

Веснік

Брэсцкага ўніверсітэта

Рэдакцыйная калегія

галоўны рэдактар
А. М. Сендзер

намеснік галоўнага рэдактара
А. Я. Будзько

адказны рэдактар
Н. С. Ступень

І. В. Абрамава (Беларусь)
А. А. Афонін (Расія)
М. А. Багдасараў (Беларусь)
А. М. Вігчанка (Беларусь)
А. А. Волчак (Беларусь)
В. В. Грыгчык (Беларусь)
А. А. Махнач (Беларусь)
А. В. Мацвееў (Беларусь)
В. А. Несцяроўскі (Украіна)
У. У. Салтанаў (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.brest.by

Часопіс «Веснік Брэсцкага
ўніверсітэта» выдаецца
са снежня 1997 года

Серыя 5

БІЯЛОГІЯ

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

НАВУКОВА-ТЭАРЭТЫЧНЫ ЧАСОПІС

Выходзіць два разы ў год

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

№ 2 / 2022

У адпаведнасці з Дадаткам да загада
Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь
ад 01.04.2014 № 94 у рэдакцыі загада Вышэйшай атэстацыйнай
камісіі Рэспублікі Беларусь ад 28.01.2022 № 14
(са змяненнямі, унесенымі загадам ВАК ад 20.09.2022 № 363)
часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта.

Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі»
ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь
для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў у 2022 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)

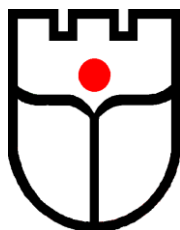
ЗМЕСТ

БІЯЛОГІЯ

Калиниченко С. А., Бондарь Ю. И., Браун Д., Дауделл М., Скинперуд Л., Забродский В. Н., Никитин А. Н. Накопление ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am в лесных растениях после пожаров в Чернобыльской зоне отчуждения	5
Ковалевич Н. Ф. Видовое разнообразие дрозофилид (Diptera: Drosophilidae) города Бреста и отдельных районов Брестской области	20
Ленивко С. М., Коваленко В. В., Ступень Н. С. Влияние in vitro гидрооксалата- γ -аминопропилсилана (KE-373) на морфогенез различных типов эксплантов пшеницы	29
Машков Е. И., Крищук И. А. Изменчивость морфологических характеристик черепа обыкновенной полевки на территории Беларуси	39
Хомюк Я. В., Артемук Е. Г., Литвиновская Р. П. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры <i>Trifolium pratense</i> L.	52

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

Красовская И. А., Галкин А. Н., Торбенко А. Б. Геоморфологические особенности особо охраняемых природных территорий местного значения Россонского района Витебской области	63
Павловский А. И., Галкин А. Н., Моляренко В. Л., Андрушко С. В. Инженерно-геоморфологическая оценка экзогенной динамики рельефа Беларуси	72
Писарчук Н. М. Миграция основных лесобразующих пород в муравинское межледниковье на территории Беларуси	85
Сидорович А. А. Региональная миграционная обстановка в Беларуси в разрезе функционально-планировочных районов	98
Шелест Т. А., Полюхович А. Н. Современное состояние болот Белорусского Полесья (на примере Припятского Полесья)	108



Vesnik

of Brest University

Editorial Board

editor-in-chief
A. M. Sender

deputy editor-in-chief
A. Ya. Budzko

managing editor
N. S. Stupen

I. V. Abramava (Belarus)
A. A. Afonin (Russia)
M. A. Bahdasarau (Belarus)
A. M. Vitshanka (Belarus)
A. A. Volchak (Belarus)
V. V. Hrychyk (Belarus)
A. A. Makhnach (Belarus)
A. V. Matsveyeu (Belarus)
V. A. Nestsyaruski (Ukraine)
V. V. Saltanau (Belarus)
Ya. K. Yalovichava (Belarus)

Registration Certificate
by Ministry of Information
of the Republic of Belarus
nr 1339 from April 28, 2010

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

Published since December 1997

Series 5

BIOLOGY

SCIENCES ABOUT EARTH

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

Issued twice a year

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

№ 2 / 2022

According to the Supplement to the order of Supreme Certification
Commission of the Republic of Belarus from April 01, 2014 nr 94
as revised by the order of Supreme Certification Commission
of the Republic of Belarus from January 28, 2022 nr 14
(with the amendments made by the order of Supreme Certification
Commission from September 20, 2022 nr 363)
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 2022
in biological, geographical and geological-mineralogical sciences

◇ ◇ ◇

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

CONTENTS

BIOLOGY

Sergey Kalinichenko, Yuri Bondar, Justin Brown, Mark Dowdall, Lindis Skipperud, Vyacheslav Zabrotski, Aleksander Nikitin. Accumulation of ¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr, and ²⁴¹ Am in Forest Plants after Wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone	5
Natalia Kovalevich. Species Variety of <i>Drosophila</i> (Diptera: Drosophilidae) in the City of Brest and Individual Districts of the Brest Region	20
Svetlana Lenivko, Viktor Kavalenka, Nonna Stupen. Effect of in Vitro Hydrooxalate- γ -Aminopropylsilane (KE-373) on the Morphogenesis of Various Types of Wheat Explants	29
Evgeniy Mashkov, Irina Kryshchuk. Variability of Morphological Characteristics of the Skull of a <i>Microtus Arvalis</i> on the Territory of Belarus	39
Yana Khamiuk, Alena Artsiamuk, Raisa Litvinovskaya. The Effect of Epikastasterone and its Conjugates with Acids on the Morphometric, Physiological and Biochemical Parameters of <i>Trifolium pratense</i> L.	52

SCIENCES ABOUT EARTH

Irina Krasovskaya, Alexander Galkin, Andrey Torbenko. Geomorphological Features of Specially Protected Natural Areas of Local Importance Rossonsky District of the Vitebsk Region	63
Alexander Pavlovsky, Alexander Galkin, Vladimir Molyarenko, Svetlana Andrushko. Engineering and Geomorphological Assessment of the Exogenous Dynamics of the Relief of Belarus	72
Natallia Pisarchuk. Migration of the Main Forest-Forming Species in the Muravian Interglaciatio on the Territory of Belarus	85
Alexandr Sidorovich. Regional Migration Situation in Belarus in the Context of Functional-Planning Areas	98
Tatsiana Shelest, Andrei Paliukhovich. Current State of the Swamps of the Belarusian Polesie (by the Example of Pripjat Polesie)	108

БІАЛОГІЯ

УДК 574.4:539.163:51-76:614.8

**Sergey Kalinichenko¹, Yuri Bondar², Justin Brown³, Mark Dowdall⁴, Lindis Skipperud⁵,
Vyacheslav Zabrotski⁶, Aleksander Nikitin⁷**

¹PhD (Biology), Leading Researcher of the Department of Radioecological Monitoring of State Environmental Research Institution «Polesye State Radiation-Ecological Reserve»

²PhD (Chemistry), Associate Professor, Deputy Director for scientific of State Environmental Research Institution «Polesye State Radiation-Ecological Reserve»

³PhD (Biology), Norwegian Radiation Protection Authority

⁴PhD (Biology), Norwegian Radiation Protection Authority

⁵PhD (Biology), Professor in radioecology at Norwegian University of Life Sciences

⁶PhD (Chemistry), head laboratory of spectrometry and radiochemistry of State Environmental Research Institution «Polesye State Radiation-Ecological Reserve»

⁷PhD (Agriculture), Deputy Director for scientific work, head of the laboratory of Radioecology of State Scientific Institution «Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus»

Сергей Александрович Калининченко¹, Юрий Иванович Бондарь²,

Джастин Браун³, Марк Дауделл⁴, Линдис Скипперуд⁵,

Вячеслав Николаевич Забродский⁶, Александр Николаевич Никитин⁷

¹канд. биол. наук, ведущий науч. сотрудник отдела радиационно-экологического мониторинга Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

²канд. хим. наук, доц., зам. директора по науч. работе

Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

³д-р биол. наук, Норвежское управление радиационной защиты

⁴д-р биол. наук, Норвежское управление радиационной защиты

⁵д-р биол. наук, профессор радиоэкологии Норвежского университета естественных наук

⁶канд. хим. наук, зав. лабораторией спектрометрии и радиохимии

Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

⁷канд. с.-х. наук, зам. директора по науч. работе, зав. лабораторией радиоэкологии

Института радиобиологии Национальной академии наук Беларуси

e-mail: s-a-k@list.ru

Accumulation of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, and ²⁴¹Am in Forest Plants after Wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone

Soils and the tissues organs of plants (birch leaves, above-ground parts of smallreed, matgrass, mosses, and lichens) were sampled from sites after significant wildfires and from non-burnt reference sites in the Belarusian sector of the Chernobyl exclusion zone. Activity concentrations of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am in the samples were determined by gamma- and beta-spectrometry. In most cases, a tendency towards decreasing accumulation of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and ²⁴¹Am in terrestrial plants growing on the sites exposed to fire was observed. Various factors influencing the accumulation of radionuclides by plants are discussed in the article.

Key words: wildfires, radionuclides, plants, soil, Chernobyl exclusion zone.

НАКОПЛЕНИЕ ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr И ²⁴¹Am В ЛЕСНЫХ РАСТЕНИЯХ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Произведен отбор почвы, тканей и органов растений (листья березы, надземные части вейника и белоуса, мхи, лишайники) после крупных лесных пожаров и с несгоревших контрольных участков в Белорусском секторе Чернобыльской зоны отчуждения. С использованием гамма- и бета-спектрометрии, радиохимических методов анализа определено содержание ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am в отобранных пробах. В большинстве случаев обнаружена тенденция к снижению накопления ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²⁴¹Am в наземных растениях на участках, подвергнутых воздействию пожара. В статье обсуждены различные факторы, влияющие на накопление радионуклидов растениями.

Ключевые слова: лесные пожары, радионуклиды, растения, почва, зона отчуждения ЧАЭС.

Introduction

Forest fires occur periodically in the territories contaminated by Chernobyl-origin radionuclides leading to additional releases of radioactive substances into the atmosphere and their dispersion 15 over considerable distances. The total area of the Belarusian sector of the Chernobyl NPP exclusion zone impacted by wildfires between 1991 and 2012 was 10440,1 hectares, of which 4871,6 hectares were forested land (46,7 %). There have been – 342 fire incidents recorded during that 18 time. The average extent of the fires was approximately 24,3 hectares, the overall proportion of crown fires being insignificant (1,5 %). A significant proportion of the total number of fire events occurred on former agricultural lands and in former settlements. During the same period, some 920 buildings were destroyed due to the spread of fire from the former fields adjacent to them. For the period 2013–2016, 22 fires were recorded, the largest of which occurred in 2015. The impact of wildfires on the soil and under-story ecosystem components of areas contaminated by radionuclides areas has two main aspects. First, the biological aspect related to the physiological characteristics of vegetation under post-fire conditions. Second, the radioecological aspect taking into account the peculiarities of changes in the physical and chemical properties of radionuclides and soil in the ecosystem as a result of thermal effects, and, as a consequence, effects on parameters governing accumulation and migration of radionuclides in forest vegetation.

Fire has a rapid effect on plants through changes of habitat imposed both directly or indirectly. Only in the case of fires on peat bogs, which may last weeks or even months, do the direct thermal effect persist with time. Some plants have developed adaptations that enable survival of the thermal effects, some species requiring repeated fire events for reproduction [1]. Some plant communities require periodic burnings to ensure favorable conditions for the germination of seeds, as well as the concomitant improvement in lighting conditions, availability of mineral elements (through intense ammonification and nitrification) and the sharp decline in older plants which compete for nutrients. It is generally accepted that the biological characteristics of pine and larch forests are closely linked with fire events, pine and larch populations being reliant on natural fires for expansion into new territories due to the elimination of competitors [1–4].

Post-fire impacts on under-story plants are determined by the type of forest, type and intensity of the fire, because these are factors which significantly impact the natural regeneration of the plant community. As an example, resistance to the impacts of fire events is greater where the proportion of hardwood species is higher [2]. Shifts in the species composition of under-story plants after a fire are caused primarily by changes resulting from shifts in the competitive relationship between species. This is particularly evident in plant communities comprised of half-shrubs, grass and herbs. The predominance of grasses in natural herbaceous plant communities is due to their resilience to fire events, many communities being quickly superseded by woody plants in the absence of fire events [1]. The differences in how individual plant species are impacted by fire events are determined by the extent of damage to resting buds. Shrubs and bushes have resting buds located above the ground and are damaged by fire to a larger extent than grasses (hemicryptophytes, and especially geophytes). Among the grasses, species whose resting buds are located in the soil or species which form tufts, such that the buds of internal shoots are protected from the effects of fire by shoots on the periphery, are more resistant to thermal stresses, tussock-forming plants being particularly resistant to fire. It is possible that the emergence of this form of vegetation is related to the impact of the fire events [1; 3; 4].

According to the work of Ukrainian researchers, the destruction of the organic matter component of litter during forest fires, causes a release of radionuclides, most of the activity entering the upper soil horizons of the burnt area. In the immediate years following a fire, the activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the 0–2 cm soil layer increased by 60–80 % compared with an in-

crease of 10–20 % in forests not exposed to fire [3]. Litter has ten times more ^{137}Cs and 3,5 times more ^{90}Sr than grass cover, plutonium being mainly concentrated in the litter, its activity in litter being approximately 1 700 higher than in grasses [5]. Coniferous forests growing on poor sandy soils, dry and semi-dry pine forests are more flammable than other types of forest. The activity of ^{137}Cs in the litter of coniferous forest can reach 40 % of the total activity of the radionuclide in the soil [6]. The release of such a large amount of radioactive species in the process of litter burnout can cause an abrupt change in the radioecological situation. An increase in the concentration of ^{137}Cs in the newly grown grasses and bushes, mushrooms, berries and other forest components, as well as in the wild animals that feed on these forest products, can be expected [7; 8]. The matter of transfer of radionuclides from soil to forest plants as a result of fire events remains open. Whether or not transfer factors increase or decrease as a result of fire events has not been firmly established. The pyrogenic effect is the most significant factor regarding changes to many properties of the soil, including those essential for plant growth and fertility. This work is focused on addressing this question, aiming to assess the impact of forest fires on the transfer of ^{137}Cs , ^{90}Sr , and ^{241}Am from soil to plants growing in ecosystems exposed to wildfires.

Materials and methods

The transformation of forest ecosystems after exposure to fire is a long process. Full ecosystem restoration requires approximately 100–150 years depending on the conditions under which its development takes place. An ecosystem changed by fire should be considered as a secondary succession, being replaced by other plant communities due to changing environmental conditions over time. In this context, investigations must be carried out at sites with successional changes at similar stages of development.

The selection of sites in the Polesie State Radioecological Reserve (PSRER) for the current study was conducted in several stages. First, information about fires that had occurred in the Belarusian sector of the exclusion zone of Chernobyl NPP was collated and analyzed. This analysis took account of, amongst other parameters: the intensity of the fire; the time of year when the fire occurred; the number of years since the fire; the type of forest that destroyed by the fire; the distance of the fire from the Chernobyl nuclear power plant; the γ -dose rate at the site and the radionuclides' activity in the soil of the affected area. Next, an inspection of the potential study sites was carried out. Visual inspection of the areas was conducted, the fire area was evaluated and the type of terrain and soil of the affected areas was determined. The impact of the fire on the soil was assessed, the γ -dose rate across each site was measured and representative soil samples extracted to obtain preliminary information regarding contamination of the sites by ^{137}Cs , ^{90}Sr , and ^{241}Am . Adjoining sites with similar soil and plant characteristics were selected, to be used as reference sites not having been affected by the fire. Six wildfire sites and six reference sites were selected for the investigations. The locations of the sites relative to the CNPP are depicted in Figure 1.

