13
Минск	28,13	18,75	12,50	6,25	6,25	3,13	6,25	6,25	0,00	0,00	3,13	9,38
Столбцы	25,81	9,68	12,90	12,90	3,23	6,45	9,68	6,45	0,00	0,00	6,45	6,45
Березинский заповедник	15,63	9,38	18,75	9,38	3,13	6,25	3,13	6,25	0,00	9,38	12,50	6,25
Докшицы	23,33	20,00	10,00	6,67	13,33	3,33	3,33	0,00	0,00	3,33	6,67	10,00
<i>Западно-Белорусская физико-географическая провинция</i>	<i>24,02</i>	<i>13,36</i>	<i>15,75</i>	<i>10,12</i>	<i>6,19</i>	<i>3,47</i>	<i>6,01</i>	<i>5,52</i>	<i>0,52</i>	<i>2,87</i>	<i>6,07</i>	<i>6,10</i>
Горки	28,13	3,13	9,38	12,50	3,13	12,50	9,38	3,13	0,00	6,25	6,25	6,25
Костюковичи	15,63	6,25	21,88	18,75	3,13	9,38	6,25	0,00	3,13	6,25	3,13	6,25
Могилев, АМСГ	18,75	15,63	9,38	15,63	12,50	6,25	3,13	3,13	0,00	0,00	6,25	9,38
Славгород	15,63	3,13	12,50	18,75	6,25	0,00	12,50	3,13	3,13	3,13	9,38	12,50
Орша	15,63	6,25	12,50	18,75	6,25	12,50	12,50	3,13	6,25	3,13	0,00	3,13
<i>Восточно-Белорусская физико-географическая провинция</i>	<i>18,75</i>	<i>6,88</i>	<i>13,13</i>	<i>16,88</i>	<i>6,25</i>	<i>8,13</i>	<i>8,75</i>	<i>2,50</i>	<i>2,50</i>	<i>3,75</i>	<i>5,00</i>	<i>7,50</i>
Жлобин	15,63	6,25	18,75	12,50	12,50	3,13	6,25	3,13	6,25	3,13	3,13	9,38
Барановичи	18,75	9,38	15,63	9,38	0,00	9,38	9,38	12,50	0,00	0,00	3,13	12,50
Пружаны	22,22	11,11	25,93	3,70	7,41	0,00	3,70	7,41	0,00	3,70	7,41	7,41
Ивацевичи	16,67	10,00	20,00	6,67	6,67	3,33	13,33	10,00	0,00	0,00	3,33	10,00

Окончание таблицы 2

Березино	12,50	6,25	12,50	9,38	3,13	9,38	9,38	12,50	9,38	0,00	6,25	9,38
Марына Горка	25,00	6,25	9,38	3,13	3,13	9,38	15,63	6,25	3,13	3,13	6,25	9,38
Слуцк	15,63	12,50	6,25	9,38	9,38	12,50	3,13	3,13	0,00	6,25	6,25	15,63
Бобруйск	18,75	9,38	9,38	12,50	6,25	9,38	3,13	9,38	6,25	0,00	6,25	9,38
Кличев	28,13	3,13	18,75	12,50	3,13	6,25	6,25	3,13	0,00	3,13	6,25	9,38
Предполеская физико- географическая провинция	19,25	8,25	15,17	8,79	5,73	6,97	7,80	7,49	2,78	2,15	5,36	10,27
Брест	22,58	12,90	16,13	3,23	9,68	0,00	16,13	0,00	0,00	0,00	12,90	6,45
Высокое	15,63	15,63	12,50	0,00	3,13	6,25	15,63	12,50	3,13	3,13	6,25	6,25
Ганцевичи	20,00	6,67	6,67	13,33	6,67	6,67	0,00	13,33	3,33	3,33	10,00	10,00
Пинск	21,88	9,38	12,50	9,38	3,13	3,13	9,38	6,25	6,25	3,13	12,50	3,13
Полеская, бо- лотная	12,50	0,00	18,75	25,00	6,25	6,25	3,13	12,50	3,13	6,25	3,13	3,13
Брагин	16,67	13,33	13,33	6,67	13,33	3,33	6,67	10,00	6,67	3,33	6,67	0,00
Василевичи	9,38	15,63	15,63	6,25	18,75	3,13	9,38	0,00	9,38	0,00	9,38	3,13
Гомель	15,63	12,50	12,50	3,13	6,25	15,63	12,50	6,25	6,25	0,00	6,25	3,13
Житковичи	15,63	6,25	12,50	9,38	6,25	18,75	9,38	9,38	0,00	3,13	3,13	6,25
Лельчицы	15,38	7,69	19,23	0,00	7,69	7,69	7,69	11,54	3,85	11,54	3,85	3,85
Мозырь	12,50	9,38	15,63	3,13	6,25	0,00	15,63	3,13	12,50	3,13	6,25	12,50
Октябрь	18,75	3,13	12,50	6,25	6,25	12,50	18,75	9,38	3,13	3,13	3,13	3,13
Полеская физико- географическая провинция	16,38	9,37	13,99	7,14	7,80	6,94	10,35	7,85	4,80	3,34	6,95	5,08
Беларусь в целом	20,40	10,30	13,90	9,75	6,98	6,29	7,75	5,88	2,77	3,53	5,88	6,57

На рисунке 2 представлена ПКФ максимальных годовых скоростей ветра в целом для Беларуси.

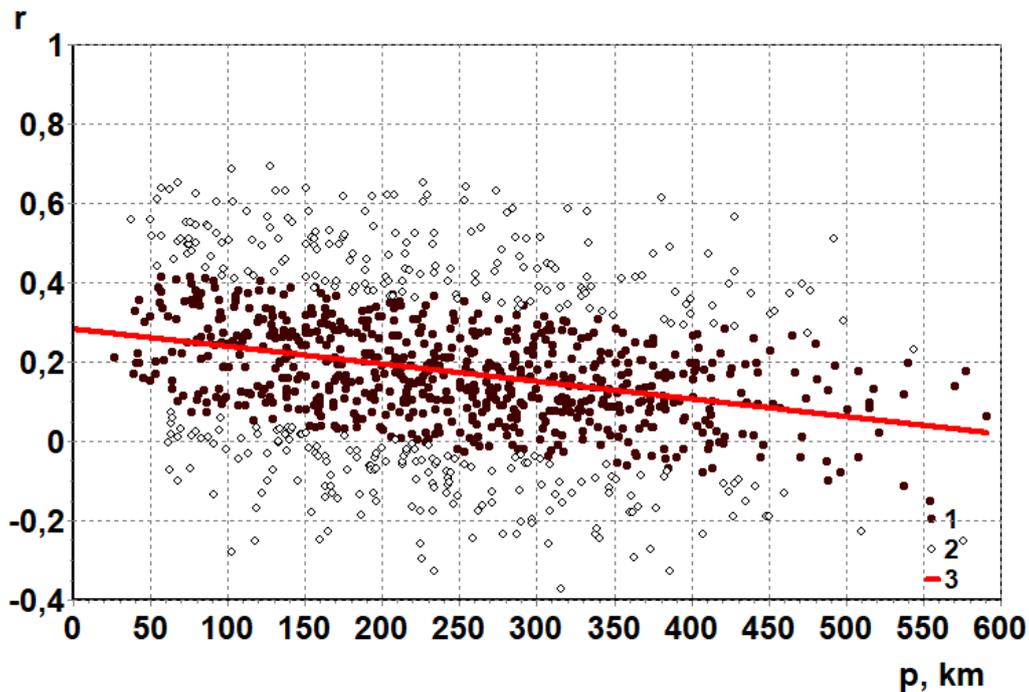


Рисунок 2 – Пространственно-корреляционные функции максимальных годовых скоростей ветра в Беларуси за период 1988–2020 гг.

В результате анализа выборочных средних максимальных скоростей ветра по физико-географическим провинциям статистически значимые различия при уровне значимости $\alpha = 5\%$ установлены в январе для Западно-Белорусской – Предполесской, Поозерской – Полесской, Западно-Белорусской – Полесской провинций; в феврале – для Поозерской – Предполесской, Западно-Белорусской – Восточно-Белорусской, Западно-Белорусской – Предполесской, Западно-Белорусской – Полесской провинций. В апреле установлены статистически значимые различия Восточно-Белорусской провинции от остальных. В июне отмечаются статистически значимые различия Западно-Белорусской провинции от Поозерской, Предполесской и Полесской провинций. В июле такие различия выявлены для Полесской провинции от Поозерской и Западно-Белорусской. В августе различия установлены для Западно-Белорусской – Восточно-Белорусской, Предполесской – Поозерской, Предполесской – Восточно-Белорусской, Полесской – Поозерской, Полесской – Восточно-Белорусской провинций. В сентябре – для Западно-Белорусской от Поозерской и Полесской. Для октября установлены различия между Поозерской и Западно-Белорусской, Предполесской, Полесской провинциями. В декабре отмечены статистически значимые различия Предполесской провинции от Поозерской, Западно-Белорусской, Полесской провинций.

В марте, мае, ноябре не выявлено статистически значимых различий в максимальных скоростях ветра в пределах физико-географических провинций.

Отмечено, что статистически значимые различия для Восточно-Белорусской провинции приходятся на апрель и август.

Общий статистический анализ показал, что в 33,3 % случаев статистически значимые различия выборочных средних максимальных скоростей ветра наблюдаются между Поозерской, Западно-Белорусской и Предполесской, Полесской провинциями, что обусловлено различиями в физико-географическом положении и рельефе этих территорий. Минимальные различия (8,3 %) отмечаются в провинциях со схожими природными условиями и рельефом: Поозерской – Восточно-Белорусской и Предполесской – Полесской провинции.

Статистически значимые различия характера колебания в феврале выявлены между Западно-Белорусской – Предполесской провинциями. В марте – для Поозерской – Полесской и Предполесской – Полесской провинций. Для апреля характерны различия Полесской провинции от Западно-Белорусской, Восточно-Белорусской, Предполесской; в июне – между Западно-Белорусской и Полесской провинциями, а в июле – между Поозерской и Полесской. Для августа характерны значимые различия коэффициентов вариации между Восточно-Белорусской и Западно-Белорусской, Предполесской, Полесской провинциями; для сентября – между Западно-Белорусской и Предполесской, Полесской провинциями. Ноябрь характеризуется максимальным количеством значимых различий: Поозерской от Западно-Белорусской, Восточно-Белорусской, Полесской провинций, Предполесской от Поозерской, Западно-Белорусской, Восточно-Белорусской, Полесской провинций.

Для января, мая, октября и декабря статистически значимых различий коэффициентов вариации не выявлено.

По итогам анализа статистически значимые различия характера колебания в 33,3 % случаев отмечаются между Поозерской и Западно-Белорусской провинциями с одной стороны и Предполесской и Полесской провинциями – с другой. Для этих провинций характерны отличительные отметки высот рельефа и значительная протяженность данных провинций.

Корреляционный анализ показал наличие корреляционной связи максимальных скоростей ветра в феврале между Поозерской и Западно-Белорусской, Восточно-Белорусской и Полесской провинциями, а также между Восточно-Белорусской и Пред-

полесской провинциями. В июле статистически значимая корреляция выявлена между Поозерской и Восточно-Белорусской, Предполесской и Западно-Белорусской, Предполесской и Восточно-Белорусской провинциями. В январе корреляция отмечена для Полесской с Поозерской и Восточно-Белорусской провинций. В марте – между Западно-Белорусской – Восточно-Белорусской и Предполесской – Полесской провинциями. В августе – для Западно-Белорусской – Восточно-Белорусской и Предполесской – Полесской провинций. В ноябре корреляция выявлена для Восточно-Белорусской с Западно-Белорусской и Полесской провинций. В мае и декабре – для Западно-Белорусской и Восточно-Белорусской провинций. В июне – для Западно-Белорусской и Предполесской провинций. В октябре – для Поозерской и Восточно-Белорусской провинций. В апреле и сентябре корреляции между физико-географическими провинциями не выявлено.

В результате обобщения полученных данных о корреляции между физико-географическими провинциями выявлено, что в 33,3 % случаев статистически значимая корреляция отмечается для Восточно-Белорусской провинции с Поозерской и Западно-Белорусской провинциями. Корреляции между Поозерской и Предполесской, Западно-Белорусской и Полесской провинциями не выявлено.

При определении асинхронности проведены расчеты как для всей территории Беларуси, так и для отдельных физико-географических провинций (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициент асинхронности максимальных скоростей ветра между физико-географическими провинциями при обеспеченности 5%

	З.-Б.	В.-Б.	Пред.	Пол.	Бел.
Пооз.	0,909	0,955	0,983	0,973	0,989
З.-Б.		0,954	0,988	0,988	1,000
В.-Б.			0,976	0,966	0,973
Пред				0,981	0,987
Пол					0,992

Примечание – Пооз. – Поозерская физико-географическая провинция; З.-Б. – Западно-Белорусская физико-географическая провинция; В.-Б. – Восточно-Белорусская физико-географическая провинция; Пред. – Предполесская физико-географическая провинция; Пол. – Полесская физико-географическая провинция; Бел. – Беларусь.

Величина коэффициента асинхронности колеблется в пределах 0,909–1,0, где 1 – это показатель отсутствия асинхронности. Глобальной причиной изменения асинхронности выступает комплекс природных условий: географическое положение, тип циркуляции атмосферы, рельеф. Кроме этого на величину асинхронности оказывают влияние частные факторы, формирующие своеобразие территории.

Наименьшее значение коэффициента асинхронности характерно для Поозерской – Западно-Белорусской физико-географических провинций, которые характеризуются различным рельефом территории (в основе Поозерской провинции лежит Полоцкая низменность, на востоке окаймленная Витебской и Городокской возвышенностями, а Западно-Белорусская провинция характеризуется чередованием возвышенностей Белорусской гряды и понижений речных долин), а также значительными различиями площади, занимаемой провинциями.

Меньшее значение коэффициента асинхронности характерно для Восточно-Белорусской физико-географической провинции, которая характеризуется небольшой площадью занимаемой территории, равнинным рельефом и географическим положением на крайнем востоке Беларуси, где наблюдается ослабление воздушных масс Атлантического океана и выражена большая континентальность климата.

Заклучение

Средняя максимальная годовая скорость ветра в Беларуси составляет 20,7 м/с. Максимальные скорости ветра чаще всего регистрируются зимой. В этот период их доля составляет 37,3 %. Наибольшая повторяемость максимальной годовой скорости ветра наблюдается в январе – 20,4 %. Минимальное их количество (2,8 %) приходится на сентябрь.

Общий статистический анализ показал, что статистически значимые различия выборочных средних максимальных скоростей ветра наиболее характерны для Поозерской, Западно-Белорусской и Предполесской, Полесской провинций, что обусловлено различиями в физико-географическом положении и рельефе данных территорий.

Статистически значимые различия характера колебания в 33,3 % случаев отмечаются между Поозерской и Западно-Белорусской провинциями с одной стороны и Предполесской и Полесской провинциями – с другой. Для этих провинций характерны отличительные отметки высот рельефа и значительная протяженность данных провинций.

Общий корреляционный анализ показал, что в 33,3 % случаев статистически значимая корреляция отмечается для Восточно-Белорусской провинции с Поозерской и Западно-Белорусской провинциями.

Рассчитаны коэффициенты асинхронности как для всей территории Беларуси, так и для отдельных физико-географических провинций. Меньшее значение коэффициента асинхронности характерно для Восточно-Белорусской физико-географической провинции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волчек, А. А. Ветровой режим Белорусского Полесья / А. А. Волчек, А. В. Гречаник // Прыроднае асяроддзе Пасесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. пр. VIII Міжнар. навук. канф. «Прыроднае асяроддзе Пасесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання», Брэст, 12–14 верас. 2018 г. / Палес. аграр.-экал. ін-т НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.] – Брэст : Альтэрнатыва, 2018. – Вып. 11. – С. 24–26.
2. Волчек, А. А. Колебания скорости ветра на территории Беларуси на рубеже XX–XXI столетий / А. А. Волчек, А. В. Гречаник // Актуальные проблемы наук о Земле: исследование трансграничных регионов : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 1. – С. 201–204.
3. Волчек, А. А. Современный ветровой режим Беларуси / А. А. Волчек, А. В. Гречаник // Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств», Гомель, 28–29 нояб. 2019 г. : в 2 ч. ; редкол.: А. И. Павловский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2019. – Ч. 1. – С. 379–381.
4. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Ин-т геол. наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.
5. Логинов, В. Ф. Географические особенности распределения гроз и шквалов на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Природопользование. – 2009. – Вып. 15. – С. 42–49.

6. Справочник по климату СССР : в 34 вып. / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Упр. гидрометеорол. службы Белорус. ССР, Мин. гидрометеорол. обсерватория / сост. А. П. Шичко [и др.]. – Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД, 1975. – Вып. 7 : Белорусская ССР, ч. 3 : Ветер, т. 1 : Направление ветра: Метеорологические данные за отдельные годы. – 593 с.
7. Справочник по климату СССР : в 34 вып. / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Упр. гидрометеорол. службы Белорус. ССР, Мин. гидрометеорол. обсерватория / отв. ред. Н. А. Малишевская. – Л. : Гидрометеоздат, 1966. – Вып. 7 : Белорусская ССР, ч. 3 : Ветер. – 156 с.
8. Теоретические проблемы и результаты комплексного географического районирования территории Беларуси / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Выбр. навук. пр. БДУ : у 7 т. – Минск : БДУ, 2001. – Т. 7. – С. 332–356.
9. Нацыянальны атлас Беларусі / пад рэд. М. У. Мясніковіча [і інш.]. – Мінск : Кам. па геадэзіі пры Саўеце Міністраў Рэсп. Беларусь, 2002. – 292 с.
10. Энциклопедия природы Беларуси : у 5 т. / рэдкал.: І. П. Шамякін (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск : БелСЭ, 1986. – Т. 5 : Стаўраструм – Яшчур. – 583 с.
11. Изменения климата: последствия, смягчение, адаптация : учеб.-метод. комплекс / М. Ю. Бобрик [и др.]. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2015. – 424 с.
12. Логинов, В. Ф. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2004. – 301 с.
13. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.
14. Сомов, Н. В. Асинхронность колебаний стока крупных рек СССР / Н. В. Сомов // Метеорология и гидрология. – 1963. – № 5. – С. 14–21.

REFERENCES

1. Volchik, A. A. Vietrovoj riezhim Bieloruskogo Polies'ja / A. A. Volchik, A. V. Griechanik // Pryrodnaje asiaroddzie Pasiessia: asablivasci i pierspiektyvy razvicia : zb. navuk. pr. VIII Mizhnar. navuk. kanf. «Pryrodnaje asiaroddzie Pasiessia i navukovapraktychnyja aspiekty racyjanal'naha resursakarystannia», Brest, 12–14 vieras. 2018 h. / Palies. ahrar.-ekal. in-t NAN Bielarusi ; redkal.: M. V. Mikhal'chuk (hal. red.) [i insh.] – Brest : Al'ternativa, 2018. – Vyp. 11. – S. 24–26.
2. Volchik, A. A. Koliebanija skorosti vietra na tierritorii Bielarusi na rubiezhe XX–XXI stolietij / A. A. Volchik, A. V. Griechanik // Aktual'nyje problimy nauk o Ziemlie: issliedovanije transgranichnykh riegionov : sb. matierialov IV Miezhhdunar. nauch.-prakt. konf., priuroch. k 1000-lietiju g. Briesta, Briest, 12–14 sient. 2019 g. : v 2 ch. / In-t prirodopol'zovanija NAN Bielarusi, Briest. gos. un-t im. A. S. Pushkina, Briest. gos. tiekhn. un-t ; riedkol.: A. K. Karabanov, M. A. Bogdasarov, A. A. Volchik. – Briest : BrGU, 2019. – Ch. 1. – S. 201–204.
3. Volchik, A. A. Sovriemiennyj vietrovoj riezhim Bielarusi / A. A. Volchik, A. V. Griechanik // Aktual'nyje voprosy nauk o Ziemlie v koncepcii ustojchivogo razvitija Bielarusi i sopriediel'nykh gosudarstv : sb. matierialov V Miezhhdunar. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nyje voprosy nauk o Ziemlie v koncepcii ustojchivogo razvitija Bielarusi i sopriediel'nykh gosudarstv», Gomiel', 28–29 nojab. 2019 g. : v 2 ch. ; riedkol.: A. I. Pavlovskij (gl. ried.) [i dr.]. – Gomiel' : GGU im. F. Skoriny, 2019. – Ch. 1. – S. 379–381.
4. Klimat Bielarusi / pod ried. V. F. Loginova. – Minsk : In-t gieol. nauk AN Bielarusi, 1996. – 234 s.