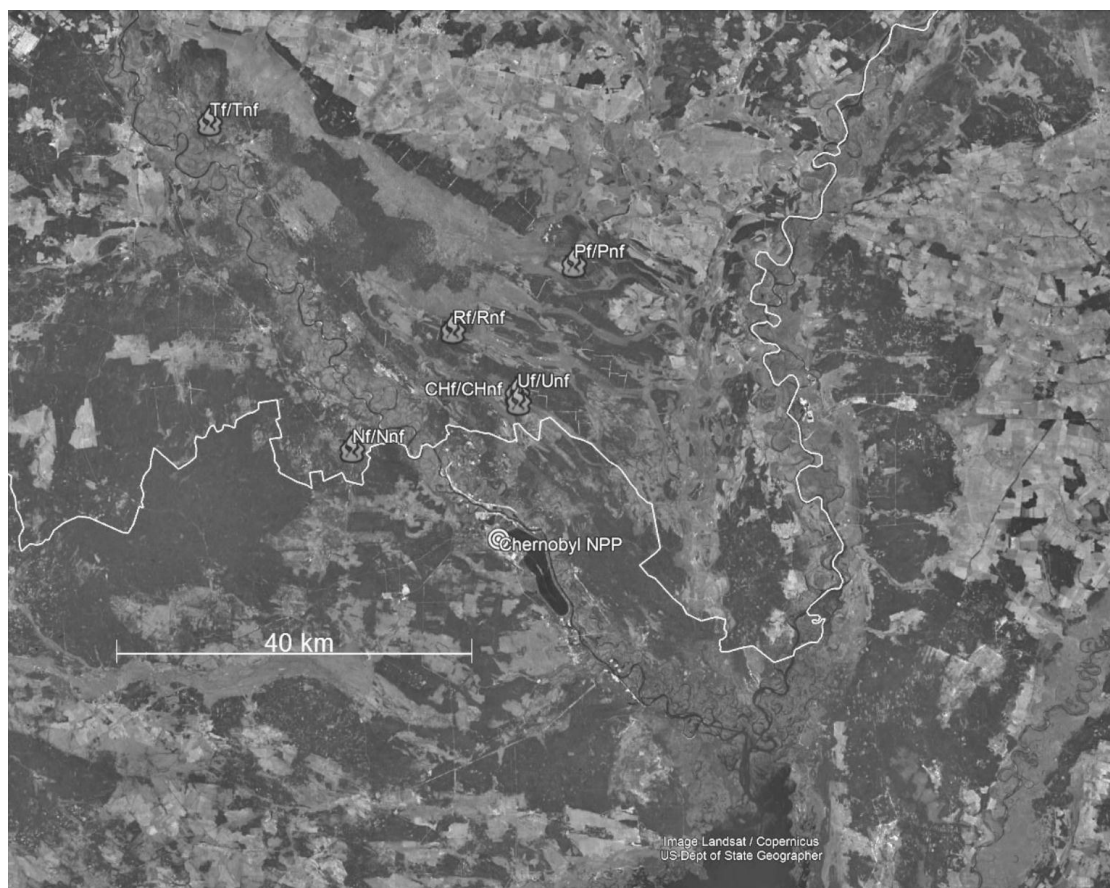


Figure 1. – The locations of the sites relative to the Chernobyl NPP

Paired samples of soil and plants were taken for analysis and determination of soil-to-plant transfer factors (C_f) and aggregated transfer factors (T_{ag}) during the period from June to September 2012. The size of the experimental plots in this case were of the order of $(5-10) \times (5-10)$ m. Soil sampling was carried out to a depth of 20 cm in 3-fold replicates. Plants taller than 1–2 cm were sampled on the same plots. Only leaves were sampled for birch. The plant samples were cleaned from foreign matter inclusions and dried at a temperature of 105 °C to constant weight. An electric mill of the type IKA M20 was used for homogenization of plant samples. Measurement of the radionuclides ^{137}Cs , ^{90}Sr in samples was performed by a gamma-beta-spectrometer of type «MKS AT-1315» (Atomtex, Belarus) and by semiconductor gamma-spectrometry (Canberra Industries, Inc., USA) (^{137}Cs , ^{241}Am). Activity concentrations of the radionuclides in the plants are presented in Bq/kg dry weight; the measurement uncertainty being within 20 % for all cases. Soil-to-plant transfer factors were calculated as the quotient of the radionuclide activity concentration in dry plants to its activity concentration in the upper 20-cm soil layer (Eqn. 1), and the aggregated transfer factor was calculated as the ratio of the radionuclide activity concentration in dry plants to the soil surface contamination density of the radionuclide (Eqn. 2).

$$\text{Concentration Ratio } CR = \frac{\text{activity concentration in plant (Bq kg}^{-1}\text{)}}{\text{activity concentration in soil (Bq kg}^{-1}\text{)}} \quad (1)$$

$$\text{Aggregated Transfer Factor } TF \text{ (m}^2 \text{ kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{mass activity density (Bq kg}^{-1}\text{)}}{\text{unit area activity density (Bq m}^{-2}\text{)}}. \quad (2)$$

All the sites had a sod-podzolic type of soil. Relevant parameters of the sites are presented in Table 1.

Table 1. – Parameters for the test site near former settlement (f. s.)

Name of site	Burnt/unburnt	Date of fire	Coordinates	Fire area, ha	Fire type and ground cover	Dose rate, $\mu\text{Sv/h}$	
						on the soil surface	at height 1 m
CHf (Chemkov)	Burnt	02.05.1992	51° 30' 52.4" 30° 07' 48.4"	200	Ground fire. Pine, Birch (undergrowth), lichens, smallreed	9,39–9,49	7,11–7,22
CHnf (Chemkov)	Unburnt	–	51° 30' 48.6" 30° 07' 48.1"	–	Pine, Birch (undergrowth), lichens, smallreed	9,35–9,41	6,29–6,36
Rf (Radin)	Burnt	05.07.2004	51° 35' 18.5" 30° 01' 21.8"	4	Ground and crown fires. Pine, birch (undergrowth, sporadic trees), mosses, lichens, smallreed	6,70–6,78	6,56–6,91
Rnf (Radin)	Unburnt	–	51° 35' 17.5" 30° 01' 12.5"	–	Pine, birch (undergrowth, sporadic trees), mosses, lichens, smallreed	8,77–8,83	6,70–6,78
Uf (Ulasy)	Burnt	06.08.2005	51° 31' 18.4" 30° 07' 40.4"	14	Ground fire. Pine (mature), Birch (undergrowth), matgrass, smallreed	6,37–6,42	5,14–5,32
Unf (Ulasy)	Unburnt	–	51° 31' 18.9" 30° 07' 37.8"	–	Pine (mature), Birch (undergrowth), matgrass, smallreed	6,71–7,01	5,07–5,27
Pf (Puchin)	Burnt	01.08.2002	51° 39' 09.7" 30° 13' 16.8"	450	Ground and crown fires. Pine, Birch (undergrowth), matgrass, smallreed, mosses	1,4	1,0
Pnf (Puchin)	Unburnt	–	51° 39' 01.7" 30° 13' 16.0"	–	Pine, birch (undergrowth), matgrass, smallreed, mosses	1,2	1,1
Tf (Tulgovichi)	Burnt	21.04.2003	51° 48' 10.6" 29° 37' 21.5"	2109	Ground and quick crown fires. Pine, birch (undergrowth), smallreed, mosses	–	–
Tnf (Tulgovichi)	Unburnt	–	51° 47' 32.9" 29° 38' 39.4"	–	Pine, birch (undergrowth), smallreed, mosses	–	–
Nf (Narovlya)	Burnt	8.06.2011	51° 28' 01.9" 29° 51' 33.7"	10,4	Ground fire. Pine, birch, clubawn-grass, heather	0,25	0,13
Nnf (Narovlya)	Unburnt	–	51° 28' 10.5" 29° 51' 21.9"	–	Pine, birch, clubawn-grass, heather	0,21	0,17

Standard methods of biological statistics were used for analysis of obtained data.

Results and discussion

Wildfires periodically arise in the Chernobyl exclusion zone leading to significant financial losses, burning of vegetation and the loss of wildlife. Radioactive substances are released into the atmosphere with convective flows of air, and may be dispersed off-site. Weather conditions have a significant influence on the risk of fire events, the risk of a fire event occurring increasing with increasing air temperature and decreasing amount of precipitations. The period of highest fire risk is from April to October. Wind, depending on its speed, affects the transfer of the burning material from the main combustion site to different distances.

Analysis of soil contamination densities at the experimental plots indicates that the previously reported [2; 5; 6] tendency towards increasing contamination in the upper 20-cm soil layer on a fire site compared to unburnt reference sites is not always observed (Table 2), the situation being opposite for ^{137}Cs at sites Uf and Pf. All burned sites have a lower level

of ^{241}Am soil contamination by than areas not affected by the fires. However, soil at all fire sites has level of contamination with ^{90}Sr higher than unburnt sites (Table 2).

Table 2. – Density of soil contamination at the test sites, kBq/m²

Site	$\bar{a} \pm \Delta$		
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am
CHf burned site	5 810 ± 774	231 ± 33	21,8 ± 4,5
CHnf reference site	5 110 ± 380	201 ± 22	26,9 ± 2,0
Rf burned site	4 660 ± 472	83 ± 9	9,3 ± 0,9
Rnf reference site	4 570 ± 251	60 ± 10	10,3 ± 0,9
Uf burned site	5 050 ± 721	206 ± 22	20,6 ± 2,2
Unf reference site	5 300 ± 777	179 ± 14	21,6 ± 1,9
Pf burned site	9 370 ± 3 117	–	–
Pnf reference site	16 990 ± 5 742	–	–
Tf burned site	5 270 ± 1 343	–	–
Tnf reference site	2 060 ± 524	–	–
Nf burned site	1 010 ± 252	–	–
Nnf reference site	524 ± 134	–	–

Such observed differences in the behavior of ^{137}Cs , ^{90}Sr , and ^{241}Am in soil may possibly be explained by localization of these radionuclides in the various components of the soil-plant complex and the thermal effects of forest fires on the upper layers of the soil, on understory plants, and litter [9; 10]. Soil properties are changed as a result of such exposure, and pyrolysis of the organic components by the fire. Organic matter content decreases and the level of generalization increases due to the burning of humus and litter. Soil microorganisms and soil fauna, which have a primary role in humification processes, disappear or change structure significantly. The stock of soil humus, humic and fulvic acids and humates, that are centers for accumulating ^{137}Cs and ^{90}Sr , [11] reduce. The behavior of transuranic elements may change as a result of the transformation of the chemical composition of the soil absorbing complex with which plutonium isotopes and ^{241}Am have a high propensity to form complexes.

Chemical changes in the soil environment necessarily affect the mobility and bioavailability of radionuclides for plant communities although transuranic elements are not prone to accumulate in significant quantities in plants, unlike ^{137}Cs and ^{90}Sr . This means that the burnup of the vegetation does not lead to additional contamination of soil with ^{241}Am unlike in the case of ^{137}Cs and ^{90}Sr .

A change in the physicochemical properties of the upper 20 cm of the soil as a result of thermal impact was confirmed at the investigated sites by a comparative analysis of the average density of soil from fire sites – $1,51 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ and $1,42 \pm 0,08 \text{ g/cm}^3$ on areas not exposed to fire. However, this was not observed for all sites – at experimental sites Rf and Rnf and Nf and Nnf the situation is opposite (Figure 2).

Partial changes of the crystal structure of soil minerals can occur as a result of high temperature. Ash and products of incomplete combustion formed on fire sites can lead to an increase in the rate of soil generalization and an increasing content of potassium and calcium which are chemical analogs of ^{137}Cs and ^{90}Sr correspondingly. Potassium and calcium, in high concentrations, can replace the ^{137}Cs and ^{90}Sr previously fixed on the soil microaggregates and displace them in an ionic form to the soil solution. This can significantly change the parameters of accumulation of radionuclides in plants.

Succession processes at the time of sampling were at approximately the same stages at all investigated sites. The composition of leafy plant cover had a high level of similarity

and regrowing trees were mostly of the same age, which made it possible to compare the sites with each other. The following species were selected for detailed study: silver birch (*Betula pendula* Roth), moss – Schreber’s big red stem moss (*Pleurozium Schreberi* Brid), lichen – Hypogymnia inflated (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), Small reed (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), Mat grass (*Nardus stricta* L.), Clubawn grass (*Corynephorus canescens* (L.) P.Beauv), Heather (*Calluna vulgaris* (L.).

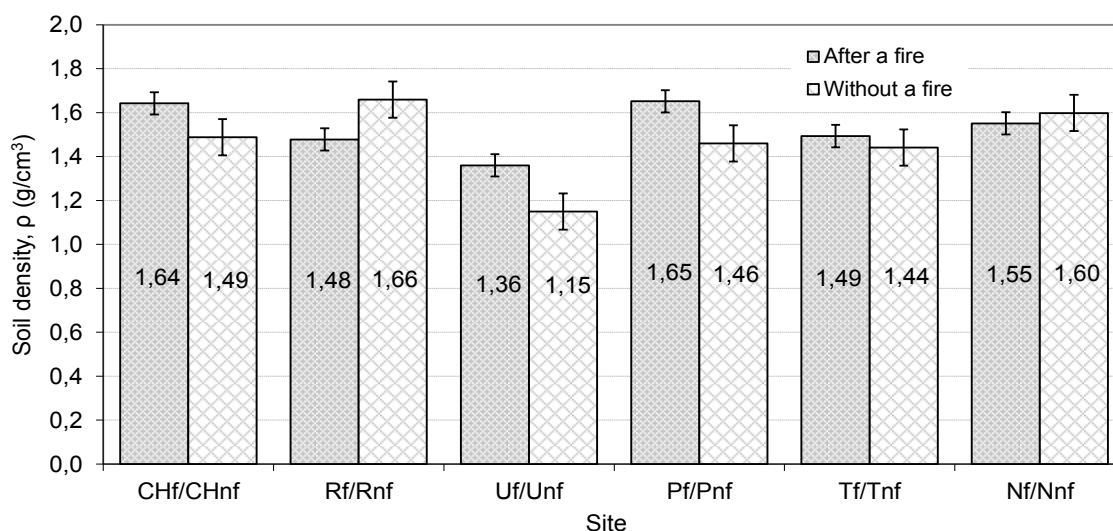


Figure 2. – Soil density on the burned and reference sites, g/cm³

Analysis of soil-to-plant transfer of radionuclides at the experimental sites did not indicate significant differences in C_f between burned and reference areas. Although an analysis of averaged C_f indicated a tendency to reduction of ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation in various species and plant parts for areas exposed to fire; this appeared to be associated with changes in the structure and chemical composition of the soil as described above. A fall in the total soil fertility, reduction of the organic component together with an increased concentration of mineral elements (including element-analogs) can cause this effect. However, for ^{241}Am the opposite trend was revealed, i. e. there was a tendency towards increased accumulation for areas exposed to fire. Different plant species exhibited significant differences in the accumulation of radionuclides. Lichens and Schreber's big red stem moss had the minimum soil-to-plant transfer factors for ^{137}Cs on the burned sites, clubawn grass and mat grass having minimal levels of accumulation of the radionuclide. The accumulation of radionuclide in the phytomass of small reed and mat grass was 2,7 and 1,6 times higher respectively on the areas subjected to pyrogenic transformation, in contrast to the reference sites, where there was no fire. Soil-to-plant transfer factors for ^{90}Sr were in most cases several times higher relative to those for other radionuclides. The only exception was lichen, which yielded the lowest ^{90}Sr accumulation on all sites. Also, there was a significant difference in accumulation ^{90}Sr by lichen in comparison with ^{137}Cs (3,2 – 3,7 times less). Accumulation of ^{90}Sr was higher for the reference areas in most cases, but small reeds and mat grass showed a significant increase of the radionuclide concentration on the burned sites. The maximum C_f for ^{90}Sr was in birch leaves on all study sites.