5. Loginov, V. F. Geografichieskije osobienosti raspriedielienija groz i shkvalov na territorii Bielarusi / V. F. Loginov, A. A. Volchik, I. N. Shpoka // Prirodopol'zovanie. – Vyp. 15. – 2009. – S. 42–49.
6. Spravochnik po klimatu SSSR : v 34 vyp. / Gl. upr. gidromieteorol. sluzhby pri Sovietie Ministrov SSSR, Upr. gidromieteorol. sluzhby Bielor. SSR, Min. gidromieteorol. obsiervatorija / sost. A. P. Shichko [i dr.]. – Obninsk : VNIIGMI-MCD, 1975. – Vyp. 7 : Bieloruskaja SSR, ch. 3 : Vietier, t. 1 : Napravlienije vietra: Mieteorologichieskije dannyje za otdeel'nyje gody. – 593 s.
7. Spravochnik po klimatu SSSR : v 34 vyp. / Gl. upr. gidromieteorol. sluzhby pri Sovietie Ministrov SSSR, Upr. gidromieteorol. sluzhby Bielor. SSR, Min. gidromieteorol. obsiervatorija / otv. ried. N. A. Malishevskaja. – L. : Gidromieteoizdat, 1966. – Vyp. 7 : Bieloruskaja SSR, ch. 3 : Vietier. – 156 s.
8. Tieorietichieskije problimy i riezul'taty kompleksnogo geografichieskogo rajonirovanija tierritorii Bielarusi / G. I. Marcinkievich [i dr.] // Vybr. navuk. pr. BDU : u 7 t. – Minsk : BDU, 2001. – T. 7. – S. 332–356.
9. Nacyjanal'ny atlas Bielarusi / pad red. M. U. Miasnikovicha [i insh.]. – Minsk : Kam. hieadezii pry Saviecie Ministrau Resp. Bielarus', 2002. – 292 s.
10. Encyklapiedyja pryrody Bielarusi : u 5 t. / redkal.: I. P. Shamiakin (hal. red.) [i insh.]. – Minsk : BielSE, 1986. – T 5 : Staurastrum – Jashchur. – 583 s.
11. Izmienienija klimata: posliedstvija, smiagchienenije, adaptacija : uchieb.-mietod. kompleks / M. Yu. Bobrik [i dr.]. – Vitiebsk : VGU im. P. M. Masherova, 2015. – 424 s.
12. Loginov, V. F. Praktika primienienija statistichieskikh mietodov pri analizie i prognoze prirodnykh processov / V. F. Loginov, A. A. Volchik, P. V. Shviedovskij. – Briest : Izd-vo BuGTU, 2004. – 301 s.
13. Loginov, V. F. Vodnyj balans riechnykh vodosborov Bielarusi / V. F. Loginov, A. A. Volchik. – Minsk : Tonpik, 2006. – 160 s.
14. Somov, N. V. Asinkhronnost' koliebanij stoka krupnykh riek SSSR / N. V. Somov // Mieteorologija i gidrologija. – 1963. – № 5. – S. 14–21.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 29.11.2023

УДК 551.793+551.89

Татьяна Борисовна Рылова

д-р геол.-минерал. наук, доц.,

гл. науч. сотрудник лаборатории современной геодинамики и палеогеографии
Института природопользования Национальной академии наук Беларуси**Tatyana Rylova**Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,
Chief Researches of Laboratory of Modern Geodynamics and Paleogeography
of Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus
e-mail: rylova_tatyana18@mail.ru

О НОВЫХ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯХ БЕЛОВЕЖСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕНА НА ТЕРРИТОРИИ ИВАЦЕВИЧСКОГО РАЙОНА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

Представлены результаты палинологических исследований древнеозерных отложений, вскрытых скважинами 1815 у д. Гошево и 1807 у д. Алексейки в Ивацевичском районе Брестской области, обоснован их беловежский возраст. Формирование отложений, изученных по скв. 1815 у д. Гошево, происходило в течение начальных фаз и части климатического оптимума борковского теплого интервала беловежского времени, а отложений, изученных по скв. 1807 у д. Алексейки, – на протяжении климатического оптимума и заключительных фаз борковского интервала беловежского времени плейстоцена Беларуси. Выполнены реконструкции соответствующих фаз развития растительности, а также палеотемпературных параметров для самой теплой фазы этого времени.

Ключевые слова: палинологический анализ, палиностратиграфия, беловежский горизонт, борковский подгоризонт, плейстоцен, растительность, борковское время, Беларусь.

New Locations of Pleistocene Belovezhian Sediments on the Territory of Ivatsevichi District of Brest Region

The results of palynological studies of ancient lake sediments uncovered by boreholes 1815 near the village of Goshchevo and 1807 near the village of Alekseyki in the Ivatsevichi district of the Brest region are presented. Belovezhian age of corresponding deposits is substantiated. Formation of sediments studied in the borehole 1815 (Goshchevo) occurred during the initial phases and part of the climatic optimum of the Borkovian warm interval of the Belovezhian time. And the deposits studied from the borehole 1807 (Alekseyki) was forming during the climatic optimum and the final phases of the same time interval. Reconstructions of the corresponding phases of vegetation development, as well as paleotemperature parameters for the warmest phase of this time were made.

Key words: palynological analysis, palynostratigraphy, Belovezhian horizon, Borkovian subhorizon, Pleistocene, vegetation, Borkovian time, Belarus.

Введение

Беловежский горизонт среднего плейстоцена, согласно Стратиграфической схеме четвертичных отложений Беларуси, расположен между наревским и березинским ледниковыми горизонтами и включает три подгоризонта (борковский, нижнинский и могилевский) [1].

На территории Брестской области известно около десятка местонахождений отложений данного горизонта, изученных палинологическим методом, в т. ч. в Ивацевичском р-не – разрезы Ятвезь (скв. 1885 и скв. 6) [2; 3], Яглевичи (скв. 9) [2], Гошево (скв. 1815) и Алексейки (скв. 1807). Схема расположения данных скважин показана на рисунке 1 (А).

Последние два разреза были пробурены в 1987 г. Белорусской геологоразведочной экспедицией при поисковых работах на бурые угли. Результаты палинологических исследований по скв. 1807 кратко представлены в материалах VI Международной научно-практической конференции в г. Бресте [4], а по скв. 1815 ранее не опубликова-

лись. Все полученные по этим разрезам данные, которые позволяют обосновать беловежский возраст изученных отложений, приведены в данной статье.

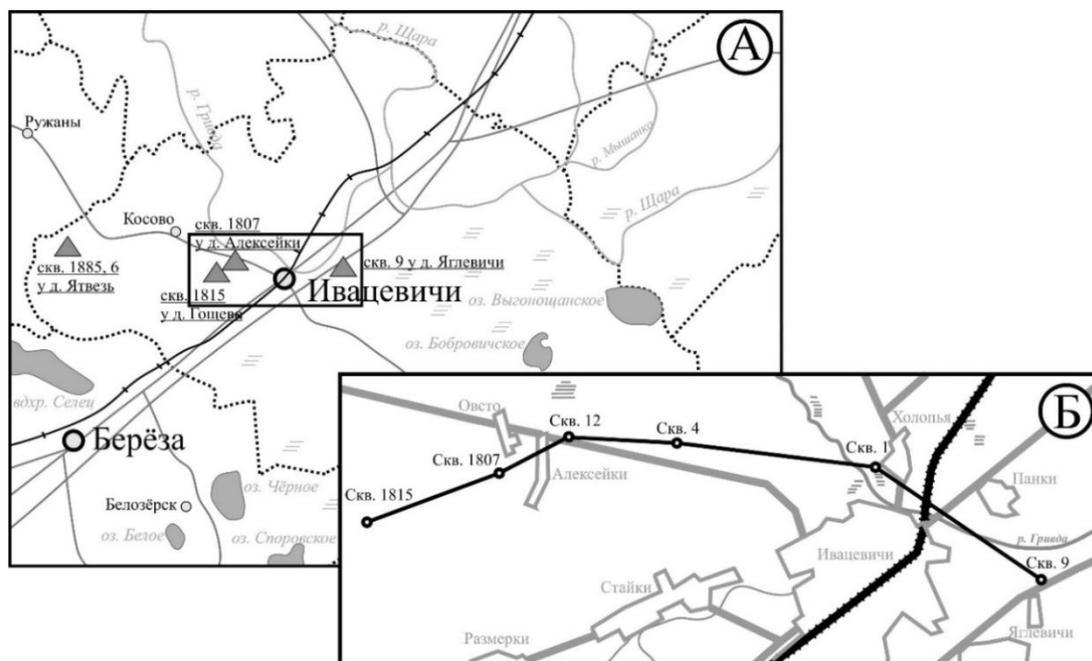


Рисунок 1 – Схема расположения скважин, вскрывших отложения беловежского горизонта, изученные палинологическим методом на территории Ивацевичского р-на Брестской обл. (А), линия геологического профиля (Б)

Материал и методы исследования

Скв. 1815 пробурена в 3,3 км на север-северо-восток от центра д. Гощево Ивацевичского р-на Брестской обл. Согласно геологическому описанию, выполненному Р. А. Зиновой и Л. И. Мурашко, скважиной вскрыты следующие отложения (таблица 1):

Таблица 1 – Отложения, вскрытые в Скв. 1815

	Состав отложений	Глубина, м
1.	Песок серо-желтый, светло-желтый, разнозернистый, преимущественно мелкозернистый, с гравием кристаллических пород до 5 %, гравий приурочен к основанию разреза.	0,0–15,1
2.	Супесь моренная коричнево-серая, с гравием и галькой изверженных и метаморфических пород 5–10 %. Пройден обуренный валун гранито-гнейса до 10 см в диаметре.	15,1–16,7
3.	Песок желто-серый, мелко- и тонкозернистый с примесью темноцветных минералов. На глубине 34,5 м – крупная галька кремня.	16,7–38,5
4.	Торф темно-серый до черного с бурым оттенком сверху и темно-серым внизу, плотный, с большим количеством неразложившихся растительных остатков, сильно спрессованный, постепенно переходит в сапропелитовую (диатомовую) породу.	38,5–39,4
5.	Супесь диатомовая светло-серая, бело-серая, с большим количеством обрывков стеблей растений, листьев, многочисленных раковин моллюсков, с редкими зернами кварца, тонкослоистая, слоистость обусловлена примесью глинистых частиц. Отмечено огромное число раковин пелецедоп с сохранившимся перламутром, множество обломков.	39,4–40,1
6.	Супесь диатомовая темно-серая, тонкая, озерная, с остатками растений коричневого цвета, с вивианитом.	40,1–40,5