The activity concentrations of ^{241}Am were reliably determined in samples only for mosses and lichens. Patterns of ^{241}Am accumulation in these species are related to their biological characteristics, mosses and lichens being different taxonomic groups of organisms, with different processes of mineral nutrition that determine their ability to accumulate radionuclides. Lichens on the investigated sites had higher soil-to-plant transfer factors for ^{241}Am

as compared with mosses on all sites. C_f for lichens was 2,0 and 2,6 times higher than for the mosses on burned sites and reference sites respectively. The established regularities of radionuclide accumulation in the studied plants were related with their biological properties, plants belonging to different taxons, having different modes of mineral nutrition that define their ability for radionuclide accumulation. In general, radionuclide accumulation by plants and their constituent parts in areas exposed to transformation by fire depend on many factors. Fires significantly affect the state of the forest stand, understory plants and the interrelations in ecosystems and processes occurring in it – carbon, nutrients, water cycles and forest productivity in the strict sequence of succession. Stable ground fires destroy the A_0 horizon – the litter of soddy podzolic soils, increasing the content of mobile calcium, magnesium, potassium, and phosphorus in the upper 10-cm soil layer and shifting the pH from the acidic range (4,2–5,0) to the slightly acidic or neutral range (5,7–7,0) while not significantly altering the total content of nutrients (phosphorus and potassium). Topsoil moisture is always higher on previously burnt sites than in the adjoined unaffected areas due to the lack of water loss by plant transpiration. T_{ag} values exhibited a high variability on the experimental sites (Table 3) as indicated by previous work in relation to forest ecosystems [3; 5–8; 10].

Table 3. – Transfer factor (T_{ag}) of the radionuclides from soil to plants (specified uncertainty is related to the instrumental measurements of radionuclides in the samples), $m^2 kg^{-1}$

Object	$(T_{ag} \pm \Delta) \times 10^3, m^2 kg^{-1}$					
	^{137}Cs		^{90}Sr		^{241}Am	
	without a fire	after a fire	without a fire	after a fire	without a fire	after a fire
Chemkov						
Birch leaves	38,0 ± 7,6	6,0 ± 1,2	252,2 ± 50,4	80,6 ± 16,1	–*	–*
Lichen	11,8 ± 2,4	19,4 ± 3,9	12,9 ± 2,6	2,6 ± 0,5	0,9 ± 0,2	3,6 ± 0,7
Smallreed	–	1,2 ± 0,2	–	86,4 ± 17,3	–*	–*
Radin						
Birch leaves	15,5 ± 3,1	7,8 ± 1,6	545,2 ± 109,0	336,3 ± 67,3	–*	–*
Moss	36,7 ± 7,3	44,2 ± 8,8	100,9 ± 20,2	100,9 ± 20,2	–*	1,5 ± 0,3
Lichen	34,7 ± 7,8	14,2 ± 2,5	2,8 ± 0,6	6,9 ± 1,2	–*	2,0 ± 0,4
Smallreed	6,7 ± 1,3	4,4 ± 0,9	113,3 ± 22,7	149,2 ± 29,8	–*	–*
Ulasy						
Birch leaves	6,4 ± 1,3	13,2 ± 2,6	129,9 ± 26,0	228,9 ± 45,8	–*	–*
Moss	48,9 ± 9,8	13,4 ± 2,7	141,1 ± 28,2	45,4 ± 9,1	0,5 ± 0,1	–*
Smallreed	13,8 ± 2,8	46,4 ± 9,3	43,3 ± 8,7	94,0 ± 18,8	–*	–*
Matgrass	5,3 ± 1,1	3,3 ± 0,7	27,4 ± 5,5	42,5 ± 8,5	–*	–*
Puchin						
Birch leaves	0,17 ± 0,03	0,24 ± 0,05	–	–	–	–
Moss	0,26 ± 0,05	3,07 ± 0,61	–	–	–	–
Smallreed	0,19 ± 0,04	0,52 ± 0,10	–	–	–	–
Tulgovichi						
Birch leaves	0,78 ± 0,16	0,71 ± 0,14	–	–	–	–
Moss	5,46 ± 1,09	7,28 ± 1,46	–	–	–	–
Smallreed	0,69 ± 0,14	1,08 ± 0,22	–	–	–	–
Narovlya						
Birch leaves	3,36 ± 0,67	1,01 ± 0,20	–	–	–	–
Clubawgrass	1,92 ± 0,38	3,14 ± 0,63	–	–	–	–
Heather	62,1 ± 12,4	5,69 ± 1,14	–	–	–	–

* – T_{ag} has not calculated due to activity concentration of the radionuclides in the samples are below the lower limit of detection.

The analysis of the mean values of radionuclide T_{ags} shows similar patterns as in the case of C_f . Mainly, the highest magnitudes of ^{137}Cs and ^{90}Sr T_{ag} are typical for plants growing on the unburnt reference sites not exposed to thermal stress due to fires, although in some cases this dependence is not evident. The T_{ag} for ^{241}Am for the studied plant species on the burned sites was significantly higher than in reference sites: 3,2 times more for mosses, 3,1 times more for lichens (Figure 3).

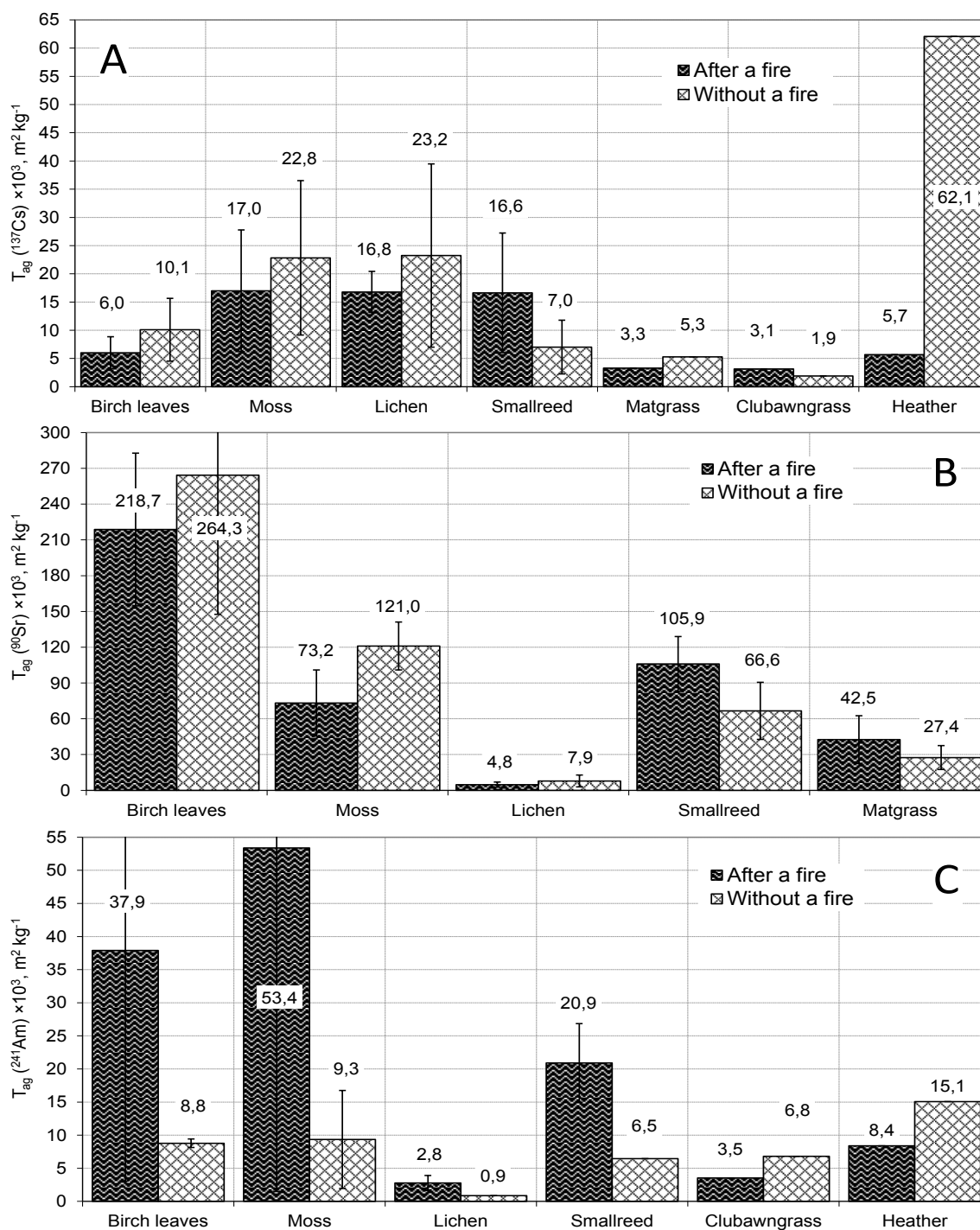


Figure 3. – Mean values of transfer factors of ^{137}Cs (A), ^{90}Sr (B), and ^{241}Am (C) from the soil into different plant species on the fire sites and sites not exposed to fire

The analysis of the aggregated transfer factors for different species of plants shows the same patterns as soil-to-plant transfer factors. Schreber's big red stem moss, lichen, and small reed have maximum T_{ag} of ^{137}Cs on areas where a fire occurs; mat grass and clubawn grass exhibit the least T_{ag} for the burnt sites. Heather has maximal levels of ^{137}Cs accumulation on the sites not affected by fires. The maximum transfer of ^{90}Sr from soil to plants is typical for birch leaves on the areas exposed to fire and on reference sites. Small reed displays the highest values of C_f and T_{ag} for ^{137}Cs and ^{90}Sr on all areas subjected to pyrogenic transformation due to fire. The highest transfer of ^{241}Am is into lichen phytomass both on the burnt and in the reference sites. Also, on the unburnt reference sites, the transfer of ^{241}Am in the moss and lichen is more than three times lower than on the burned forest sites.

All the investigated burnt sites are former pine forests with a small proportion of hardwoods (up to 10 %). The change in the moisture regime, the increase in incident light, the increasing of soil surface temperatures in the summer and the changes in the chemical composition of the soil horizons on these sites lead to the formation of other forest-growing conditions that have both a positive and negative impact on the succession changes and influence the presence of a new viable coniferous undergrowth. This enables the possibility of developing any scenario of secondary succession, and not necessarily one leading to restoration of the original pine forest species assemblage.

Analysis of the incident light levels in the cone of the noonday shadow and outside the shadow spot shows that the average illumination in the first case is 45 % lower, and the soil surface temperature is proportionally lower, as a result, pine shoots usually survive and form characteristic growth buds in the cone of the noonday shadow of old trees. Consequently, the forest-growing conditions are significantly improved due to the moderate shading of the surface. On burned sites the shading from the tree canopy is absent, shade being only partially provided by grassy vegetation which cover the soil on the burned sites for 2–3 years. Such species are represented mainly by deep root and rhizome species which retain growth buds after a fire, as well as by anemochores species, the seeds of which can transfer by air over distances of tens of kilometers. Herbaceous vegetation on the burned sites is a competitor to the tree shoots. The grass covers more quickly than the trees strengthen the surface from deflation, which is especially crucial for the burnings on contaminated territories [12].

As the uppermost layers of the soil are subjected to more pyrogenic changes [10], it would be logical to assume that changes in the parameters of radionuclides transfer to plants will be governed primarily by the processes taking place in these layers. However, the analysis of T_{ag} values carried out for the upper 4-cm layer of the soil did not show any significant deviations from the earlier observed behavior of the radionuclides in the soil-plants system for the 20-cm layer. The only peculiarity was slightly higher values of the aggregated transfer factors, especially for ^{90}Sr (up to 3 times), which is due to its greater capacity to migrate deep into the soil horizons and to be fixed in the underlying layers of the soil. Comparing the radionuclides accumulation parameters obtained in our studies with the data presented in the relevant IAEA document [13] indicates higher or close to the maximum level of values C_f and T_{ag} in most cases (Table 4) for this study.

This observation may be due to the peculiarities of Chernobyl fallout. Firstly, some of the Chernobyl radionuclides were included in fuel particles that are not readily available for root absorption by plants. This factor leads to underestimation of the transfer factor. Secondly, a high degree of surface contamination could cause overestimation of the calculated transfer factors for vegetation.

Analysis of changes in T_{ag} on the burned sites over time shows that the highest accumulation of radionuclides by plants occurred 8–11 years later the fire event. By the second decade post-fire, the transfer of the radionuclides is decreasing (Figure 4).

Low values of T_{ag} characterize the initial stage of secondary succession. Possibly, it is associated with a sharp decline in soil fertility, and changes of its physicochemical properties, biogenic changes that occur in the soil and plant associations.

Table 4. – Comparison of the experimental data from PSRER with IAEA data (IAEA, 2010)

Object $T_{ag}, m^2 kg^{-1}$ C_f , dimensionless	PSRER		IAEA data		
	Without a fire	After a fire	Minimum	Maximum	Page in [13]
^{137}Cs					
Birch leaves*, T_{ag}	$3,4 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-2}$	p. 101, tab. 38
Moss, C_f	6,2	5,0	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,9 \times 10^{-1}$	p. 48, tab. 17
Lichen, C_f	7,5	5,3	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,9 \times 10^{-1}$	p. 48, tab. 17
Smallreed, C_f	1,7	4,5	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,9 \times 10^{-1}$	p. 48, tab. 17
Matgrass, C_f	1,3	$8,5 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,9 \times 10^{-1}$	p. 48, tab. 17
Clubawngrass, C_f	$6,1 \times 10^{-1}$	$9,8 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,9 \times 10^{-1}$	p. 48, tab. 17
Heather, C_f	$2,0 \times 10$	1,8	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,9 \times 10^{-1}$	p. 48, tab. 17
^{90}Sr					
Birch leaves*, T_{ag}	$2,1 \times 10^{-1}$	$1,9 \times 10^{-1}$	$4,3 \times 10^{-3}$	$7,8 \times 10^{-2}$	p. 101, tab. 39
Moss, C_f	$3,2 \times 10$	$2,1 \times 10$	$2,6 \times 10^{-1}$	2,8	p. 58, tab. 17
Lichen, C_f	2,4	1,4	$2,6 \times 10^{-1}$	2,8	p. 58, tab. 17
Smallreed, C_f	$1,9 \times 10$	$3,1 \times 10$	$2,6 \times 10^{-1}$	2,8	p. 58, tab. 17
Matgrass, C_f	6,5	$1,1 \times 10$	$2,6 \times 10^{-1}$	2,8	p. 58, tab. 17
^{241}Am					
Moss, C_f	$1,0 \times 10^{-1}$	$4,4 \times 10^{-1}$	$4,2 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-1}$	p. 43, tab. 17
Lichen, C_f	$2,6 \times 10^{-1}$	$8,8 \times 10^{-1}$	$4,2 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-1}$	p. 43, tab. 17

* – average geometric values are given for birch leaves, the average arithmetic are given for all other cases.

It is most probable that the above-described features of ^{137}Cs , ^{90}Sr , and ^{241}Am accumulation in different plant species are related to peculiarities of the species morphology and physiology along with the physicochemical properties of radionuclides and the structure of the soil-absorbing complex at different sites.

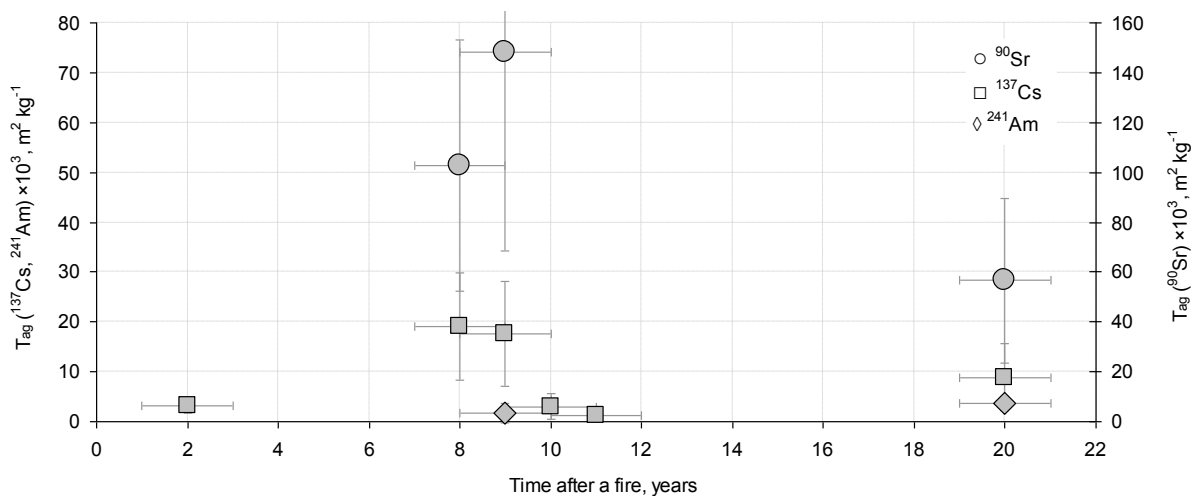


Figure 4. – T_{ag} dynamics of the radionuclides on burned sites

The highest accumulation of ^{90}Sr by birch leaves is explained by the structure of the root system and the depth of penetration of the roots, as well as by the higher tendency for accumulation of radionuclides by the physiologically active leaf parenchyma. Many species of birches are pioneer species on harvested and burnt sites and wastelands, where stands comprised totally of birch are present. Extensive birch stands populate abandoned lands, burned and forest-cleared sites, their shoots, at early stages of development, are very sensitive to the conditions of the environment. First of all, most birch species, especially at a very young age, need abundant sunlight. Even a slight competitive pressure from weeds is fatal for them, and their seeds germinate only lying on the surface of the soil. Birch has the fastest rate of growth among most of the forest tree species and fallen birch leaves in the process of decomposing secrete substances that are growth inhibitors for some plants [14–16].

Conditions on the burned sites, where competition from other species is least, are the best for tender birch seeds. The seeds settle first on the places cleared by recent fires, they successfully take root, and have here a high affinity for the accumulation of calcium. Simultaneously, ^{90}Sr is an element-analog of Ca, and the plants absorb the radionuclide in large quantities. The branched and robust root system of a young birch can penetrate to a great depth which is inaccessible for most other forest plant species. In addition, ^{90}Sr , currently possessing greater mobility in the ecosystems of the exclusion zone, it able to penetrate deeper into the soil than other studied radionuclides.

Schreber's big red stem moss has the greatest affinity for accumulation of ^{137}Cs among all the studied plants, and it absorbs other radionuclides to a considerable extent. This species has a vast ecological range, growing in all forest types, on nutrient-poor sandy soil in oligotrophic forest types and on humus-rich soil in eutrophic forest types. Mosses can intensively accumulate radionuclides and heavy metals from the environment [17]. Mosses, unlike angiosperms, characterized by lower levels of light saturation and optimum temperatures for photosynthesis, more extended periods of illumination for optimal photosynthesis, an earlier beginning of photosynthesis in spring and a later end of photosynthesis in autumn [18]. These advantages in photosynthetic activity allow mosses to dominate over flowering plants in the regard of accumulation radionuclides, as well as elements of nutrition. Absorbing nutrients from the upper soil layer, mosses are more demanding with respect to fertility; explaining the lower accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr by them on the depleted soils of burned sites.

Lichen exhibits peculiarities in ^{241}Am accumulation from the soil: it has the most significant transfer factor in areas exposed to wildfire (Fig. 3), most likely it is related to its anatomy. Lichens are a form of symbiosis between fungi with algae, and are often considered as a means of fungi feeding. The body of lichens (thallus) consists of fungi hyphae, between which are found green or blue-green algae or cyanobacteria (photobiont). which feeds both itself and the fungi component of the lichen. Lichens often play a role as pioneer species, preparing the substrate for other plants [19; 20]. The largest lichen C_f and T_{ag} of ^{241}Am on the burned sites can be explained by the fact that the photobiont in these conditions (no competitors, increased illumination) is more metabolically active and the processes of growth and absorption of nutrients by the mycelium are consequently more active. Also, mosses and lichens can absorb radionuclides with their aerial parts to a greater extent than other groups of plants.

A peculiarity observed for the small reed is more rapid absorption of ^{137}Cs and ^{90}Sr from soil at all sites where fires had occurred. This may explained by the lesser demands imposed by the plant on the organic component of the soil and soil moisture. Small reed grows on dry soils, often in pine forests or in dry meadows, felled and burnt areas, or on marginal land. Forming extensive thickets, any shading suppresses the development of its generative organs and generally weakens the vitality of the plant. Rhizomes, growing in the horizontal direction, penetrate to a depth governed largely by the soil and moisture regime [21; 22]. Another feature of small reed is the resistance of its seeds to desiccation and elevated environ-

mental temperatures, allowing it to be one of the first species to repopulate burnt areas. Furthermore, the germination rate of its seeds considerably increases with increasing ambient temperature.

Matgrass exhibits relatively low transfer factors for ^{137}Cs , factors for ^{90}Sr being somewhat higher in this study. A peculiarity of this species is its low demand on nutrients, thriving on poor soils. It dominates in meadows of calcium poor podzolic and peaty soils. It often dominates in the grass cover of low-grass meadows, with sparse species composition [23; 24]. Matgrass does not tolerate significant flooding and shading but responds well to soil compaction, which is characteristic of burnt land. Features of its root system allow it to grow successfully on acid soils likely contributing to the lower soil-to-plant transfer for this species. In this study, clubawn grass accumulates ^{137}Cs to a lesser than other plants. A small graminea plant of 10–30 cm height, it is not demanding on nutrients and grows on poor soils. The plant is soddy, having short ascending rhizomes, that form a dense sod, the leaves being very narrow and bristle-shaped. The main habitat for the growth of the species are forest and forest-steppe, being found in dry and thinned pine forests, on felled and fallow lands, usually on sandy soils. The radionuclides transfer factors for this species observed in this study are in good agreement with literature values.

Heather exhibited the greatest T_{ag} of ^{137}Cs among all the studied plants. Heather, together with some species from the genus *Erica*, forms specific plant communities – large thickets or heaths. A thin layer of acidic soil is usually formed under the thickets of heather. It has specific properties: dark gray color, mixed with white sand, loose, light and poor with nitrogen, potassium and phosphorus. Heather grows in dry pine forests, on burnt sites, on barren sands and sphagnum marshes – the places with the poorest and most acidic soils. Heather exists symbiotically with fungi like most representatives of the heather family, their hyphae helping the plant to extract nutrients from very poor soils, which is associated with a higher accumulation of radionuclides in virgin lands.

Conclusion

The behavior of radionuclides in soil and plants leads to the so-called biogenic fractionation, which manifests itself in a different radionuclide composition of contaminated soil and the plants growing on it. The distribution of radionuclides in organs of plants is specific and depends on the functions of corresponding elements in the plant, its availability in soil, biological peculiarities of the plant, etc. Uptake of ^{137}Cs , ^{90}Sr , and ^{241}Am from soil into plants has a quite complex dependence upon numerous factors. As establishing all of the dependences is unrealistic, it is necessary to choose a set of indicators.

As a rule, the lowest growing plants (mosses, lichens, mushrooms) exhibit the highest activity concentrations, followed by herbaceous species, shrubs, undergrowth, and young trees. The lowest activity is exhibited by trees – the upper level of the forest stand. This is due to the peculiarities of biology and plant structure – high activities of radionuclides being accumulated in organs and tissues of plants that have a high rate of metabolism and a relatively high percentage of protein. Lignified organs and tissues that play a transportational function to accumulate radionuclides in other organs and tissues. The mechanism of assimilation of radionuclides by the roots of plants is similar to the mechanisms of absorption of essential nutrients – macro- and trace elements. A certain similarity is observed in the absorption and distribution in plants of ^{90}Sr , ^{137}Cs and their chemical analogs – Ca and K, therefore the content of these radionuclides in biological objects is sometimes expressed in the relationship with their chemical analogs, in the so-called strontium and cesium units.

Sorption properties of the soil also determine the absorption of radionuclides by plants. Thus, ^{137}Cs is absorbed in more significant amounts than ^{90}Sr when entering

in roots from water solution, but it accumulated to a lesser extent from the soils. The analysis of C_f and T_{ag} of radionuclides from the soil in different species and parts of plants showed in most cases a tendency to decrease the accumulation of ^{137}Cs , ^{90}Sr , and ^{241}Am in areas exposed to fire. Decreasing the soil pH, its fertility, organic matter content together with the increasing concentration of some mineral elements (including element-analogues) can cause this effect. The maximum C_f and T_{ag} of ^{137}Cs in our study were associated with Schreber's big red stem moss and the minimum values of these coefficients with matgrass. The maximum transfer of ^{90}Sr from soil to plants is typical for birch leaves on the areas exposed to fire and on reference sites. Lichens exhibit the highest transfer factors for ^{241}Am on both burned and reference sites. Small reed, in all cases, exhibits the highest C_f and T_{ag} in areas subjected to pyrogenic transformation.

In general, ^{90}Sr shows the highest transfer from the soil to vegetation on former fire sites in all the investigated plots, which is associated with its physicochemical properties and high mobility in the soil-plant system. Dynamic processes in the development of secondary successions after a fire do not reveal a sharp jump in the parameters of the transfer of radionuclides to vegetation. The highest accumulation of radionuclides by plants was observed 8–11 years after the wildfire. A decrease in transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr from the soil to the plants over time has been observed. However, ^{241}Am exhibits a very low transfer into plants, and its transfer factor does not vary significantly.

Acknowledgements

This work was carried out in the framework of the international project BLR – 11/004 «Influence of forest fires on the behavior of radionuclides and their migration in the components of the biosphere in the Belarusian sector of the exclusion zone of the Chernobyl NPP», funded by the Ministry of Foreign Affairs of Norway.

REFERENCES

1. Pyrogenic succession on the Olenij island [Electronic resource] / E. Prosorova [et al.] // The materials of the White Sea Expedition of Moscow South-West High School. – Vol. 4. – Mode of access: <http://herba.msu.ru/shipunov/belomor/2004/flora/fire.htm>.
2. Kalinin, K. K. The impact of large fires on forest phytocenoses and the system of forest management measures to eliminate their consequences / K. K. Kalinin. – Yoshkar-Ola, 2002. – 449 p.
3. Kuchma, N. D. Remote radioecological consequences of forest fires in radiation contaminated areas. Prevention, elimination and consequences of fires on radioactively contaminated lands : collection of scientific papers / N. D. Kuchma, S. M. Poor, N. P. Arkhipov. – Gomel : FI NAS of Belarus, 2002. – Is. 54. – P. 190.
4. Rabotnov, T. A. Phytocenology : a textbook for high schools / T. A. Rabotnov. – M. : MSU Publishing House, 1992. – 352 p.
5. Kashparov, V. A. Fires in natural ecocenoses on radioactively contaminated territories, as a factor in the formation of a radioecological situation. Prevention, elimination and consequences of fires on radioactively contaminated lands : collection of scientific papers / V. A. Kashparov. – Gomel : FI NAS of Belarus, 2002. – Is. 54. – P. 145.
6. Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident: radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters / V. A. Kashparov [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2000. – Vol. 51. – P. 281–298.
7. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone. Part I. Fire experiments / V. I. Yoschenko [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2006. – Vol. 86. – P. 143–163.

8. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone. Part II. Modeling the transport process / V. I. Yoschenko [et al.] // *J. Environ. Radioact.* – 2006. – Vol. 87. – P. 260–278.
9. Investigation of the vertical distribution and speciation of ^{137}Cs in soil profiles at burnt and unburnt forest sites in the Belarusian Exclusion Zone / M. Dowdall [et al.] // *J. Environ. Radioact.* – 2017. – Vol. 175/176. – P. 60–69.
10. Redistribution of Chernobyl fallouts in soils after wildfires in the exclusion zone in Republic of Belarus / V. I. Sadchikov [et al.] // *Radiation biology, Radioecology.* – 2018. – Vol. 58 (2). – P. 183–194.
11. Dusha-Gudym, S. I. Radioactive forest fires : reference manual / S. I. Dusha-Gudym. – M. : Vnitslesresurs, 1999. – 160 p.
12. Sabaeva, N. I. Restoration of forest phytocenoses after a fire in the conditions of the Preishim region of the south of the Tyumen region : Ph. D. Thesis / N. I. Sabaeva. – Omsk, 2006. – 188 p.
13. International Atomic Energy Agency (IAEA). Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. IAEA Technical Reports Series. – Vienna : IAEA, 2010. – № 472. – 194 p.
14. Danchenko, A. M. Population variability of birch / A. M. Danchenko. – Novosibirsk : Nauka, Sib. Branch, 1990. – 202 p.
15. Kuptsov, S. Birches Berbeza. Taman dan Taman / S. Kuptsov. – M. : kVEGA, 2007. – Vol. 6. – P. 13–17.
16. Sapelin, A. Birch, biela priateľka / A. Sapelin // *Herald Florist.* – 2008. – Vol. 23 (115). – P. 6–16.
17. Nadein, A. F. Comparative characteristics of epiphytic lichens and mosses as bio-indicators of aerotechnogenic pollution / A. F. Nadein, S. N. Tarkhanov, O. A. Lobanova // *Ecology of the Northern Territories of Russia. Problems, the forecast of a situation, ways of development, decisions : conf.* – Arkhangelsk, 2002. – P. 699–703.
18. Shmakova, N. Yu. Formation and transformation of organic matter in plant communities of the mountain tundra Khibin : Ph. D. Thesis / N. Yu. Shmakova. – Petrozavodsk, 2006. – 40 p.
19. Jarve, S. Puuseened pargi- ja ilupuudel. Maalehe Raamat / S. Jarve. – Tallinn, 2006. – 127 p.
20. Niemela, T. Torikseened Soomes is Eesti (Pore Fungi in Finland and Estonia). Eesti Loodusfoto / T. Niemela. – Tartu, 2008. – 320 p.
21. Korobkin, V. I. Ecology / V. I. Korobkin, L. V. Peredelsky. – Rostov-on-Don : Phoenix, 2005. – 576 p.
22. Ulanova, N. G. Biological flora of Moscow region / N. G. Ulanova. – M. : Argus. Publishing house of Moscow State University, 1995. – Vol. 10. – P. 164–173.
23. Skvortsov, V. E. Educational atlas. Flora of Central Russia (for students and naturalists) / V. E. Skvortsov. – M. : CheRo, 2004. – P. 166–167.
24. Tsvetkov, V. F. Forest biogeocenoses / V. F. Tsvetkov. – Arkhangelsk : SUE Solombala publishing house, 2003. – 267 p.

УДК 57:581.9

Наталья Федоровна Ковалевич

ст. преподаватель каф. зоологии и генетики

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Natalia Kovalevich

Senior Lecturer of the Department of Zoology and Genetics

of the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: zoology@brsu.brest.by**ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДРОЗОФИЛИД (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) Г. БРЕСТА И ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ**

Изучено видовое разнообразие представителей семейства *Drosophilidae* города Бреста и отдельных районов Брестской области. Выявлено 11 видов представителей семейства *Drosophilidae*. Установлен половой состав особей и определены трофическая и топическая экологические группы.

Ключевые слова: видовой состав, *Drosophilidae*, г. Брест, Брестская область.

Species Variety of Drosophila (Diptera: Drosophilidae) in the City of Brest and Individual Districts of the Brest Region

The species diversity of representatives of the family *Drosophilidae* of the city of Brest and certain areas of the Brest region was studied. 11 species of representatives of the family *Drosophilidae* have been identified. The sex composition of individuals was also established and trophic and topical ecological groups were determined.

Key words: species composition, *Drosophilidae*, city of Brest, Brest region.