Окончание таблицы 1

7.	Супесь зеленовато-серая, горизонтально слоистая, с большим количеством обломков раковин моллюсков и растительных остатков в виде стволов, обрывков листьев.	40,5–41,9
8.	Супесь зеленовато-серая, почти суглинок или глина, с включениями органики в виде хорошо разложившихся остатков.	41,9–44,2
9.	Гравийно-песчаная смесь светло-серая, сцементированная, гравий (2–7 мм) представлен кварцем, обломками изверженных и метаморфических пород.	44,2–45,2
10.	Чередование алевритов и глин светло-серых, карбонатных с остатками хорошо разложившейся органики. Породы этого горизонта плохо подняты. В грубых фракциях отмечено большое количество гальки и гравия до 10 %. Алевриты слюдистые, тонкослоистые. Нижняя граница определяется неуверенно, т. к. керн сильно перекручен.	45,2–66,8
11.	Глины плотные, массивные, комковатые, темно-серые, переслаиваются желто-серыми, пятнами белый каолинит, глины постепенно становятся более запесоченными и переходят в основании в песок мелко- и тонкозернистый, сильно глинистый, преимущественно кварцевый с редкой примесью темноцветных минералов.	66,8–72,4
12.	Песок темно-серый, однородный, сортированный, чисто кварцевый, слегка глинистый, в основании слоя отмечен слой песка с большим количеством крупных зерен кварца размером до 0,5 см.	72,4–83,3
13.	Алеврит темно-зеленый, сильно глинистый, глауконитово-кварцевый, слабослюдистый, глины темно-серые.	83,3–85,3
14.	Песок мелко- и тонкозернистый, зеленовато-серый (светлые глинистые алевриты) глауконитово-кварцевый, сильно слюдистый.	85,3–98,7
15.	Песок алевритистый, серо-зеленый, глауконитово-кварцевый с примесью до 5 % гравия кварца, гальки, кремней, фосфоритов, песчаников, очень плотный с кварц-глауконитовым цементом.	98,7–102,0
16.	Мел белый пясчий.	102,0–109,0

Скв. 1807 расположена в 150 м на запад от центра д. Алексейки Ивацевичского р-на Брестской обл. Сверху вниз скважиной вскрыты следующие слои (описание выполнено Р. А. Зиновой и Л. И. Мурашко) (таблица 2):

Таблица 2 – Отложения, вскрытые в Скв. 1807

	Состав	Глубина, м
1.	Песок желтый средне- и мелкозернистый	0,0–6,0
2.	Песок светло-желтый средне- и мелкозернистый	6,0–35,4
3.	Супесь диатомовая серая, плотная	35,4–36,8
4.	Глина черная, комковатая	36,8–42,2
5.	Супесь диатомовая серая, плотная, слабосцементированная	42,2–51,2
6.	Глина темновато-серая, плотная, жирная, комковатая	51,2–52,4
7.	Глина серая, плотная, жирная	52,4–53,3
8.	Супесь серая, грубая, моренная, с галькой и гравием	53,3–55,8
9.	Песок серый, мелко- и тонкозернистый	55,8–83,0
10.	Супесь серая, тонкая, плотная, комковатая	83,0–86,4
11.	Песок серый, средне- и мелкозернистый, кварцевый	86,4–96,6
12.	Песок серый, мелкозернистый, кварцевый, плотный	96,6–123,8

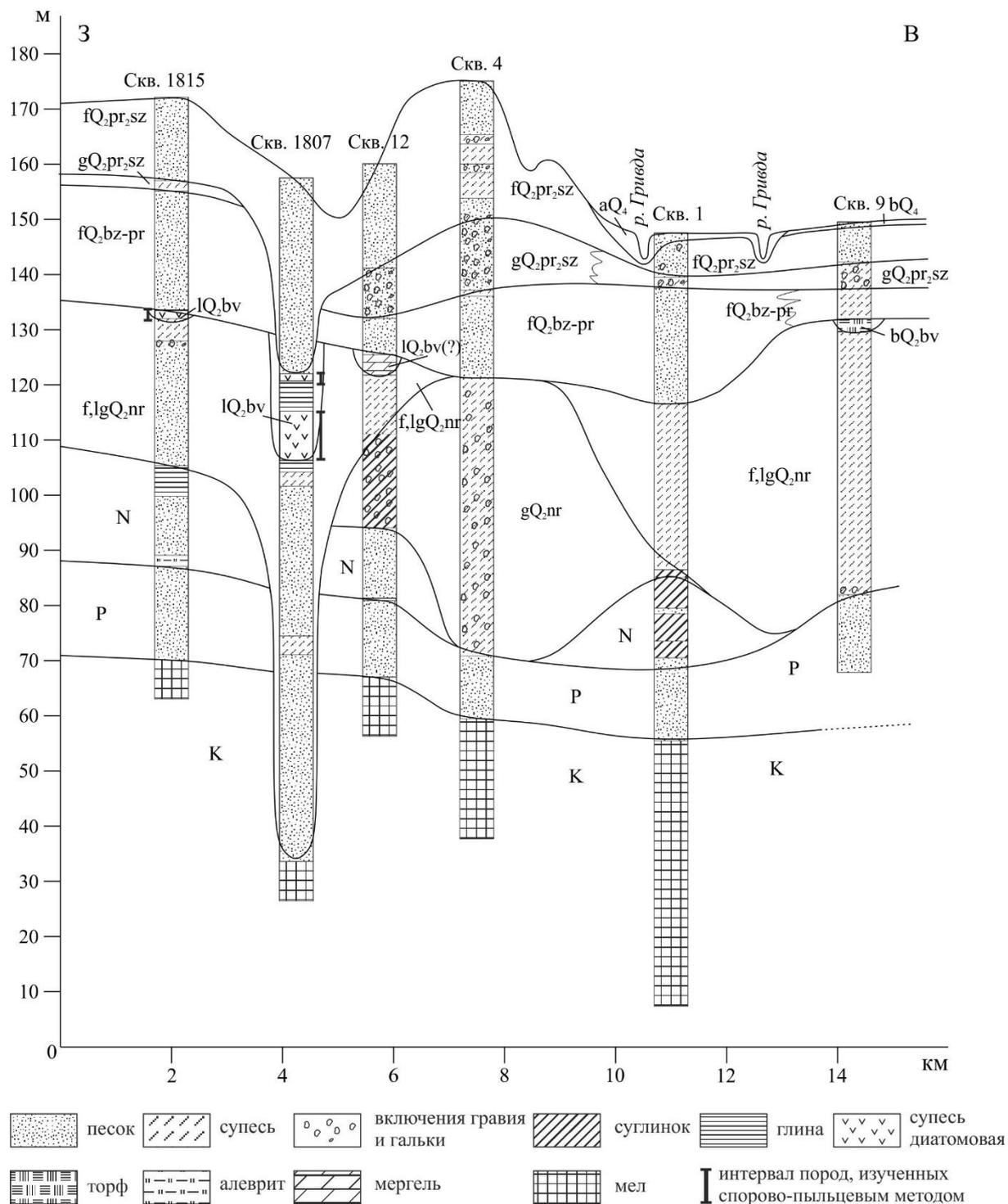


Рисунок 2 – Схематический геологический профиль по линии Гощево – Яглевичи (составлен А. В. Шидловской)

Для уточнения геологического строения территории исследований построен схематический геологический профиль по линии Гощево – Яглевичи (рисунок 1 (Б)).

Геоморфологически данный регион приурочен к Косовской равнине области равнин и низин Предпоесья. На профиле (рисунок 2) видно, что дочетвертичные породы в данном регионе представлены отложениями меловой, палеогеновой и неогеновой систем. Четвертичную толщу слагают образования наревского горизонта, нерасчлененные березинско-припятские отложения, а у поверхности залегают породы сожского подгоризонта припятского горизонта плейстоцена Беларуси. При отступании наревского ледника образовалась глубокая палеоложбина, которая заполнилась флювиогляциальными песками и супесями, а в последующее беловежское время – озерными отложениями. Небольшие линзы беловежских озерных и болотных образований встречаются по всей территории исследований.

Из древнеозерных отложений, вскрытых скважинами 1815 у д. Гощево (таблица 1) (слои 5–6, глубина 39,40–40,75 м) и 1807 у д. Алексейки (таблица 2) (слои 3–5, глубина 35,4–51,2 м), на палинологический анализ было отобрано соответственно 43 и 15 образцов. Выделение пыльцы и спор производилось сепарационным методом с применением тяжелой жидкости. Для определения таксонов использован световой микроскоп Ergaval с рабочим увеличением $\times 400$ и $\times 1\,000$, а также атласы-определители с детальными морфологическими описаниями пыльцы и спор важнейших представителей современной флоры.

Построение спорово-пыльцевых диаграмм выполнено с использованием специализированной компьютерной программы POLPAL [5]. Процентное содержание пыльцы каждого таксона древесных, кустарниковых и травянистых наземных растений вычислялось от суммы AP + NAP (AP – arborum pollen; NAP – non-arborum pollen), водных растений и спор – от суммы AP + NAP + подсчитываемый таксон.

На каждой спорово-пыльцевой диаграмме по особенностям таксономического состава спектров и количественного содержания важнейших таксонов выделялись локальные пыльцевые зоны – L PAZ (local pollen assemblage zones), которые на основании определенной их последовательности, а также выявленных особенностей были сопоставлены с соответствующими региональными пыльцевыми зонами – R PAZ (regional pollen assemblage zones) в составе беловежского горизонта плейстоцена Беларуси [1; 6; 7].

Схема палиностратиграфического расчленения отложений беловежского горизонта плейстоцена Беларуси, а также подстилающих его верхненаревских и перекрывающих нижнеберезинских отложений приведена в таблице 3 [1]. Таксономический состав спектров и количественное содержание пыльцы важнейших компонентов в каждой локальной зоне явились также основой для выявления последовательных фаз развития растительности в исследуемом регионе на протяжении изученного интервала среднего плейстоцена. Выполненная реконструкция каждой последовательной фазы развития растительности в исследуемом регионе свидетельствует об их соответствии фазам, характерным для борковского интервала беловежского времени [7; 8].

Результаты и их обсуждение

Скв. 1815 у д. Гощево. Спорово-пыльцевая диаграмма, полученная в результате выполненных исследований плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 1815 у д. Гощево Ивацевичского р-на Брестской обл., представлена на рисунке 3. На диаграмме выделены три локальные пыльцевые зоны: Gsch-1 – Gsch-3 (Gsch – Гощево), которые соответствуют региональным зонам, характерным для отложений борковского подгоризонта беловежского горизонта среднего плейстоцена Беларуси [1; 6; 7].