Введение

Информация о видовом составе, местообитаниях и экологии двукрылых имеет важное значение, поскольку по изменению спектра и численности видов можно определять состояние экосистем. Своевременное обнаружение инвазивных видов, ранее не встречавшихся на изучаемой территории, помогает вырабатывать адекватные меры борьбы с ними. Дрозофилиды (Diptera: Drosophilidae) являются одной из наиболее изученных групп организмов, они используются в качестве модельной системы для изучения процессов видообразования, генетики развития, молекулярной эволюции, а также таксономии и систематики. Отдельные виды рода *Drosophila* используются в качестве модельных объектов в экспериментальной биологии, поскольку обладают рядом преимуществ: небольшое число хромосом, наличие гигантских политенных хромосом в слюнных железах и других органах личинок, легкость разведения, короткий жизненный цикл. В связи с этим дрозофила представляет собой уникальную, удобную модель для изучения и понимания молекулярно-генетических основ сложных признаков, проливающих свет на важность межгенных и генно-средовых взаимодействий, а также для выявления генов и генных сетей, имеющих отношение к генам-аналогам (ортологам) комплексных признаков человека [1, с. 46].

Большинство видов является космополитами и синантропами, их личинки развиваются в разлагающихся растительных остатках, фруктах, овощах, грибах. Представители данного семейства распространены повсеместно, кроме полярных широт. По разным оценкам, в мире насчитывается от 3 до 4 тыс. видов, принадлежащих к данному семейству. Согласно литературным источникам, в Беларуси было обнаружено 19 видов семейства *Drosophilidae* [2, с. 13–14; 3, с. 99–100; 4, с. 147–148]. Исследования носят фрагментарный характер и были проведены в период 1988–1997 гг. Фауна дрозофилид Беларуси недостаточно изучена, опубликованных сведений о представителях

этого семейства на территории Брестской области крайне мало. На территории Бело-вежской пуши (Брестская область) были выявлены два вида семейства *Drosophilidae*.

Цель нашей работы – собрать данные по видовому составу и оценить экологические группы представителей семейства *Drosophilidae* в г. Бресте и в отдельных административных районах Брестской области.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на территории трех административных районов Брестской области (Республика Беларусь). Представители семейства *Drosophilidae* отлавливались осенью 2019 и 2020 гг. в трех местах г. Бреста (Ковалево, Граевка, центр), в агрогородке Бездеж Дрогичинского р-на и в г.Жабинка (рисунок 1). Местообитания г. Бреста представляют собой городскую многоэтажную застройку (Ковалево, центр) и приусадебные садово-огородные участки (Граевка). Места сбора образцов в агрогородке Бездеж Дрогичинского р-на и в г. Жабинка расположены в частном жилом секторе с садово-огородными участками.

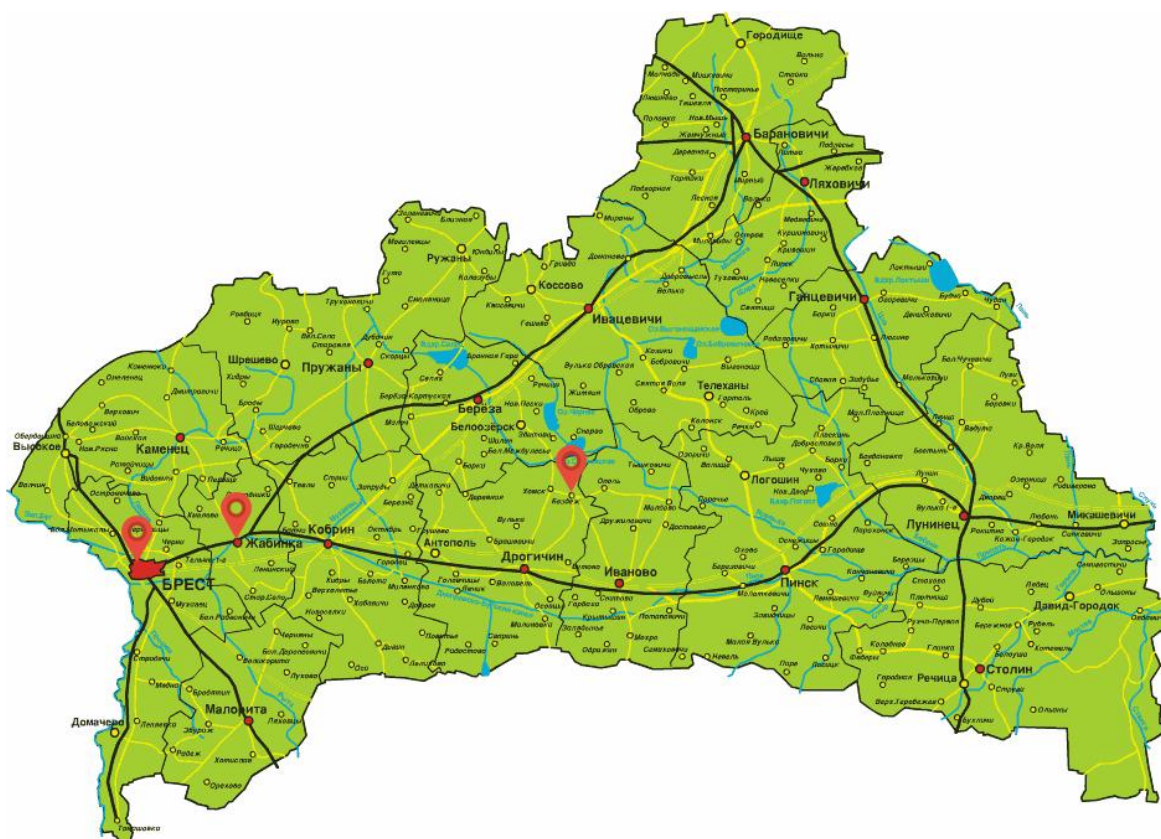


Рисунок 1. – Расположение мест сбора *Drosophilidae* в Брестской области в 2019–2020 гг.

Для отлова использовались ловушки с приманками из различных пищевых субстратов (плоды яблоки, перца, томата, арбуза, винограда) по общепринятой методике [5, с. 101]. Затем мухи фиксировались в растворе этилового спирта и глицерина (3:1). Для определения видов использовались различные определители [5–10] и стереомикроскоп МБС-10. Определение видов осуществлялось по следующим морфологическим признакам: рисунок тергитов на брюшке; форма крыльев, рисунок жилкования и толщина жилок крыльев; наличие различных пятен на крыльях; наличие гребней на перед-

них конечностях; рисунок на спинке; сеточка вокруг глаз; цвет глаз; количество и длина щетинок на голове.

Результаты исследования их обсуждение

Плодовые мушки (Drosophilidae) – семейство из отряда двукрылых (Diptera) насекомых. Семейство включает два подсемейства: Drosophilinae и Steganinae – и около 75 родов и 4 000 видов [11, с. 349]. В Беларуси, согласно литературным источникам, был изучен видовой состав дрозофилид природных биотопов Гомельской и Витебской областей, а также Беловежской пуши. Было обнаружено 19 видов семейства Drosophilidae: *Amiola rufescens* (Гомельская область, 1988 г.), *A. semvirgo* (Национальный парк «Беловежская пуша», 1961 г.; Гомельская область 1988 г.), *A. variegola* (Национальный парк «Беловежская пуша» 1961 г.); *Gitona distigma* Meigen (г. Гомель, 1985 г.); *Drosophila funebris* (Гомельская область, 1988 г.), *D. hydei* (Гомельская область, 1988 г.), *D. immigrans* (Березинский биосферный заповедник, 1986 г., Гомельская область, 1988 г.), *D. limbata* (Гомельская область, 1988 г.), *D. littoralis* (Гомельская область, 1988 г.), *D. fumet* (Гомельская область, 1988 г.), *D. phalerata* (Гомельская область, 1988 г.), *D. picta* (Гомельская область, 1989 г.), *D. repleta* (Гомельская область, 1988 г.), *D. lestagea* (Гомельская область, 1988 г.), *D. transversa* (Гомельская область, 1988 г.), *D. melanogaster* (Гомельская область, 1988 г.), *D. obscura* (Гомельская область, 1985 г. и 1988 г.), *D. subobscura* (Гомельская область, 1988 г.); *Scaptomyza pallid* (Гомельская область, 1985 г.) [2, с. 13–14; 3, с. 99–100; 4, с. 147–148].

Результаты оценки численности и встречаемости дрозофилид г. Бреста и отдельных районов Брестской области представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Численность и половой состав особей сем. Drosophilidae г. Бреста и отдельных районов Брестской области в 2019–2020 гг.

Виды	Биотопы в г. Бресте			Жабинка	Бездеж	Половой состав		Итого
	Ковалево	Центр	Граевка			♀	♂	
2019 г.								
<i>D. busckii</i>	–	–	81	–	–	32	49	81
<i>D. cardini</i>	–	–	55	–	–	30	25	55
<i>D. funebris</i>	14	223	24	–	–	94	167	261
<i>D. melanogaster</i>	39	–	–	–	–	19	20	39
<i>D. repleta</i>	–	–	24	–	–	14	10	24
<i>D. simulans</i>	–	–	8	–	–	3	5	8
2020 г.								
<i>D. busckii</i>	–	–	263	–	–	122	141	263
<i>D. hydei</i>	–	–	65	–	–	38	27	65
<i>D. immigrans</i>	–	–	26	–	–	12	14	26
<i>D. melanogaster</i>	–	285	243	110	129	403	364	767
<i>D. repleta</i>	–	–	36	–	–	21	15	36
<i>D. robusta</i>	–	–	5	–	–	2	3	5
<i>D. suzukii</i>	–	–	1	–	–	0	1	1

В ходе наших исследований было обнаружено и определено 11 видов дрозофилид, из которых 6 видов в 2019 г., 8 видов в 2020 г.:

1. *D. busckii* (Coquillett, 1901).

Вид впервые был обнаружен нами на территории Беларуси в 2019 г. в г. Бресте (район Граевка, повторно описан в 2020 г. в г. Бресте (район Граевка) [12, с. 173].

Это желтоватые мухи величиной 1–1,5 мм, среднеспинка и плеврон имеют узкие темные полосы, полосы на среднеспинке в виде трезубца. Прескутеллярные сеточки отсутствуют, тергиты с темными задними полосами, разорванными по средней линии и сбоку.

2. *D. cardini* (Sturtevant, 1916).

Впервые был обнаружен нами на территории Беларуси в 2019 г. в г. Бресте (район Граевка) [12, с. 173].

Это желтоватые мухи, длина тела 2,6–3,1 мм. Грудная клетка красновато-коричневая. Брюшко с блестящими черными задними полосами на каждом тергите, полосы сужаются дорсально и разбиты по средней линии на тергитах.

3. *D. rellima* (Wheeler, 1960).

Впервые был обнаружен нами на территории Беларуси в 2020 г. в г. Бресте (район Граевка) [13, с. 196].

Желтоватые мухи с четкими темными поперечными жилками на крыльях. Тергиты желтоватые, с 4 полукруглыми темно-коричневыми полосами, разделенными по центру; пятый и шестой тергит полностью темные.

4. *D. robusta* (Sturtevant, 1916).

Впервые был обнаружен нами на территории Беларуси в 2020 г. в г. Бресте (район Граевка) [13, с. 195].

Это крупные темно-коричневые мухи (2,5–3,9 мм). Коричневая спинка, иногда с параллельными темными полосами. Тергиты с темными полосами, прерываемые светлой полосой по центру.

5. *D. simulans* (Sturtevant, 1919).

Впервые был обнаружен нами на территории республики Беларусь в 2019 г. в г. Бресте (район Граевка) [12, с. 173].

Желтоватые мухи, внешне похожи на *D. melanogaster*, величина около 2,8 мм. Самцы на передних конечностях имеют 1 или 2 гребня. Мужские тергиты 2–4 бледно-желтые, с узкими, темными неразрывными задними полосами, тергиты 5 и 6 полностью затемнены. Женские тергиты бледно-желтые, с узкими, темными, неразрывными задними полосами.

6. *D. suzukii* (Matsumura, 1931).

Впервые был обнаружен нами на территории республики Беларусь в 2020 г. в г. Бресте (район Граевка) [13, с. 196].

Темные мухи, передние лапки самцов с 1 или 2 гребешками. Крыло самцов обычно с вкраплениями на вершинах крыла, но иногда без них; женское крыло гиалиновое. Самки с крупным затемненным зубчатым яйцекладом.

Кроме того, регистрировались виды, ранее известные в других местах Беларуси:

7. *D. funebris* (Fabricius, 1787).

Вид регистрировался в Гомельской области в 1988 г. Г. Г. Гончаренко и Н. Г. Горностаевым [2].

Красновато-коричневые мухи величиной 2–2,5 мм. Среднеспинка одноцветная светло или темно-коричневая. Тергиты самца полностью черновато-коричневые блестящие. Тергиты самки с темными задними полосами, которые узко прерываются на средней линии.

8. *D. hydei* (Sturtevant, 1921).

Вид регистрировался в Гомельской области в 1988 г. Г. Г. Гончаренко и Н. Г. Горностаевым [2].

Основной цвет скутума светлый, но с темно-коричневым неправильным рисунком темных пятен у основания щетинок и щетинок. Тергиты с темными задними перевязками, оборванными по средней линии, без светлых участков на боковой поверхности.

9. *D. immigrans* (Sturtevant, 1921).

Регистрировался в Витебской области в Березинском биосферном заповеднике в 1986 г. А. И. Добиной [2].

Это желтоватые мухи. Переднее бедро с внутренней поверхностью с рядом мелких шиповидных щетинок; передняя лапка самца с густой кистью из мелких вентральных щетинок. Тергиты светлые, с размытыми треугольными задними перевязками, не достигающими до бокового края; верхушечные тергиты полностью темные.

10. *D. melanogaster* (Meigen, 1830).

Вид регистрировался в Гомельской области в 1988 г. Г. Г. Гончаренко и Н. Г. Горностаевым [2].

Это желтоватые мухи с красными глазами, небольших размеров. Брюшко имеет поперечные черные кольца. Ярко выражен половой диморфизм: длина тела самки около 2,5 мм, самцы заметно меньше, задняя часть брюшка темнее, чем у самок.

11. *D. repleta* (Wollaston, 1858).

Вид регистрировался в Гомельской области в 1988 г. Г. Г. Гончаренко и Н. Г. Горностаевым [2].

Мухи бледно-желтого цвета величиной 2–2,7 мм. Щиток бледный, но с темно-коричневым нерегулярным рисунком темных пятен у основания сеточек. Тергиты бледные, с темными задними полосами, которые обрываются по средней линии.

В результате исследований 2019–2020 гг. в различных точках Брестской области нами были выявлены 11 видов семейства Drosophilidae, из которых в Беларуси ранее не были описаны 6 видов: *D. busckii*, *D. cardini*, *D. simulans*, *D. rellima*, *D. robusta*, *D. suzukii*. В 2019 г. впервые в Беларуси нами были описаны 3 вида: *D. busckii*, *D. cardini*, *D. simulans*, а в 2020 г. – *D. rellima*, *D. robusta*, *D. suzukii*.

В ходе анализа результатов исследований было установлено, что наибольшим видовым богатством представителей семейства Drosophilidae характеризовался биотоп Граевка в г. Бресте. Остальные же биотопы сбора образцов характеризовались более бедным видовым составом. Так, в биотопе Граевка было обнаружено 11 видов представителей семейства Drosophilidae. Это может быть связано с тем, что в этом частном секторе традиционно выращиваются на значительных площадях различные фруктовые и овощные культуры, что привлекает особей разных видов дрозофилид. Остальные биотопы Бреста характеризовались небогатым разнообразием (один-два вида). Также стоит отметить, что видовой состав, установленный в 2019 г. в тех же районах, что и 2020 г., отличался. Это может быть связано с использованием различных субстратов для отлова, а также с различными климатическими условиями. Так, например, по данным интернет-ресурсов, в Бресте период сентябрь – октябрь в 2019 г. был холоднее, чем в 2020 г.

В биотопах двух административных районов Брестской области в ходе наших исследований отмечался только один вид – *D. melanogaster*. В половой структуре дрозофилид существенных особенностей не выявлено (таблица 1).