Gsch-1 L PAZ (глубина 40,22–40,75 м) – в составе спектров данной пыльцевой зоны в основном представлена пыльца древесных пород (до 99,2 %). Доминирует *Betula sect. Albae* (*Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh.) – до 74,3 %, количество которой имеет тенденцию к сокращению, а также *Pinus* (в основном *P. sylvestris* L.) – от 16,4 %

в нижней части интервала до 52,9 % в верхней. Постоянно присутствуют пыльцевые зерна *Larix* sp. – до 11 %, *Picea* (*Picea abies* (L.) Karst., *P. sect. Omorica*) – до 7,8 %, изредка *Juniperus communis* L. Пыльца *Quercus*, *Ulmus* и *Alnus* отмечена единично.

Таблица 3 – Схема палиностратиграфического расчленения отложений беловежского горизонта плейстоцена Беларуси, а также подстилающих его верхненаревских и перекрывающих нижнеберезинских отложений [1]

Система	Отдел	Подотдел	Горизонт	Подгоризонт	Пыльцевые зоны	
Четвертичная	Плейстоцен	Средний	Беловежский	Березинский	bz-s-1	NAP – <i>Betula</i> – <i>Larix</i>
				Могилевский	mg 5	<i>Betula</i> – <i>Pinus</i> – <i>Picea</i>
					mg 4	<i>Picea</i> – <i>Pinus</i> – <i>Betula</i> – <i>Carpinus</i>
					mg 3	<i>Carinus</i> – <i>Quercus</i> – <i>Alnus</i>
					mg 2	<i>Quercus</i> – <i>Ulmus</i> – <i>Tilia</i>
					mg 1	<i>Larix</i> – <i>Betula</i> – <i>Pinus</i>
				Нижнинский	nz 3	NAP – <i>Betula nana</i>
					nz 2	<i>Pinus</i> – <i>Picea</i> – <i>Betula</i>
					nz 1	NAP – <i>Larix</i> – <i>Betula</i>
				Борковский	brk 8	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i> – <i>Larix</i>
					brk 7	<i>Pinus</i> – <i>Picea</i> – <i>Betula</i>
					brk 6	<i>Pinus</i> – <i>Picea</i>
					brk 5	<i>Quercus</i> – <i>Picea</i>
					brk 4	<i>Quercus</i> – <i>Ulmus</i> – <i>Corylus</i>
					brk 3	<i>Quercus</i> – <i>Ulmus</i>
					brk 2	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i>
					brk 1	<i>Betula</i> – <i>Larix</i> – <i>Picea</i>
				Наревский	nr-f-4	<i>Betula</i> – <i>Picea</i> – <i>Larix</i> – NAP
					nr-f-3	<i>Betula nana</i> – <i>Artemisia</i> – <i>Chenopodiaceae</i>
					nr-f-2	<i>Picea</i> – NAP
nr-f-1	NAP – <i>Betula nana</i>					

Содержание пыльцы травянистых растений незначительно: Роасеae – до 3 %, *Artemisia* – до 1,6 %, *Chenopodiaceae* и *Cyperaceae* – менее 1 %, изредка – *Ephedra distachya* L., *Ariaceae*, *Asteraceae*, *Rosaceae*. Среди спор преобладают представители *Polypodiaceae* – до 32,5 %, значительно реже встречаются споры *Thelypteris palustris* Schott – до 3,7 % и *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn ex Decken – до 2,6 %. Число спор *Sphagnum* не превышает 1,9 %. Приведенный состав спорово-пыльцевых спектров указывает на соответствие данной L PAZ региональной пыльцевой зоне **brk 1 *Betula* – *Larix* – *Picea***, характеризующей отложения нижней части борковского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена на территории Беларуси.

В это время в исследуемом регионе произрастали хвойно-мелколиственные леса, в которых главными лесообразующими породами были березы пушистая и бородавчатая, лиственница, ель европейская, реже встречалась сосна обыкновенная, в подлеске произрастал можжевельник обыкновенный. В виде незначительной примеси, возможно, уже появились некоторые термофильные породы. Среди травянистых растений чаще присутствовали злаковые, полыни, маревые, осоковые, изредка – хвойник двухколосковый. Напочвенный покров в основном создавали папоротники, в т. ч. орляк обыкновенный и щитовник болотный, а также плауны и мхи.

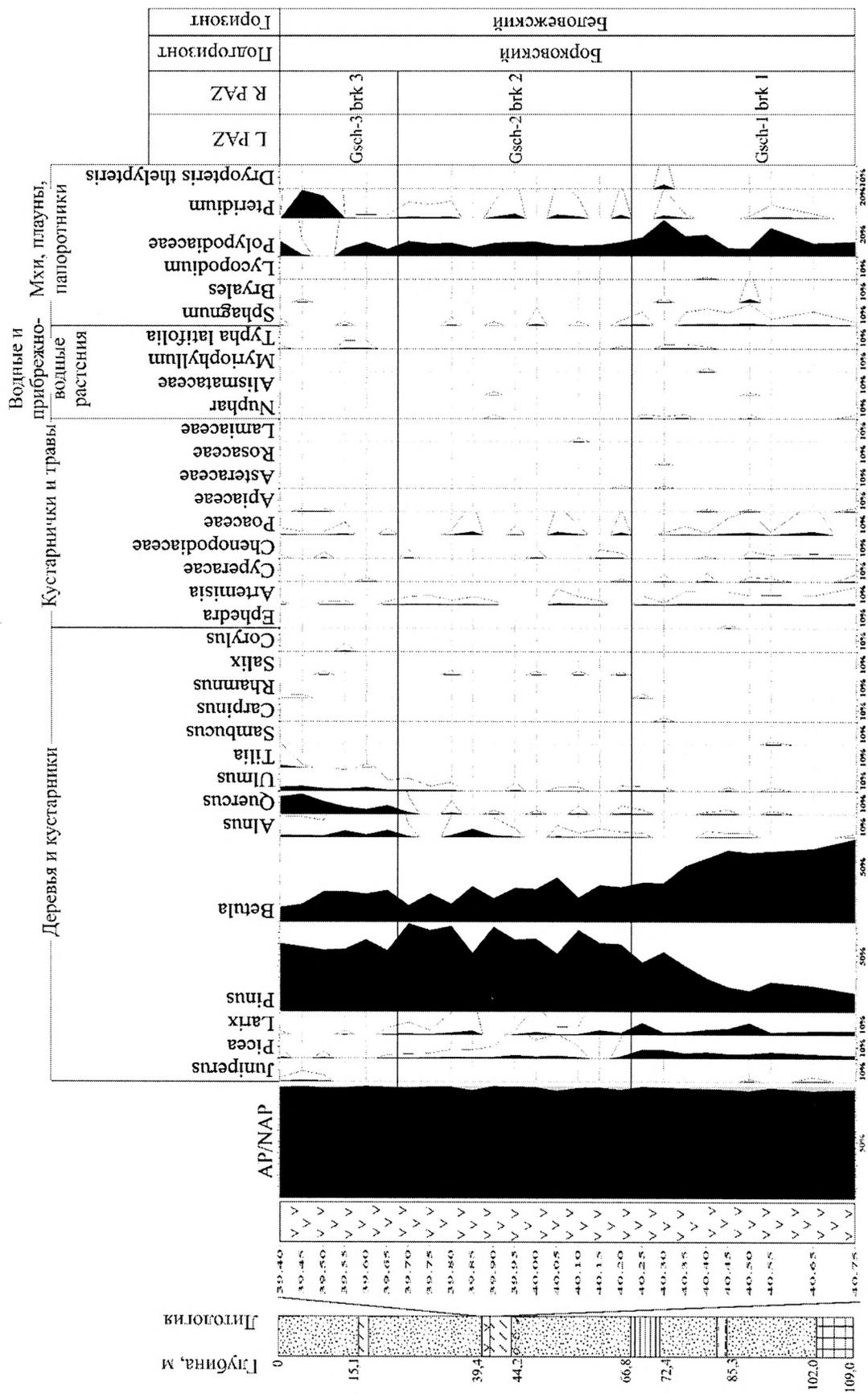


Рисунок 3 – Спорово-пыльцевая диаграмма беловежских отложений, вскрытых скв. 1815 у д. Гоцево Ивацевичского района Брестской области (анализ выполнен Т.Б. Рыловой). Условные обозначения представлены на рисунке 2

Gsch-2 L PAZ (глубина 39,72–40,22 м) отличается повышением до максимума содержания пыльцы *Pinus sylvestris* – до 78,4 % и существенным снижением участия пыльцевых зерен *Betula sect. Albae* – до 14,9 % в верхней части зоны. Количество пыльцы *Picea abies* и *Larix* sp. сокращается до 0,4–2 % и 0–4,2 % соответственно. В небольшом числе присутствуют пыльцевые зерна *Quercus*, *Ulmus*, *Alnus*, *Salix* sp. Пыльца травянистых растений встречается редко. Среди спор по-прежнему преобладают Polypodiaceae – до 13,5 %, встречены *Pteridium aquilinum* – до 4,2 % и *Sphagnum* – до 1,6 %. Данная зона соответствует **brk 2 Pinus – Betula R PAZ**, характеризующей отложения, сформировавшиеся в последующей фазе борковского интервала беловежского времени, и отражает развитие мелколиственно-хвойных лесов с доминированием сосны обыкновенной, березы бородавчатой и березы пушистой, с заметным участием ели европейской и лиственницы. В виде незначительной примеси присутствовали ольха, дуб и вяз. В составе травянистых растений были представлены злаки, полыни, маревые, а среди споровых преобладали папоротники.

Gsch-3 L PAZ (глубина 39,40–39,72 м) характеризуется заметным повышением содержания пыльцевых зерен таких термофильных пород, как *Quercus* (*Quercus robur* L., *Q. petraea* Liebl., *Quercus pubescens* Willd.) – до 18 % и *Ulmus* (*Ulmus laevis* Pall., *U. minor* Mill.) – до 4,3 %, которое имеет тенденцию к дальнейшему возрастанию вверх по разрезу. Появляется пыльца *Tilia* (*Tilia cordata* Mill., *T. platyphyllos* Scop.) – до 2,2 %, единично – *Corylus avellana* L. Пыльцы *Alnus* (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *A. incana* Moench.) – до 6,5 %. Содержание пыльцы *Pinus*, по сравнению с предыдущей пыльцевой зоной, снижается до 54–60 %, *Betula* – до 13 % в верхней части зоны. Изредка присутствуют пыльцевые зерна *Juniperus communis* L., *Picea abies*, *Larix* sp., *Frangula alnus* Mill., *Salix* sp. Участие пыльцы травянистых растений, как и в предыдущих зонах, несущественно. В большом количестве представлены споры *Pteridium aquilinum* – до 25,2 %, реже Polypodiaceae – до 13,3 %. Рассмотренная пыльцевая зона соответствует нижней части **brk 3 Quercus – Ulmus R PAZ**, выделенной в отложениях борковского подгоризонта, и отражает начальную фазу климатического оптимума борковского интервала беловежского времени, когда в районе исследований началось распространение хвойно-широколиственных и широколиственных лесов, преимущественно вязово-дубовых с участием сосны и березы и постепенно возрастающей примесью липы. Роль травянистых ассоциаций осталась несущественной. Споровые растения по-прежнему были представлены в основном папоротниками, наиболее часто – орляком обыкновенным.

Таким образом, результаты спорово-пыльцевого анализа плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 1815 у д. Гощево Ивацевичского р-на Брестской обл., свидетельствуют об их принадлежности борковскому подгоризонту беловежского горизонта и формировании в течение начальных фаз и части климатического оптимума борковского теплого интервала беловежского времени плейстоцена Беларуси.

Скв. 1807 у д. Алексейки. С целью определения возраста плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 1807 у д. Алексейки Ивацевичского р-на Брестской обл., для изучения методом спорово-пыльцевого анализа были взяты 15 образцов в интервале 35,4–51,2 м из двух слоев сапропелита (слои 3 и 5). Из глины, залегающей между слоями сапропелита в интервале 36,8–42,2 м, пробы на пыльцевой анализ не отбирались.

В результате выполненных исследований получена спорово-пыльцевая диаграмма, представленная на рисунке 4. На диаграмме выделены 6 локальных пыльцевых зон: Al-1 – Al-6 L PAZ (Al – Алексейки), 5 из которых сопоставлены с соответствующими региональными зонами из отложений борковского подгоризонта беловежского горизонта. В составе спектров каждой пыльцевой зоны абсолютное господство принад-

лежит пыльце древесных пород (AP) – 97,7–100 %. Пыльцевые зерна травянистых растений и споры представлены в очень незначительном количестве.

AI-1 L PAZ (глубина 48,6–50,3 м) – данная пыльцевая зона характеризуется высоким содержанием пыльцы термофильных пород, видовой состав которых достаточно разнообразен: *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*) до 26 %, *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*, *U. glabra* Huds) – до 16,4 %, *Tilia* (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa* Moench), – до 9,1 %, *Alnus* (*Alnus incana*, *A. glutinosa*) – до 11,1 %, *Corylus avellana* – до 4,4 %, единично – *Fraxinus excelsior* L. Среди пыльцы хвойных пород преобладает *Pinus sylvestris* – до 43,4 %, пыльцы *Picea abies* – до 1,4 %, *Larix* sp. – единично. Пыльцевых зерен *Betula* (*Betula pendula*, *B. pubescens*) до 6,6 %. Из пыльцы травянистых растений изредка отмечены *Artemisia* и *Chenopodiaceae*. Среди спор присутствуют *Polypodiaceae* – до 2,7 %, единично – *Sphagnum*. Данная зона соответствует **brk 3 Quercus – Ulmus R PAZ**, характеризующей отложения, сформировавшиеся в начальной фазе климатического оптимума борковского интервала беловежского времени.

Данная пыльцевая зона характеризует фазу развития хвойно-широколиственных и широколиственных лесов. В районе исследований произрастали липово-вязово-дубовые леса с участием сосны обыкновенной, изредка березы бородавчатой, лещины обыкновенной, ясеня высокого. Среди термофильных пород преобладали дуб (дубы черешчатый, скальный и пушистый), вяз (вязы гладкий, шершавый и пробковый) и липа (липы сердцевидная, крупнолистная и серебристая). В виде незначительной примеси присутствовали ель европейская и лиственница. Увлажненные места занимали ольшаники. Напочвенный покров создавали папоротники и редкие травянистые растения.

AI-2 L PAZ (глубина 47,4–48,6 м) отличается максимальным участием в составе спектров пыльцы *Corylus* (*Corylus avellana*, *C. colurna* L.) – до 35,1 %, наряду с высоким содержанием пыльцы других термофильных древесных пород, представленных в основном теми же видами, что и в предыдущей пыльцевой зоне: *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*) – до 23,6 %, *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*, *U. glabra*) – до 18,5 %, *Tilia* (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa*) – до 2,3 %, единично – *Acer tataricum* L. Пыльцы *Alnus* (*Alnus incana*, *A. glutinosa*) – до 12,5 %. Количество пыльцевых зерен *Pinus sylvestris* существенно снижается – до 13,5 %, *Picea abies* и *Larix* sp. отсутствуют. Пыльца травянистых растений (*Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Roaceae*) отмечена редко – не более 1,2 %, спор *Polypodiaceae* – до 2,3 %. Рассмотренная пыльцевая зона отвечает **brk 4 Quercus – Ulmus – Corylus R PAZ**, выделенной в отложениях борковского подгоризонта беловежского горизонта, сформировавшихся в самое теплое время климатического оптимума данного термохрона [7; 8].

В течение этой фазы были распространены широколиственные дубово-вязовые и дубово-вязово-лещиновые леса с участием других термофильных пород. Возможно, местами произрастали монодоминантные лещиновые леса. Видовой состав лесных сообществ отличался большим разнообразием. Произрастали дуб (дубы черешчатый, скальный и пушистый), вяз (вязы гладкий, шершавый и пробковый), липа (липы сердцевидная, крупнолистная и серебристая), лещина обыкновенная и древовидная, изредка клен татарский и др. По наиболее увлажненным участкам рельефа селились ольшаники.

Реконструкция палеотемператур, выполненная с использованием метода «климатических ареалов» [9–11] для самого теплого времени климатического оптимума на территории исследований с учетом присутствия указанных выше родов и видов древесных пород, позволила получить следующие результаты (рисунок 5). Они не отличаются от полученных ранее для самой теплой фазы борковского интервала беловежского времени на территории Беларуси, несмотря на отсутствие в составе спектров разреза пыльцы *Acer platanoides* L., *A. campestre* L., *Ligustrum vulgare* L., *Fraxinus excelsior* L.

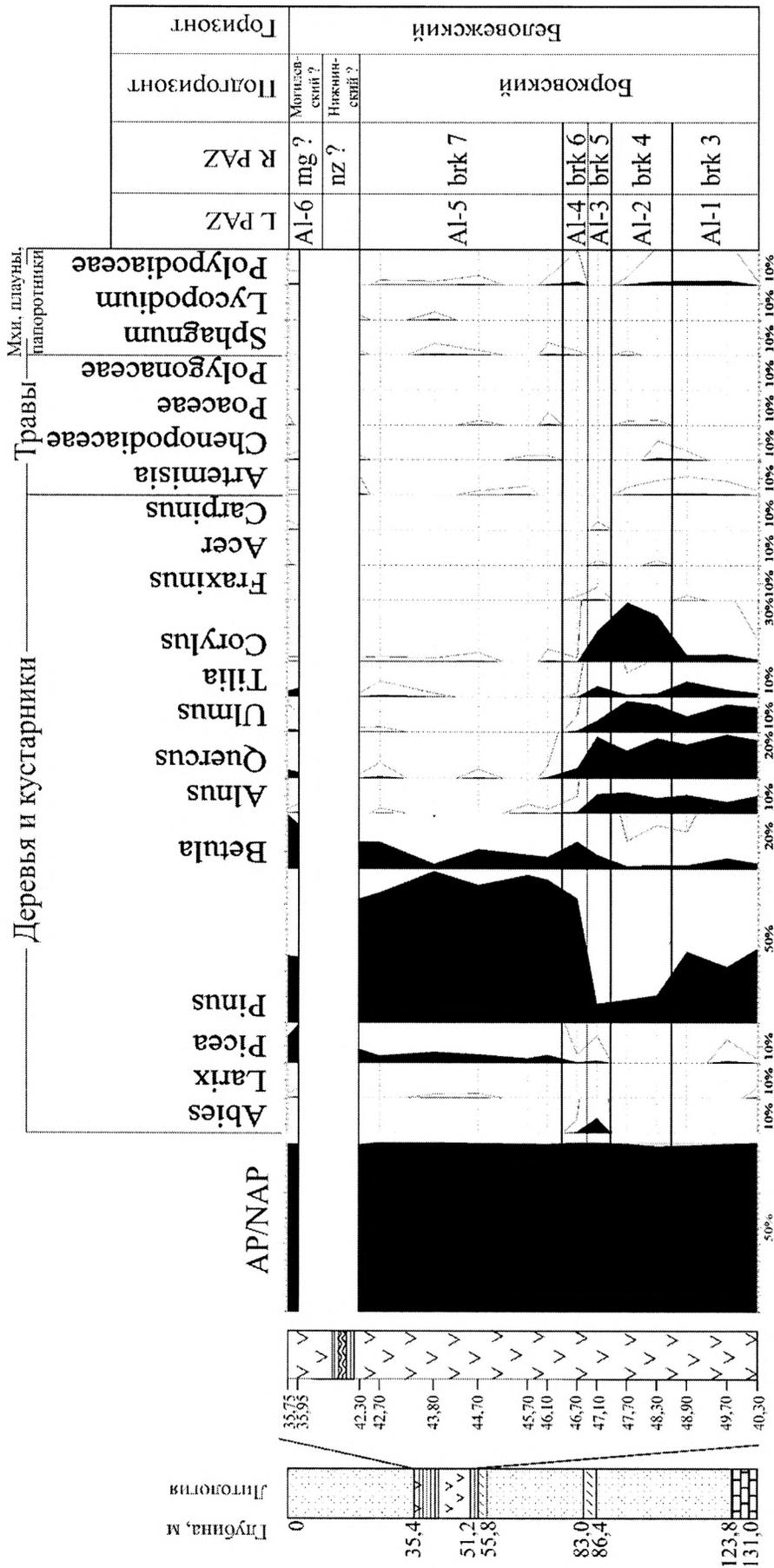


Рисунок 4 – Спорово-пыльцевая диаграмма беловежских отложений, вскрытых скв. 1807 у д. Алексейки Ивацевичского района Брестской области (анализ выполнен Т. Б. Рыловой).
Условные обозначения представлены на рисунке 2