Наиболее многочисленным и распространенным видом по итогам сборов 2019–2020 гг. являлся *D. melanogaster*, затем *D. busckii*, невысокой численностью характеризовался *D. repleta*. Единичные экземпляры *D. simulans* были найдены в 2019 г., а *D. rellima* и *D. robusta* – в 2020 г. Следует отметить, что довольно многочисленный вид *D. funebris* был обнаружен только в 2019 г. во всех местах сбора г. Бреста. Самый редкий вид в наших исследованиях – *D. suzukii*. Была обнаружена 1 особь данного вида (самец) в 2020 г. на субстрате из арбуза. В настоящее время вид *D. suzukii* является одним из главных сельскохозяйственных видов вредителей в Америке и Европе, т. к. он поражает плоды на ранней стадии созревания в сравнении с другими видами дрозофил, которые заражают только гнилые плоды. Можно предположить, что самец *D. suzukii* был занесен вместе с субстратом, однако других особей этого вида не было

обнаружено. Для определения степени опасности этого вида для г. Бреста необходимы дальнейшие исследования.

По характеру распространения большинство обнаруженных нами видов дрозофилид являлись космополитами (*D. melanogaster*, *D. busckii*, *D. hydei*, *D. funebris*, *D. immigrans*, *D. repleta*, *D. simulans*). Экологические ниши дрозофилид очень разнообразны, однако главное направление специализации семейства – развитие личинок в разлагающихся субстратах растительного происхождения. В связи с этим выделяют трофическую группу сапротригофагов, представители которой облигатно связаны на стадии личинки с разлагающимися растительными субстратами. По мнению исследователей, основным пищевым компонентом сапротригофагов являются дрожжевые грибы либо другие микроорганизмы разлагающихся растительных остатков [14, с. 698]. Среди сапротригофагов выделяют 2 топические группы: ксилосапробионты и фитосапробионты. Личинки ксилосапробионтов развиваются в вытекающем бродящем соке лиственных деревьев и в разлагающихся под корой тканях лиственных и хвойных деревьев. Группа дрозофилид-фитосапробионтов питается гниющими фруктами, овощами, листьями, стеблями и цветками растений.

Согласно литературным источникам, *D. melanogaster* и *D. simulans* распространены на томатных полях, фруктовых садах, виноградниках. Личинки *D. busckii* питаются различными гниющими органическими материалами (гниющий лук, томат, картофель, грибы). *D. immigrans* встречается на гниющих органических материалах, а также около цветов. *D. repleta* развивается на гниющих органических материалах, внутри помещений, в туалетных кабинках, в конюшнях, этот вид привлекает пиво. Личинки *D. rellima*, *D. funebris*, *D. cardini* питаются ферментирующими фруктами и грибами [8].

подавляющее большинство обнаруженных на территории г. Бреста и двух административных районов Брестской области видов принадлежат к трофической группе сапротригофагов (таблица 2).

Таблица 2. – Топические группы семейства Drosophilidae г. Бреста и отдельных районов Брестской области

Вид	Район обнаружения	Пищевой субстрат	Топическая группа
<i>D. busckii</i>	г. Брест (Граевка)	томат, перец, арбуз, персик, яблоко	гетеросапробионты
<i>D. cardini</i>	г. Брест (Граевка)	томат, яблоко	гетеросапробионты
<i>D. funebris</i>	г. Брест (Ковалево, автовокзал, Граевка)	томат, яблоко	гетеросапробионты
<i>D. hydei</i>	г. Брест (Граевка)	томат, перец, яблоко	гетеросапробионты
<i>D. immigrans</i>	г. Брест (Граевка)	перец, арбуз	гетеросапробионты
<i>D. melanogaster</i>	г. Брест (Ковалево, автовокзал, Граевка) г. Жабинка а/г Бездеж	томат, перец, арбуз, яблоко, виноград	гетеросапробионты
<i>D. rellima</i>	г. Брест (Граевка)	арбуз	карпофильные фитосапробионты
<i>D. repleta</i>	г. Брест (Граевка)	томат, персик	гетеросапробионты
<i>D. robusta</i>	г. Брест (Граевка)	перец	лаханофильные фитосапробионты
<i>D. simulans</i>	г. Брест (Граевка)	персик	карпофильные фитосапробионты
<i>D. sukikii</i>	г. Брест (Граевка)	арбуз	фитофаги

Среди обнаруженных на территории Брестской области видов семейства Drosophilidae можно выделить несколько топических групп. *D. robusta* относится к группе лаханофильных фитосапробионтов, питающихся разлагающимися овощами. Группа карпофильных фитосапробионтов, развивающихся на гниющих фруктах, включает такие виды, как *D. rellima*, *D. simulans*. Гетеросапробионты объединяют виды, живущие на различных субстратах. К ним относятся *D. busckii*, *D. cardini*, *D. funebris*, *D. hydei*, *D. immigrans*, *D. melanogaster*, *D. repleta*, питающиеся разлагающимися фруктами и овощами. Вид *D. suzukii* был обнаружен на арбузе, однако из литературы известно, что представители этого вида питаются живыми тканями молодых плодов, т. е. являются фитофагами [15, с. 8].

Заключение

В результате исследований 2019–2020 гг. в различных биотопах г. Бреста и трех административных районах Брестской области нами были выявлены 11 видов семейства Drosophilidae, из которых в Беларуси ранее не были описаны 6 видов: *D. busckii*, *D. cardini*, *D. simulans*, *D. rellima*, *D. robusta*, *D. suzukii*. Наиболее многочисленным видом является *D. melanogaster* (806 особей), а наиболее малочисленным в это время – *D. suzukii* (одна особь). По характеру распространения большинство найденных видов являются космополитами. Обнаруженные представители семейства Drosophilidae относятся к синантропным видам, принадлежат к трофической группе сапротригофагов, к топическим группам лаханофильных фитосапробионтов, карпофильных фитосапробионтов и гетеросапробионтов. В половой структуре дрозофилид существенных особенностей не выявлено.

Обнаруженный впервые на территории Беларуси вид *D. suzukii* является опасным сельскохозяйственным вредителем, т. к. самки откладывают яйца не в гнилые плоды, а в созревающие, что делает последние непригодными в пищу. Поэтому важно сразу же фиксировать области поражения данного вида и принимать соответствующие меры борьбы для предотвращения дальнейшего экономического ущерба.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрченко, Н. Н. История открытий на дрозофиле – этапы развития генетики / Н. Н. Юрченко, А. В. Иванников, И. К. Захаров // Вавил. журн. генетики и селекции. – 2015. – Т. 19, № 1. – С. 39–49.
2. Гончаренко, Г. Г. К исследованию двукрылых семейства дрозофилид в Белорусском Полесье / Г. Г. Гончаренко, Н. Г. Горностаев // Животный мир Белорусского Полесья : тез. докл. V обл. итоговой науч. конф. : в 2 ч. / ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол.: Б. П. Савицкий [и др.]. – Гомель, 1988. – Ч. 1. – С. 13–14.
3. Gornostaev, N. G. Fauna of drosophilid flies (Diptera: Drosophilidae) of Belorussia and Ukraine / N. G. Gornostaev // Russian Entomol. Journal. – 1997. – Nr 6 (3–4). – P. 99–101.
4. Гончаренко, Г. Г. Фауна представителей короткоусых двукрылых (Diptera: Drosophilidae) Белоруссии / Г. Г. Гончаренко, А. А. Сурков, Н. Г. Горностаев // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2009. – № 3, ч. 1. – С. 147–149.
5. Нарчук, Э. П. Определитель семейств двукрылых насекомых фауны России и сопредельных стран (с кратким обзором семейств мировой фауны) / Э. П. Нарчук // Тр. ЗИН РАН. – 2003. – Т. 294. – 253 с.
6. Markov, Th. A. Drosophila: a guide to species identification and use / Th. A. Markov, P. M. O'Grady. – Academic Press – Elsevier Inc., 2006. – 272 p.

7. Определительная таблица подотрядов и семейств двукрылых насекомых (Diptera) Беларуси и сопредельных государств / Г. Г. Гончаренко [и др.] // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2017. – № 6. – С. 5–14.
8. Miller, M. E. Review of the Species of *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) and Genera of Drosophilidae of Northeastern North America / M. E. Miller, S. A. Marshall, D. A. Grimaldi // Canadian Journal of Arthropod Identification. – 2017. – № 31. – 282 p.
9. Определитель насекомых европейской части СССР : в 5 т. / А. А. Гербачевская [и др.]. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1969. – Т. 5 : Определители по фауне СССР. – Ч. 2 : Двукрылые, блохи / А. А. Штакельберг, Э. П. Нарчук. – 1970. – 230 с.
10. Горностаев, Н. Г. Определительная таблица мух-дрозофилид (Diptera, Drosophilidae) Европейской России и сопредельных стран / Н. Г. Горностаев // Энтомол. обозрение. – 2001. – Т. 80, № 4. – С. 908–915.
11. Yassin, A. Phylogenetic classification of the Drosophilidae Rondani (Diptera): The role of morphology in the postgenomic era / A. Yassin // Systematic Entomology. – 2013. – Vol. 38 (2). – P. 349–364. – doi:10.1111/j.1365-3113.2012.00665.x.
12. Савчук, В. В. Видовой состав дрозофилид (Diptera: Drosophilidae) отдельного района г. Бреста / В. В. Савчук // Мониторинг и охрана окружающей среды : сб. материалов Междунар. студенч. науч.-практ. конф., Брест, 12 марта 2020 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. В. Шкуратова, М. В. Левковская, А. С. Домась. – Брест : БрГУ, 2020. – С. 172–175.
13. Савчук, В. В. Видовое разнообразие представителей дрозофилид (Diptera: Drosophilidae) северной части г. Бреста / В. В. Савчук, Н. Ф. Ковалевич // Зоологические чтения : сб. науч. ст., посвящ. 130-летию д-ра биол. наук, проф. Анатолия Владимировича Федюшина // ГрГУ им. Янки Купалы ; редкол.: О. В. Янчуревич (гл. ред.), А. В. Рыжая, А. Е. Каревский. – Гродно : ГрГУ, 2021. – С. 195–197.
14. Горностаев, Н. Г. Экологическая классификация мух-дрозофилид (Diptera, Drosophilidae) / Н. Г. Горностаев // Энтомол. обозрение. – 1996. – Т. 75, № 3. – С. 698–705.
15. Rota-Stabelli, O. *Drosophila suzukii* / O. Rota-Stabelli, M. Blaxter, G. Anfora // Current Biology. – 2013. – Nr 23 (1). – P. 8–9.

REFERENCES

1. Yurchienko, N. N. Istorija otkrytij na drozofilie – etapy razvitija gienetiki / N. N. Yurchienko, A. V. Ivannikov, I. K. Zakharov // Vavil. zhurn. gienetiki i sieliekcii. – 2015. – Т. 19, № 1. – S. 39–49.
2. Goncharienko, G. G. K issliedovaniju dvukrylykh siemiejstva drozofilid v Bieloruskom Polies’je / G. G. Goncharienko, N. G. Gornostajev // Zhivotnyj mir Bieloruskogo Polies’ja : tez. dokl. V obl. itogovoj nauch. konf. : v 2 ch. / GGU im. F. Skoriny ; riedkol.: V. P. Savickij [i dr.]. – Gomiel’, 1988. – Ch. 1. – S. 13–14.
3. Gornostaev, N. G. Fauna of drosophilid flies (Diptera: Drosophilidae) of Belorussia and Ukraine / N. G. Gornostaev // Russian Entomol. Journal. – 1997. – Nr 6 (3–4). – P. 99–101.
4. Goncharienko, G. G. Fauna predstavitieliej korotkousykh dvukrylykh (Diptera: Drosophilidae) Bieloruscii / G. G. Goncharienko, A. A. Surkov, N. G. Gornostajev // Izv. Gomiel. gos. un-ta im. F. Skoriny. – 2009. – № 3, ch. 1. – S. 147–149.
5. Narchuk, Ye. P. Opriedielitel’ siemiejstv dvukrylykh nasiekomykh fauny Rossii i sopriediel’nykh stran (s kratkim obzorom siemiejstv mirovoj fauny) / Ye. P. Narchuk // Tr. ZIN RAN. – 2003. – Т. 294. – 253 s.
6. Markov, Th. A. *Drosophila: a guide to species identification and use* / Th. A. Markov, P. M. O’Grady. – Academic Press – Elsevier Inc., 2006. – 272 p.

7. Opriedielitel'naja tablica podotriadov i siemiejstv dvukrylykh nasiekomykh (Diptera) Bielarusi i sopriediel'nykh gosudarstv / G. G. Goncharienko [i dr.] // Izv. Gomielsk. gos. un-ta im. F. Skoriny. – 2017. – № 6. – S. 5–14.
8. Miller, M. E. Review of the Species of *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) and Genera of Drosophilidae of Northeastern North America / M. E. Miller, S. A. Marshall, D. A. Grimaldi // Canadian Journal of Arthropod Identification. – 2017. – № 31. – 282 p.
9. Opriedielitel' nasiekomykh jevropiejskoj chasti SSSR : v 5 t. / A. A. Gierbachievskaja [i dr.]. – L. : Nauka, Leningr. otd-nije, 1969. – T. 5: Opriedieliteli po faune SSSR. – Ch. 2 : Dvukrylyje, blokhi / A. A. Shtakiel'berg, Ye. P. Narchuk. – 1970. – 230 s.
10. Gornostajev, N. G. Opriedielitel'naja tablica mukh-drozofilid (Diptera, Drosophilidae) Jevropiejskoj Rossii i sopriediel'nykh stran / N. G. Gornostajev // Entomol. obozrienije. – 2001. – T. 80, № 4. – S. 908–915.
11. Yassin, A. Phylogenetic classification of the Drosophilidae Rondani (Diptera): The role of morphology in the postgenomic era / A. Yassin // Systematic Entomology. – 2013. – Vol. 38 (2). – P. 349–364. – doi:10.1111/j.1365-3113.2012.00665.x.
12. Savchuk, V. V. Vidovoj sostav drozofilid (Diptera: Drosophilidae) otdiel'nogo rajona g. Briesta / V. V. Savchuk // Monitoring i okhrana okruzhajushchiej sriedy : sb. materialov Miezhdunar. studiench. nauch.-prakt. konf., Briest, 12 marta 2020 g. / Briest. gos. un-t im. A. S. Pushkina ; riedkol.: N. V. Shkuratova, M. V. Lievkovskaja, A. S. Domas'. – Briest : BrGU, 2020. – S. 172–175.
13. Savchuk, V. V. Vidovoje raznoobrazije predstavitieliej drozofilid (Diptera: Drosophilidae) sieviernoj chasti g. Briesta / V. V. Savchuk, N. F. Kovalievich // Zoologichieskije chtienija : sb. nauch. st. posviashch. 130-lietiju d-ra biol. nauk, prof. Anatolija Vladimirovicha Fiediushina // GrGU im. Yanki Kupaly ; riedkol.: O. V. Yanchurievich (gl. ried.), A. V. Ryzhaja, A. Ye. Karievskij. – Grodno : GrGU, 2021. – S. 195–197.
14. Gornostajev, N. G. Ekologichieskaja klassifikaciija mukh-drozofilid (Diptera, Drosophilidae) / N. G. Gornostajev // Entomol. obozrienije. – 1996. – T. 75, № 3. – S. 698–705.
15. Rota-Stabelli, O. *Drosophila suzukii* / O. Rota-Stabelli, M. Blaxter, G. Anfora // Current Biology. – 2013. – Nr 23 (1). – P. 8–9.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 12.09.2022

УДК 633.111.1:581.143.6

**Светлана Михайловна Ленивко¹, Виктор Викторович Коваленко²,
Нонна Степановна Ступень³**

¹канд. биол. наук, доц., доц. каф. зоологии и генетики
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²ст. преподаватель каф. химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³канд. техн. наук, доц., доц. каф. химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Svetlana Lenivko¹, Viktor Kavalenka², Nonna Stupen³

¹PhD in Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Zoology and Genetics
of the Brest State A. S. Pushkin University

²Senior Lecturer of the Department of Chemistry of the Brest State A. S. Pushkin University

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry
of the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: zoology@brsu.brest.by

ВЛИЯНИЕ IN VITRO ГИДРООКСАЛАТА- γ -АМИНОПРОПИЛСИЛАНА (КЕ-373) НА МОРФОГЕНЕЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЭКСПЛАНТОВ ПШЕНИЦЫ

Проведенная оценка влияния гидрооксалата- γ -аминопропилсилана на морфогенез в культуре *in vitro* листовых эксплантов, пыльников и незрелых зародышей, изолированных у различных сортов мягкой пшеницы, подтверждает его биологическую активность, установленную с помощью метода проростков. Статистически подтверждено, что индукция морфогенеза в культуре незрелых зародышей детерминирована как генотипом, так и кремнийорганическим компонентом питательной среды. Использование определенных концентраций соединения КЕ-373 способствует повышению эффективности показателей пыльцевого морфогенеза, индукции процессов каллусообразования и регенерации в культуре незрелых зародышей сортов *Triticum aestivum* L.