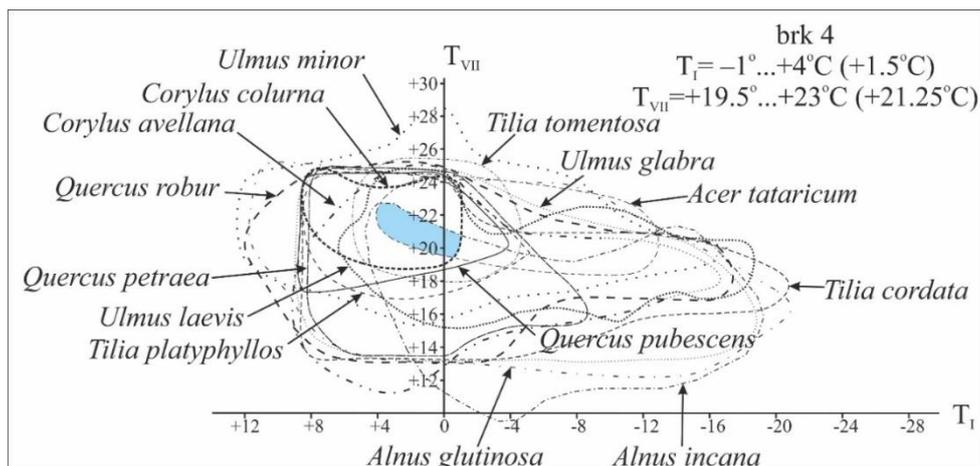


Рисунок 5 – Реконструкция палеотемпературных показателей на территории исследований для самой теплой фазы brk 4 *Quercus – Ulmus – Corylus* R PAZ климатического оптимума борковского интервала беловежского времени плейстоцена Беларуси

AI-3 L PAZ (глубина 46,9–47,4 м) характеризуется снижением количества пыльцы *Corylus* (*Corylus avellana*, *C. colurna*) – 18,2 %, а также *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*, *U. glabra*) – 7 %. Пыльцевых зерен *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*) – 24,7 %, *Tilia* (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa*) – 6,4 %, *Alnus* (*Alnus incana*, *A. glutinosa*) – 11,5 %, единичны *Fraxinus excelsior*, *Acer campestre*, *Carpinus betulus* L.

Следует отметить присутствие в составе спектров заметного количества пыльцы *Abies alba* Mill. – 9,1 %, что характерно и для других беловежских разрезов только юго-западной части территории Беларуси: скв. 1885 (комплекс I) и скв. 6 (палинозона bl₅) у д. Ятвезь [2,3]; скв. 2Г у д. Борки (фаза B5) [12]; скв. 13 (комплекс Vb) [2] и скв. 3 (палинозона bl₅) у д. Смолярка [3] и др., а также для разрезов фердинандовского интергляциала плейстоцена Польши: Ferdinandów, profile B (phase 4) [13; 14] и др.; Podgórze (Pd-2 L PAZ) [15; 16]; Zdany (Zd-5 L PAZ) [17] и др. Характерно также появление пыльцевых зерен *Picea abies* (1,6 %), содержание которых в дальнейшем имеет тенденцию к возрастанию. Пыльцы *Pinus sylvestris* – 11,3 %, *Betula* (*Betula pendula*., *B. pubescens*) – 8,6 %. Пыльцевые зерна травянистых растений и споры не обнаружены. Состав спектра соответствует **brk 5 *Quercus – Picea* (+*Abies*) R PAZ** – пыльцевой зоне, отвечающей отложениям борковского подгоризонта, накопление которых происходило на протяжении заключительной фазы климатического оптимума борковского интервала беловежского времени на территории Западной Беларуси.

Рассмотренная пыльцевая зона отражает фазу развития широколиственных и хвойно-широколиственных лесов с небольшой примесью березы. Среди термофильных пород главную роль играл дуб (не менее трех видов), несколько снизилось участие вяза и лещины, однако их видовой состав не изменился по сравнению с предыдущей фазой.

Произрастали также липа (три вида), ясень высокий, клен полевой. Характерной особенностью данной фазы явилось возрастание роли хвойных пород, обусловленное появлением в лесных ассоциациях пихты белой и ели обыкновенной. На более влажных местах рельефа произрастали ольшаники.

AI-4 L PAZ (глубина 46,4–46,9 м) – в составе спорово-пыльцевого спектра резко сократилось количество пыльцы термофильных пород, которая представлена в основном *Quercus* – до 6,3 % и небольшим числом пыльцевых зерен *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus*, *Fraxinus*, *Alnus*. Однако значительно возросло содержание пыльцы хвойных пород,

особенно *Pinus sylvestris* – до 74 %, реже отмечена *Picea abies* и *Abies alba*. Пыльцевых зерен *Betula* (*Betula pendula*, *B. pubescens*) – до 16,4 %. Содержание пыльцы травянистых растений и спор несущественно. Приведенный состав спектра указывает на соответствие данной L PAZ региональной пыльцевой зоне **brk 6 *Pinus* – *Picea* (+*Abies*)** из отложений борковского подгоризонта беловежского горизонта на территории западной Беларуси.

Данная пыльцевая зона отражает растительность одной из заключительных фаз борковского интервала беловежского времени и свидетельствует о распространении хвойных, преимущественно сосновых и пихтово-елово-сосновых лесов с участием березы. В лесных сообществах небольшое участие принимал дуб, несущественную примесь создавали вяз, липа, лещина, ясень. Состав растительности указывает на несомненное снижение теплообеспеченности территории.

AI-5 L PAZ (глубина 42,2–46,4 м) – отличается максимальным участием пыльцы *Pinus sylvestris* – до 89,7 %, постоянным присутствием *Picea abies* – до 8,1 % и *Betula* (*Betula pendula*, *B. pubescens*) – до 16 %. Характерно почти полное исчезновение пыльцы термофильных пород и появление пыльцевых зерен *Larix* sp. Участие пыльцы травянистых растений (*Artemisia*, Poaceae, Chenopodiaceae) несущественно. Среди спор отмечены редкие Polypodiaceae, *Sphagnum* и *Lycopodium clavatum* L. Данная локальная пыльцевая зона соответствует последующей региональной пыльцевой зоне **brk 7 *Pinus* – *Picea* – *Betula***, выделенной в отложениях борковского подгоризонта беловежского горизонта.

На протяжении этой фазы на территории исследований произрастали хвойные сосновые, елово-сосновые и мелколиственно-хвойные леса, в которых были представлены такие виды, как сосна обыкновенная, ель европейская, березы бородавчатая и пушистая, изредка лиственница. Состав лесной растительности свидетельствует о дальнейшем похолодании климата.

Как отмечалось выше, из слоя глины, залегающего в интервале 36,8–42,2 м, пробы на спорово-пыльцевой анализ не отбирались. Однако было взято 2 образца из верхнего слоя супеси диатомовой. По результатам их исследования выделена последняя в данном разрезе локальная пыльцевая зона.

AI-6 L PAZ (глубина 35,4–36,8 м) – в составе спектров пыльца древесных пород составляет 98,9 %, преобладают *Pinus sylvestris* – до 39,6 %, *Picea abies* – до 22,4 % и *Betula* (*Betula pendula*, *B. pubescens*) – до 31,8 %. Пыльцы *Quercus* – до 4,8 %, *Ulmus* – до 1,6 %, *Tilia* – до 4,9 %, *Corylus* – 0,3 %, *Alnus* – 0,5 %, *Acer* – 0,3 %, *Carpinus* – 0,5 %. Пыльца травянистых растений и споры единичны.

Приведенные данные указывают на межледниковый характер соответствующих отложений. Можно предположить, что этот слой мог сформироваться на протяжении теплого могилевского интервала беловежского времени, поскольку выявленные спектры с некоторой долей вероятности можно сопоставить с пыльцевой зоной **mg 5 *Betula* – *Pinus* – *Picea***, характеризующей одну из заключительных фаз могилевского теплого интервала беловежского времени, когда были распространены хвойные и хвойно-мелколиственные леса (преимущественно из ели, березы и сосны с незначительной примесью граба, дуба, вяза и липы) [7; 8]. В таком случае глина, залегающая в интервале 36,8–42,2 м и разделяющая два слоя супеси диатомовой, может соответствовать холодному нижнинскому подгоризонту беловежского горизонта [1].

Заключение

Результаты спорово-пыльцевого анализа плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 1815 у д. Гощево Ивацевичского р-на Брестской обл., свидетельствуют об их при-

надлежности беловежскому горизонту и формированию в течение начальных фаз и части климатического оптимума борковского теплого интервала беловежского времени.

Материалы, полученные в результате палинологических исследований плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 1807 у д. Алексейки Ивацевичского р-на Брестской обл., показали, что они также соответствуют беловежскому горизонту, их накопление происходило на протяжении климатического оптимума и заключительных фаз борковского интервала и, возможно, в течение последующих холодного нижнинского и теплого могилевского интервалов беловежского времени плейстоцена Беларуси [4].

Выявленный состав палинофлоры и количественное содержание ее компонентов вполне отражают региональные особенности пыльцевых спектров, указанные ранее для борковского подгоризонта беловежского горизонта на территории юго-западной Беларуси [6; 7], а также для интергляциала I (= нижний климатический оптимум фердинандовского межледниковья [13; 14] в фердинандовской сукцессии, представленной в ряде разрезов на территории Польши [13–17] и позволяют получить представление о динамике растительности на территории Ивацевичского р-на Брестской обл. на протяжении всего борковского термохрона беловежского времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объясн. зап. / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010. – 282 с. + прил. из 15 стратиграф. схем.
2. Березовский страторайон плейстоцена Белоруссии / Ф. Ю. Величkevич [и др.]. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 146 с.
3. К стратиграфии среднего плейстоцена Беларуси / Ф. Ю. Величkevич [и др.] // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 1997. – Т. 5, № 4. – С. 68–84.
4. Рылова, Т. Б. О беловежском возрасте плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 1807 у д. Алексейки Ивацевичского района Брестской области // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. – Брест : БрГУ, 2023. – С. 187–191.
5. Walanus, A. POLPAL program for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis / A. Walanus, D. Nalepka // Acta Palaeobotanica. – 1999. – Suppl. 2. – P. 57–67.
6. Рылова, Т. Б. Биостратиграфическое расчленение беловежского и александрийского межледниковых горизонтов плейстоцена на территории Беларуси / Т. Б. Рылова // Докл. НАН Беларуси. – 1998. – Т. 42, № 4. – С. 114–117.
7. Шидловская, А. В. Палиностратиграфия и условия формирования отложений наревского (верхняя часть) и беловежского (борковский подгоризонт) горизонтов плейстоцена Беларуси / А. В. Шидловская, Т. Б. Рылова // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 77–98.
8. Рылова, Т. Б. Растительность и климат межледниковых интервалов плейстоцена Беларуси по данным палинологических исследований / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Літасфера. – 2006. – № 1 (24). – С. 12–26.
9. Борисова, О. К. Палеофлористический метод / О. К. Борисова, Э. М. Зеликсон // Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии. – М. : ГЕОС, 2010. – Вып. III. – С. 34–42.
10. Гричук, В. П. Реконструкция климатических показателей раннего кайнозоя по палеофлористическим данным / В. П. Гричук, Э. М. Зеликсон, О. К. Борисова // Климаты Земли в геологическом прошлом : сб. ст. – М. : Наука, 1987. – С. 69–77.

11. Количественные реконструкции климата Восточно-Европейской равнины за последние 450 тыс. лет / А. А. Величко [и др.] // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2004. – № 1. – С. 7–25.
12. Якубовская, Т. В. Новые данные о стратотипе беловежского межледниковья / Т. В. Якубовская, Г. К. Хурсевич, Т. Б. Рылова // Докл. АН БССР. – 1991. – Т. 35, № 3. – С. 262–265.
13. Janchyk-Kopikowa, Z. Position of the Ferdinandów Interglacial, Middle Poland, in the Quaternary Stratigraphy of the European Plain / Z. Janchyk-Kopikowa, J. E. Mojski, J. Rzechowski // Biul. Inst. Geol. – 1981. – P. 65–79.
14. Janchyk-Kopikowa, Z. The Ferdinandów Interglacial in Poland / Z. Janchyk-Kopikowa // Kwart. Geol. – 1991 – 35 (1). – P. 71–80.
15. Mamakowa, K. Plejstocen / K. Mamakowa // Palynologia. – Kraków, 2003. – S. 235–266.
16. Mamakowa, K. Korelacja Ferdinandowskich sukcesji pyłkowych z Polski z sukcesjami pyłkowymi interglacjalów Białowieskiego i Mogilewskiego / K. Mamakowa, T. B. Ryłova, W. Granoszewski // Problemy paleogeografii późnego plejstocenu i holocenu : materiały Seminarium Białorusko-Polskiego, Grodno, 26–29 wrześ. 2000 r. – S. 53–54.
17. Pidek, I. A. Mezopleistocene vegetation history in the northern foreland of the Lublin upland based on palaeobotanical studies of the profilis from Zdany and Brus sites / I. A. Pidek. – Lublin, 2003. – 96 p.

REFERENCES

1. Stratigrafichieskije skhemy dokiembrijskikh i fanierozojkskikh otlozhenij Bielarusi : objasn. zap. / S. A. Kruchiek [i dr.]. – Minsk : BielNIGRI, 2010. – 282 s. + pril. iz 15 stratigraf. skhiem.
2. Bieriozovskij stratorajon pliejstocena Bielorusii / F. Y. Vielichkievich [i dr.]. – Minsk : Navuka i tekhnika, 1993. – 146 s.
3. K stratigrafii sriedniego pliejstocena Bielarusi / F. Y. Vielichkievich [i dr.] // Stratigrafija. Geol. korrieliacija. – 1997. – T. 5, № 4. – S. 68–84.
4. Rylova, T. B. O bieloviezhskom vozrastie pliejstocenovykh otlozhenij, vskrytykh skv. 1807 u d. Alieksiejki Ivacevichskogo rajona Briestskoj oblasti / T. B. Rylova // Aktual'nyje problemy nauk o Ziemi: issledovanija transgranichnykh riegionov : sb. materialov VI Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., Briest, 26–28 okt. 2023 g. – Briest : BrGU, 2023. – S. 187–191.
5. Walanus, A. POLPAL program for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis / A. Walanus, D. Nalepka // Acta Palaeobotanica. – 1999. – Suppl. 2. – P. 57–67.
6. Rylova, T. B. Biostratigrafichieskoje raschlienieneje bieloviezhskogo i alieksandrijskogo miezhlednikovykh gorizontov pliejstocena na tierritorii Bielarusi / T. B. Rylova // Dokl. NAN Bielarusi. – 1998. – T. 42, № 4. – S. 114–117.
7. Shidlovskaja, A. V. Palinostratigrafija i uslovija formirovanija otlozhenij narievskogo (vierkhniaja chast') i bieloviezhskogo (borkovskij podgorizont) gorizontov pliejstocena Bielarusi / A. V. Shidlovskaja, T. B. Rylova // Litasfiera. – 2023. – № 1 (58). – S. 77–98.
8. Rylova, T. B. Rastitel'nost' i klimat miezhlednikovykh intervalov pliejstocena Bielarusi po dannym palinologichieskikh issledovanij / T. B. Rylova, I. Ye. Savchienko // Litasfiera. – 2006. – № 1 (24). – S. 12–26.
9. Borisova, O. K. Palieofloristichieskij mietod / O. K. Borisova, Ye. M. Zielikson // Klimaty i landshafty Sieviernoj Jevrazii v uslovijakh global'nogo potieplienija. Retrospektivnyj analiz i scenarii. – M. : GEOS, 2010. – Vol. III. – S. 34–42.

10. Grichuk, V. P. Rekonstrukcija klimatichieskikh pokazatieliej ranniego kajnozoja po palieofloristichieskim dannym / V. P. Grichuk, Ye. M. Zielikson, O. K. Borisova // Klimaty Ziemli v gieologichieskom proshlom : sb. st. / pod ried. A. A. Vielichko, L. A. Chiepalugi. – M. : Nauka, 1987. – S. 69–77.
11. Kolichiestviennyje rekonstrukcii klimata Vostochno-Jevropejskoj ravniny za poslednije 450 tys. liet / A. A. Vielichko [i dr.] // Izv. RAN. Sier. gieog. – 2004. – № 1. – S. 7–25.
12. Jakubovskaja, T. V. Novyje dannyje o stratotipe bieloviezhskogo miezhliednikov'ja / T. V. Jakubovskaja, G. K. Khursevich, T. B. Rylova // Dokl. AN BSSR. – 1991. – T. 35, № 3. – S. 262–265.
13. Janchyk-Kopikowa, Z. Position of the Ferdinandów Interglacial, Middle Poland, in the Quaternary Stratigraphy of the European Plain / Z. Janchyk-Kopikowa, J. E. Mojski, J. Rzechowski // Biul. Inst. Geol. – 1981. – P. 65–79.
14. Janchyk-Kopikowa, Z. The Ferdinandów Interglacial in Poland / Z. Janchyk-Kopikowa // Kwart. Geol. – 1991 –35 (1). – P. 71–80.
15. Mamakowa, K. Plejstocen / K. Mamakowa // Palinologia. – Kraków, 2003. – S. 235–266.
16. Mamakowa, K. Korelacja Ferdinandowskich sukcesji pyłkowych z Polski z sukcesjami pyłkowymi interglacjalów Białowieskiego i Mogilewskiego / K. Mamakowa, T. B. Rylova, W. Granoszewski // Problemy paleogeografii późnego plejstocenu i holocenu : materiały Seminarium Białorusko-Polskiego, Grodno, 26–29 wrześ. 2000 r. – S. 53–54.
17. Pidek, I. A. Mezopleistocene vegetation history in the northern foreland of the Lublin upland based on palaeobotanical studies of the profilis from Zdany and Brus sites / I. A. Pidek. – Lublin, 2003. – 96 p.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 27.12.2023

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 ад 0,35 да 0,5 друкаванага аркуша (14 000 – 20 000 знакаў), 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 – адзінарны;
- 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 08.09.2016 № 206). Спасылкі на крыніцы ў артыкуле нумаруюцца адпаведна парадку цытавання. Парадкавыя нумары спасылкаў падаюцца ў квадратных дужках ([1–4], [1; 3], [1, с. 32], [2, с. 52–54], [3, л. 5], [4, л. 60б.]). Не дапускаецца выкарыстанне канцавых зносаў.

Матэрыял уключае наступныя элементы па парадку:

- індэкс УДК;
- імя, імя па бацьку, прозвішча аўтара/аўтараў (аўтараў не больш за 5) на мове артыкула;
- звесткі пра аўтара/аўтараў (навуковая ступень, званне, пасада, месца працы/вучобы) на мове артыкула;
- імя, імя па бацьку, прозвішча аўтара/аўтараў на англійскай мове;
- звесткі пра аўтара/аўтараў на англійскай мове;
- e-mail аўтара/аўтараў;
- назва артыкула на мове артыкула;
- анатацыя ў аб'ёме 100–150 слоў і ключавыя словы на мове артыкула (курсіў, кегль – 10 pt.);
- назва артыкула на англійскай мове;
- анатацыя і ключавыя словы на англійскай мове.

Звесткі аб навуковым кіраўніку (для аспірантаў і саіскальнікаў) указваюцца на першай старонцы ўнізе.

Асноўны тэкст структуравецца ў адпаведнасці з патрабаваннямі Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь да навуковых артыкулаў, якія друкуюцца ў выданнях, уключаных у Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў:

- Уводзіны (пастаноўка мэты і задач даследавання).
- Асноўная частка (матэрыялы і метады даследавання; вынікі і іх абмеркаванне).
- Заклучэнне (фармулююцца асноўныя вынікі даследавання, указваецца іх навізна, магчымасці выкарыстання).
- Спіс выкарыстанай літаратуры; спіс літаратуры павінен уключаць не больш за 20–22 крыніцы і абавязкова ўтрымліваць публікацыі, у тым ліку замежныя, па тэме даследавання за апошнія 10 гадоў.

➤ References – спіс выкарыстанай літаратуры, які прадубліраваны лацінскім алфавітам (колькасць крыніц, прыведзеных у спісе і ў References, павінна супадаць).

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- выпіска 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» (арыгінальнасць павінна складаць не менш за 70 %).

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: chemskorp@yandex.ru.

Карэктары *А. А. Іванюк, Л. М. Калілец*

Камп'ютарнае макетаванне *Г. Ю. Пархац*

Падпісана ў друк 28.06.2024. Фармат 60×84/8. Папера афсетная. Гарнітура Таймс. Рызаграфія.

Ум. друк. арк. 16,74. Ул.-выд. арк. 12,60. Тыраж 50 экз. Заказ № 188.

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.