Ключевые слова: листовые экспланты, пыльники, незрелые зародыши, *Triticum aestivum* L.

Effect of in Vitro Hydrooxalate- γ -Aminopropylsilane (KE-373) on the Morphogenesis of Various Types of Wheat Explants

The assessment of the effect of hydrooxalate- γ -aminopropylsilane on morphogenesis in *in vitro* culture of leaf explants, anthers, and immature embryos isolated from various varieties of common wheat confirms its biological activity, established using the seedling method. It has been statistically confirmed that the induction of morphogenesis in the culture of immature embryos is determined by both the genotype and the organosilicon component of the nutrient medium. The use of certain concentrations of the KE-373 compound helps to increase the efficiency of pollen morphogenesis indicators, induction of callus formation and regeneration processes in the culture of immature embryos of *Triticum aestivum* L. varieties.

Key words: leaf explants, anthers, immature embryos, *Triticum aestivum* L.

Введение

Широко распространенным способом оценки биологической активности веществ, обладающих стимулирующей активностью, является метод проростков в различных модификациях [1]. Основным достоинством данного метода является экспрессивность: время проведения эксперимента составляет от 3 до 9 дней. Для тестирования по методу проростков семена культуры обрабатывают раствором исследуемого вещества, а затем помещают в термостат для прорастания. По окончании проведенного эксперимента проводят учет выбранного тест-параметра. На основании сравнения величин тест-параметра в контрольном варианте (без обработки) и в варианте с обработкой делают вывод о положительном или негативном действии исследуемого вещества. Дискуссионным моментом при использовании метода проростков является выбор тест-

параметра, поскольку неоднозначным может быть проявление ответных морфофизиологических реакций при прорастании семян на воздействие одной и той же концентрации испытуемого вещества. Наиболее чувствительным количественным параметром является показатель «длина корней проростков». При этом длина корней проростков представляется значимым показателем для определения биологической активности веществ, обладающих ауксиноподобным эффектом: стимулирующих в низких концентрациях развитие корневой системы ювенильных растений и ингибирующих – в высоких. Практически во всех проанализированных работах по фитотестированию различных веществ длина корней служит тест-параметром [2; 3], во многих случаях – в сочетании с высотой колеоптилей проростков [4; 5] или с показателями всхожести [6; 7].

Качественными параметрами оценки биологической активности веществ являются показатели энергии прорастания и всхожести семян. Зачастую эти показатели оказываются менее чувствительными параметрами при фитотестировании веществ [8]. Однако исключение их из тестирования было бы нецелесообразным, поскольку они являются важными характеристиками посевных качеств семян и используются в сельскохозяйственном производстве. Кроме того, в экспериментах по выявлению особенностей регуляторного действия стероидных гликозидов на начальный рост культурных злаков показано, что энергия прорастания и всхожесть семян при обработке этими соединениями изменялись не всегда одинаково, хотя, казалось бы, эти процессы сходны [9].

Регистрация тест-отклика по энергии прорастания и всхожести семян позволила вскрыть причину неоднозначной ответной реакции этих показателей на обработку стероидными гликозидами, связав ее с их эндогенным содержанием и метаболизмом при прорастании [9]. Актуальность проблемы сертификации новых регуляторов роста растений побудила исследователей к комбинации показателей и расчету обобщенного интегрального индекса фитоактивности, отражающего энергию прорастания, длину корня и высоту проростков семян, который позволил достаточно надежно оценить стимулирующий эффект гуминовых препаратов [10]. В проводимых нами исследованиях решалась задача комплексной оценки новых синтезированных соединений с потенциальной биологической активностью как с использованием традиционных методов тестирования качественных и количественных показателей прорастания семян в лабораторных условиях, так и с включением методов культивирования изолированных эксплантов в условиях *in vitro*.

Материал и методы исследования

Изученный нами гидрооксалат- γ -аминопропилсилан (в дальнейшем – КЕ-373) синтезирован под руководством профессора Н.П. Ярчака, которому авторы выражают искреннюю благодарность за многолетнее плодотворное сотрудничество. Соединение КЕ-373 представляет значительный интерес благодаря наличию в его молекуле гетероциклических систем тиофена [11] и N-метил-N'-пиперазина [12], оно обладает специфическими электронными эффектами, способными придать ему полезные свойства.

На примере шести сортов и двух дигиплоидных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) ранее нами было показано, что концентрации 10^{-5} и 10^{-6} М КЕ-373 проявляют биологическую активность по показателям «энергия прорастания семян» и «всхожесть», увеличивая их значения соответственно от 1 до 15 % и от 1 до 11 % по сравнению с контролем в зависимости от варианта опыта. Соединение КЕ-373 в наибольшей испытанной концентрации (10^{-4} М) устойчиво снижало значения по данным показателям по сравнению с контролем. Концентрации 10^{-5} и 10^{-6} М соединения КЕ-373 способствовали росту первичных органов у испытанных сортов пшеницы в большинстве вариантов опыта [13]. Следует отметить, что концентрация 10^{-5} М КЕ-373 наибольшее влияние оказала на сорт Мунк, у которого отмечено превышение средне-

го значения длины корней на 26 %, а эпикотилей – на 21 % по сравнению с контролем. Наибольший стимулирующий эффект концентрации 10^{-6} М выявлен в отношении роста зародышевых корешков у сортов Легенда, Мунк и Дарья (на 10, 12 и 13 % соответственно), а в отношении эпикотилей – у сорта Мунк на 12 %. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о стимулирующем действии соединения КЕ-373 на процессы прорастания семян пшеницы, что определило перспективность дальнейшего тестирования КЕ-373 по выявлению способности влиять на морфогенетические процессы в культуре листовых эксплантов, пыльников и незрелых зародышей.

Материалом для исследований послужили районированные в Республике Беларусь сорта мягкой пшеницы с озимым типом развития – Легенда (Беларусь), Центос (Германия), Богатка (Польша), а также сорта Дарья (Беларусь), Мунк (Германия), Банти (Польша) и дигаплоидная линия Dh 65-32 с яровым типом развития.

За основу для введения в культуру *in vitro* листовых эксплантов пшеницы был взят метод, описанный Л. С. Сидор и П. А. Орловым [14]. Культивирование *in vitro* пыльников пшеницы проведено по общепринятому методу, предложенному В. Ю. Горбуновой и Н. Н. Кругловой [15]. Метод культуры *in vitro* незрелых зародышей проведен по отобраным оптимальным стадиям на основе анализа данных литературы [16]. Культивирование листовых эксплантов и незрелых зародышей проводили на питательной среде MS (Murashige and Skoog, 1962), пыльников – С-17 (Wang and Chen, 1986), которые были дополнены различными концентрациями соединения КЕ-373.

Статистическую обработку полученных результатов проводили согласно общепринятым методам биологической статистики с использованием программы Excel. Достоверность значимости различий между данными варианта опыта и контроля определяли по t-критерию Стьюдента. Дисперсионный анализ применяли для комплексной оценки полученных средних значений по вариантам опыта, установления значимости и доли влияния факторов на их изменчивость.

Результаты исследования и их обсуждение

В первой серии экспериментов в качестве эксплантов использованы базальные участки листовых пластинок 3–5-дневных проростков семян мягкой пшеницы сортов Центос и Легенда с высокой способностью к индукции и пролиферации каллуса. Оценку отзывчивости листовых эксплантов двух сортов озимой мягкой пшеницы на введение в состав питательной среды MS соединения КЕ-373 в определенных концентрациях проводили на 30-й день. Культивирование листовых эксплантов двух сортов Центос и Легенда озимой мягкой пшеницы на дополненных питательных средах MS показало, что зависимость частоты каллусообразования от концентрации соединения КЕ-373 (таблица 1) носила нелинейный характер.

Таблица 1. – Влияние соединения КЕ-373 на частоту каллусообразования в культуре листовых эксплантов двух сортов мягкой пшеницы, %

Генотип	Концентрации, М					
	10^{-4}		10^{-5}		10^{-6}	
	частота	+/- к контролю	частота	+/- к контролю	частота	+/- к контролю
Центос	73,3 ± 5,71	-5	82,9 ± 4,5	+4,5	71,7 ± 5,82	-6,7
Легенда	63,3 ± 6,22	-21,7*	85,7 ± 4,2	+0,7	72,9 ± 5,31	-12,1*

Примечание – * – достоверно по отношению к контролю при $P \leq 0,05$.

Превышение данных контроля наблюдалось только в одном варианте опыта – при культивировании листовых эксплантов двух сортов на питательной среде с добавлением силильного соединения КЕ-373 в концентрации 10^{-5} М. Частота формирования каллусов в этом варианте опыта у сорта Центос на 4,5 % выше по сравнению с контролем. Значительное снижение оцениваемого показателя наблюдалось при культивировании листовых эксплантов сорта Легенда на питательной среде MS, содержащей соединение КЕ-373 в концентрациях 10^{-4} и 10^{-6} М. Несмотря на отмеченные различия в реакции листовых эксплантов сортов Центос и Легенда на испытанные мольные концентрации соединения КЕ-373, проведенный двухфакторный дисперсионный анализ не показал существенного влияния ни генотипа, ни концентрации на частоту каллусообразования. Таким образом, слабое положительное действие соединения КЕ-373 в концентрации 10^{-5} М можно рассматривать лишь как тенденцию к стимуляции образования каллусов в культуре листовых эксплантов.

Во второй серии экспериментов в качестве эксплантов использованы пыльники трех сортов мягкой пшеницы. Поскольку при андрогенезе *in vitro* возможны два пути морфогенеза: у яровых сортов пшеницы инициальные клетки пыльников развиваются по пути эмбриогенеза, а у озимых – по пути гемморизогенеза [Орлов], то морфогенетические процессы в культуре пыльников различных генотипов пшеницы оценивали по частоте отзывчивых пыльников, по общей частоте новообразований, по частоте образования эмбрионов (зародышеподобных структур), по частоте формирования морфогенных каллусов, которые при переносе на среду, иницирующую органогенез, образуют почки и корни. Все показатели рассчитывали на 100 инокулированных пыльников. Результаты влияния малых мольных концентраций соединения КЕ-373 на параметры пыльцевого морфогенеза *in vitro* представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2. – Влияние соединения КЕ-373 на пыльцевой морфогенез сорта Центос, %

Параметры пыльцевого морфогенеза	Контроль	Концентрация, М			
		10^{-5}	+/- к контролю	10^{-6}	+/- к контролю
Частота отзывчивых пыльников	1,05 ± 0,33	1,27	+0,22	1,08	+0,03
Частота новообразований	1,06 ± 0,46	2,97*	+1,91	4,30*	+3,24
Частота эмбрионов	0,32 ± 0,18	0,85	+0,53	1,72	+1,40
Частота морфогенных каллусов	0,74 ± 0,28	2,12	+1,38	2,58	+1,84

Примечание – * – достоверно по отношению к контролю при $P \leq 0,05$.

Таблица 3. – Влияние соединения КЕ-373 на пыльцевой морфогенез сорта Легенда, %

Параметры пыльцевого морфогенеза	Контроль	Концентрация, М			
		10^{-5}	+/- к контролю	10^{-6}	+/- к контролю
Частота отзывчивых пыльников	1,78 ± 0,47	0,22	-1,56	0,43	-1,35
Частота новообразований	1,78 ± 0,47	1,57	-0,21	2,59	+0,81
Частота эмбрионов	0	0,67	+0,67	1,15	+1,15
Частота морфогенных каллусов	1,78 ± 0,47	0,90	-0,88	1,44	-0,34

Таблица 4. – Влияние соединения КЕ-373 на пыльцевой морфогенез сорта Банти, %

Параметры пыльцевого морфогенеза	Контроль	Концентрация, М					
		10^{-5}	+/- к контролю	10^{-6}	+/- к контролю	10^{-7}	+/- к контролю
Частота отзывчивых пыльников	15,70 ± 3,31	12,57	-3,13	18,71	+3,01	23,02	+7,32
Частота новообразований	22,31 ± 5,32	16,0	-6,31	36,13*	+13,82	38,85**	+16,54

Окончание таблицы 4

Частота эмбриоидов	18,18 ± 3,51	13,71	-4,47	32,26 [*]	+14,08	34,53 ^{**}	+16,35
Частота морфогенных каллусов	4,13 ± 1,81	2,29	-1,84	3,87	-0,26	4,32	+0,19

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

Добавление в питательную среду соединения КЕ-373 способствовало статистически достоверному увеличению числа новообразований у озимого сорта Центос во всех вариантах опыта. При этом наибольшее превышение данных контроля (на 3,24 %) наблюдалось при использовании концентрации 10^{-6} М. Формирование новообразований у сорта Центос происходило преимущественно за счет образования морфогенных каллусов. Влияние соединения КЕ-373 на выход отзывчивых пыльников сорта Центос оказалось незначительным.

Использование соединения КЕ-373 стимулировало пыльцевой эмбриогенез, хотя и незначительно, у сорта Легенда с озимым типом развития. При этом отмечено небольшое снижение по частоте отзывчивых пыльников и морфогенных каллусов.

Реакция ярового сорта Банти на добавление в питательную среду соединения КЕ-373 была различной. Снижение концентрации КЕ-373 приводило к увеличению отзывчивости пыльников и формированию новообразований. Превышение данных контроля в наименьшей из исследованных концентраций соединения КЕ-373 составило 7,32 % по первому показателю и 16,54 % по второму показателю. Стимулирующий эффект по исследуемым показателям установлен у данного генотипа и в отношении концентрации 10^{-6} М. Превышение данных контроля составило 3,01 и 13,82 % соответственно. Таким образом, полученные результаты позволили установить положительное достоверное влияние концентраций 10^{-6} и 10^{-7} М соединения КЕ-373 на пыльцевой эмбриогенез у сорта Банти.

В третьей серии экспериментов в качестве эксплантов использованы незрелые зародыши шести сортов и одной дигиплоидной линии мягкой пшеницы. Анализ данных по исследованию стимулирующей активности соединения КЕ-373 на частоту каллусообразования (%) в культуре *in vitro* незрелых зародышей различных генотипов мягкой пшеницы по сравнению с контролем (таблица 5) показал, что в ряду концентраций от 10^{-5} до 10^{-7} М происходит снижение ответных реакций у яровых форм пшеницы.

Таблица 5. – Влияние соединения КЕ-373 на частоту каллусообразования в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы, %

Генотип	Концентрации, М					
	10^{-5}		10^{-6}		10^{-7}	
	частота	+/- к контролю	частота	+/- к контролю	частота	+/- к контролю
Богатка	92,0 ± 2,27	+8,7 [*]	98,8 ± 1,24	+15,5 [*]	89,0 ± 3,53	+5,7
Центос	99,0 ± 1,20	+1,1	100,0 ± 0	+2,1	95,0 ± 3,06	-2,9
Легенда	91,0 ± 3,19	+7,0	92,5 ± 2,54	+8,5 [*]	80,0 ± 4,47	-4,0
Дарья	98,0 ± 1,35	+8,0 [*]	95,0 ± 2,44	+5,0	92,5 ± 4,16	+2,5
Банти	96,7 ± 1,56	+9,4 [*]	91,3 ± 3,15	+4,0	88,8 ± 3,53	+1,5
Мунк	91,7 ± 3,57	+6,7	82,2 ± 5,70	+2,8	86,7 ± 5,07	-1,7
Dh 65-32	100,0 ± 0	0	100,0 ± 0	0	90,0 ± 6,71	-10,0

Примечание – * – достоверно по отношению к контролю при $P \leq 0,05$.

Реакция генотипов озимых сортов пшеницы несколько отличалась от реакции яровых сортов и дигиплоидной линии. Так, при добавлении в питательную среду соединения КЕ-373 в концентрации 10^{-6} у всех озимых сортов наблюдалось наибольшее образование каллусов по сравнению с контролем.

Достоверное увеличение частоты каллусообразования в среднем на 9 % наблюдалось у сортов Богатка, Дарья и Банти под влиянием КЕ-373 в концентрации 10^{-5} М. Концентрация 10^{-6} М соединения КЕ-373 способствовала значительному повышению этого показателя на 16 и 9 % у сортов Богатка и Легенда. Реакция сортов мягкой пшеницы на добавление в питательную среду соединения КЕ-373 в концентрации 10^{-7} М оказалась различной.

Как показали полученные результаты, применение соединения КЕ-373 в концентрациях 10^{-5} и 10^{-6} М способствует индукции каллусообразования в культуре незрелых зародышей, при этом для озимых сортов наиболее благоприятной является концентрация 10^{-6} М, а для яровых – 10^{-5} М.

Для статистического выяснения закономерностей изменчивости частоты каллусообразования в культуре незрелых зародышей шести сортов мягкой пшеницы в системе «концентрация – сорт» проведен двухфакторный дисперсионный анализ, результаты которого представлены в таблице 6. Не были включены в дисперсионный анализ данные, полученные по дигиплоидной линии Dh 65-32, поскольку на фоне ее высокой генетически обусловленной способности к каллусогенезу действие соединения КЕ-373 не могло быть выявлено в полной мере.

Таблица 6. – Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости частоты каллусообразования в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы в зависимости от генотипа сорта и концентрации соединения КЕ-373

Источник вариации	SS	df	MS	F	F ₀₅	Доля влияния фактора, %
Сорт	273,73	5	54,75	4,24	3,33	52,25
Концентрация	120,85	2	60,42	4,67	4,10	23,07
Случайные отклонения	129,27	10	12,93			24,68
Общее	523,84	17				

Результаты проведенного двухфакторного дисперсионного анализа подтвердили наличие достоверных различий при $P \leq 0,05$ по частоте каллусообразования в культуре незрелых зародышей между включенными в эксперимент сортами мягкой пшеницы с яровым и озимым типом развития. Достоверным оказалось и влияние различных концентраций соединения КЕ-373 при $P \leq 0,05$. Оценка относительной роли сорта и концентрации соединения КЕ-373 в изменчивости частоты каллусообразования в культуре незрелых зародышей показала, что в большей степени она зависит от генотипа сорта. Доля влияния генотипа в варьировании данного показателя составила 52 %.

Поскольку результативность использования методов культивирования различных типов эксплантов зависит от успешной регенерации растений в условиях *in vitro*, в четвертой серии экспериментов исследовалась возможность влияния соединения КЕ-373 на регенерационный процесс у каллусов, полученных в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы, поскольку только этот тип эксплантов оказался наиболее эффективным и позволил получить необходимое для статистического анализа число каллусов на предыдущем этапе исследования. Частоту регенерации определяли по количеству каллусов с появившимися побегами от общего числа каллусов, высаженных на среду для регенерации (не менее 50 штук в варианте опыта). Результаты влияния со-

единения KE-373 на частоту регенерации в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы представлены в таблице 7.

Таблица 7. – Влияние соединения KE-373 на частоту регенерации в культуре незрелых зародышей яровых сортов мягкой пшеницы, %

Сорт	Контроль	Концентрация, М					
		10^{-5}		10^{-6}		10^{-7}	
		частота	+/- к контролю	частота	+/- к контролю	частота	+/- к контролю
Богатка	26,8 ± 5,92	24,1 ± 5,12	-2,7	36,3 ± 4,91	+9,5	45,6 ± 6,79	+18,8*
Центос	12,7 ± 3,74	12,0 ± 3,68	-0,7	16,3 ± 3,36	+3,6	26,9 ± 4,91	+14,2*
Легенда	6,7 ± 3,72	19,1 ± 4,02	+12,4*	20,7 ± 4,36	+14,0*	25,0 ± 3,36	+18,3*
Дарья	25,5 ± 5,87	24,0 ± 5,06	-1,5	29,1 ± 4,76	+3,6	26,8 ± 6,41	+1,3
Банги	32,5 ± 6,50	26,1 ± 5,32	-6,4	37,6 ± 6,60	+5,1	33,3 ± 3,72	+0,8
Мунк	33,5 ± 6,25	28,6 ± 5,40	-4,9	59,6 ± 6,80	+26,1*	54,2 ± 6,80	+20,7*

Примечание – * – достоверно по отношению к контролю при $P \leq 0,05$.

Количество полученных растений-регенерантов из каллусов, культивированных на среде MS, дополненной соединением KE-373 в концентрации 10^{-5} М, было меньше, чем в контрольном варианте у всех исследованных сортов, кроме сорта Легенда. У этого сорта наблюдалось достоверное превышение количества полученных растений-регенерантов во всех исследованных вариантах. Следует отметить, что сорт Легенда характеризовался низкой регенерационной способностью: частота регенерации в контроле составила всего 6,7 %.

Снижение концентрации соединения KE-373 способствовало повышению частоты регенерации у озимых сортов Богатка и Центос, а также ярового сорта Мунк. Яровые сорта Дарья и Банги оказались в меньшей степени чувствительными к присутствию соединения KE-373 в концентрациях 10^{-6} и 10^{-7} М. Индукция процессов регенерации в этих вариантах опыта мало отличалась от данных, полученных в контроле.

Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости частоты регенерации в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы в зависимости от генотипа сорта и концентрации соединения KE-373 (таблица 8) выявил достоверное влияние двух факторов. При этом доля влияния генотипа сорта составила 63 %, а концентрация – 22 %.

Таблица 8. – Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости частоты регенерации в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы в зависимости от генотипа сорта и концентрации соединения KE-373

Источник вариации	SS	df	MS	F	F ₀₅	Доля влияния, %
Сорт	1 664,72	5	332,94	8,07	3,33	62,52
Концентрация	585,21	2	292,60	7,09	4,10	21,98
Случайные отклонения	412,64	10	41,26			15,50
Общее	2 662,57	17				

Заключение

Проведенное обобщение полученных результатов по оценке влияния соединения KE-373 на морфогенез в культуре *in vitro* листовых эксплантов, пыльников и незрелых зародышей, изолированных у различных сортов мягкой пшеницы, подтверждает его биологическую активность, установленную с помощью метода проростков [13]. Так, соединение KE-373 в концентрации 10^{-6} М способствовало достоверному повышению

числа новообразований в культуре пыльников у сорта Центос с озимым типом развития преимущественно за счет формирования морфогенных каллусов, а у сорта Банти с яровым типом развития – за счет увеличения числа эмбриоидов. Незначительное положительное влияние концентрации 10^{-6} М на пыльцевой эмбриогенез показано и у озимого сорта Легенда. Обнаружено повышение эффективности показателей пыльцевого морфогенеза при снижении концентрации соединения КЕ-373 до 10^{-7} М на примере сорта Банти, что указывает на перспективность продолжения исследований в этом направлении.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа данных изменчивости частоты каллусообразования и регенерации в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы в зависимости от сорта и концентрации соединения КЕ-373 в составе питательной среды MS показали, что доля влияния фактора «сорт» составляет 52 и 63 % соответственно. Достоверно установлено, что индукция процессов каллусообразования и регенерации в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы детерминируется и концентрацией кремнийорганического компонента среды. Доли влияния фактора «концентрация» в изменчивости частоты каллусообразования и регенерации составила 23 и 22 %. Таким образом, полученные данные согласуются с мнением о том, что генотипическая специфичность исходного материала является наиболее выраженным фактором, определяющим эффективность индукции процессов каллусообразования и регенерации в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы. В то же время статистически подтвержденные результаты влияния концентраций соединения КЕ-373 на формирование первичного каллуса и развитие растений-регенерантов в культуре незрелых зародышей мягкой пшеницы свидетельствуют о возможности его использования для повышения индукции процессов каллусообразования и регенерации в культуре незрелых зародышей сортов *Triticum aestivum* L.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минеев, В. Г. Биотест для определения экологических последствий применения химических средств защиты растений / В. Г. Минеев, Е. Х. Ремпе, Л. П. Воронина // Докл. РАСХН. – 1992. – № 3. – С. 5–9.
2. Baran, A. Testing toxicity of oily grounds using phytotoxkit tests / A. Baran, C. Jasiewicz, J. Antonkiewicz // The First Joint PSE-SETAC Conference on Ecotoxicology. Book of Abstracts. – Poland, 2009. – P. 17.
3. Michaud, A. Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) / A. Michaud, C. Chappelaz, P. Hinsinger // Plant and Soil. – 2008. – Vol. 310, nr 1–2. – P. 151–165.
4. Gorsuch, J. Comparative toxicities of six heavy metals using root elongation and shoot growth in three plant species / J. Gorsuch, R. Merrilee, E. Anderson // Environ. Toxicol. Risk Asses. – 1995. – Vol. 3. – P. 377–391.
5. Boluda, R. Soil plate bioassay: An effective method to determine ecotoxicological risks / R. Boluda, L. Roca-Perez, L. Marimyn // Chemosphere. – 2011. – Vol. 84, nr 1. – P. 1–8.
6. Validation of germination rate and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus* / X. Wang [et al.] // Chemosphere. – 2001. – Vol. 44, nr 8. – P. 1711–1721.
7. Persoone, G. Recent new microbiotests for cost-effective toxicity monitoring: the Rapidtoxkit and the Phytotoxkit / G. Persoone // Book of Abstr. of 12th Inter. Symp. On Toxicity Assessment. – 2005. – P. 112.

8. Экотоксикологическая оценка повышенного содержания фосфора в почвогрунте по тест-реакциям растений на разных стадиях развития / В. А. Терехова [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 3. – С. 21–26.
9. Шуканов, В. П. Гормональная активность стероидных гликозидов растений / В. П. Шуканов, А. П. Вольнец, С. Н. Полянская. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 244 с.
10. Воронина, Л. П. Оценка биологической активности промышленных гуминовых препаратов / Л. П. Воронина, О. С. Якименко, В. А. Терехова // Агрохимия. – 2012. – № 6. – С. 50–57.
11. Ерчак, Н. Хлорметилтри(тиофен-2-ил)силан: анализ строения молекулы / Н. Ерчак, М. Зеленка, С. Беляков // Химия гетероцикл. соединений. – 2012. – № 2. – С. 401–403.
12. Гидрооксалат метилбис(фенилметил)-γ-пиперидинопропилсилана / Н. П. Ерчак [и др.] // Журн. общей химии. – 2008. – Т. 78, вып. 9. – С. 1580–1581.
13. Новый подход по оптимизации питательных сред для культивирования эксплантов пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / С. М. Ленивко [и др.] // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2011. – № 2. – С. 48–52.
14. Сидор, Л. С. Процессы морфогенеза в культуре листовых эксплантов некоторых видов пшеницы (*Triticum*) / Л. С. Сидор, П. А. Орлов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2002. – № 4. – С. 29–32.
15. Горбунова, В. Ю. Методические аспекты культивирования изолированных пыльников пшеницы / В. Ю. Горбунова, Н. Н. Круглова. – Уфа : БНЦ УрО АН СССР, 1988. – 20 с.
16. Ленивко, С. М. Технология введения в культуру и методы культивирования клеток, тканей, органов растений на примере пшеницы : метод. рекомендации / С. М. Ленивко. – Брест : БрГУ, 2013. – 46 с.

REFERENCES

1. Miniejev, V. G. Biotest dlia opriedielienija ekologichieskikh posledstvij primienienija khimichieskikh sriedstv zashchity rastienij / V. G. Miniejev, E. Kh. Rempе, L. P. Voronina // Dokl. RASKhN. – 1992. – № 3. – S. 5–9.
2. Baran, A. Testing toxicity of oily grounds using phytotoxkit tests / A. Baran, C. Jasiewicz, J. Antonkiewicz // The First Joing PSE-SETAC Conference on Ecotoxicology. Book of Abstracts. – Poland, 2009. – P. 17.
3. Michaud, A. Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) / A. Michaud, C. Chappelaz, P. Hinsinger // Plant and Soil. – 2008. – Vol. 310, nr 1–2. – P. 151–165.
4. Gorsuch, J. Comparative toxicities of six heavy metals using root elongation and shoot growth in three plant species / J. Gorsuch, R. Merrilee, E. Anderson // Environ. Toxicol. Risk Asses. – 1995. – Vol. 3. – P. 377–391.
5. Boluda, R. Soil plate bioassay: An effective method to determine ecotoxicological risks / R. Boluda, L. Roca-Perez, L. Marimyn // Chemosphere. – 2011. – Vol. 84, nr 1. – P. 1–8.
6. Validstion of germination rate and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus* / X. Wang [et al.] // Chemosphere. – 2001. – Vol. 44, nr 8. – P. 1711–1721.
7. Persoone, G. Recent new microbiotests for cost-effective toxicity monitoring: the Rapidtoxkit and the Phytotoxkit / G. Persoone // Book of Abstr. of 12th Inter. Symp. On Toxicity Assessment. – 2005. – P. 112.

8. Ekotoksikologichieskaja ocenka povyshennogo sodierzhaniya fosfora v pochvogruntie po test-reakcijam rastienij na raznykh stadijakh razvitija / V. A. Tieriekhova [i dr.] // Problemy agrokhimii i ekologii. – 2009. – № 3. – С. 21–26.
9. Shukanov, V. P. Gormonal'naja aktivnost' stieroidnykh glikozidov rastienij / V. P. Shukanov, A. P. Volyniec, S. N. Polianskaja. – Minsk : Bielarus. navuka, 2012. – 244 s.
10. Voronina, L. P. Ocenka biologichieskoj aktivnosti promyshliennykh guminovykh preparatov / L. P. Voronina, O. S. Yakimienko, V. A. Tieriekhova // Agrokhimija. – 2012. – № 6. – S. 50–57.
11. Yerchak, N. Khlormietiltri(tiofien-2-il)silan: analiz strojenija moliekuly / N. Yerchak, M. Zielionka, S. Beliakov // Khimija gieterocykl. sojedinenij. – 2012. – № 2. – С. 401–403.
12. Hidroksalat mietilbis(fienilmietil)- γ -pipieridinopropilsilana / N. P. Yerchak [i dr.] // Zhurn. obshchiej khimii. – 2008. – T. 78, vyp. 9. – S. 1580–1581.
13. Novyj podkhod po optimizacii pitatiel'nykh sried dlia kul'tivirovanija eksplantov pshenicy (*Triticum aestivum* L.) / S. M. Lienivko [i dr.] // Viesn. Bresc. un-ta. Ser. 5, Khimija. Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2011. – № 2. – S. 48–52.
14. Sidor, L. S. Processy morfogeneza v kul'turie listovykh eksplantov niekatorykh vidov pshenicy (*Triticum*) / L. S. Sidor, P. A. Orlov // Vies. Nac. akad. nauk Bielarusi. Ser. bijal. navuk. – 2002. – № 4. – S. 29–32.
15. Gorbunova, V. Yu. Mietetodichieskije aspiekty kul'tivirovanija izolirovannykh pyl'nikov pshenicy / V. Yu. Gorbunova, N. N. Kruglova. – Ufa : BNC UrO AN SSSR, 1988. – 20 s.
16. Lienivko, S. M. Tiekhnologija vviedienija v kul'turu i mietody kul'tivirovanija klietok, tkaniej, organov rastienij na primierie pshenicy : mietetod. riekomiendacii / S. M. Lienivko. – Brest : BrGU, 2013. – 46 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 22.09.2022

УДК 599.323.43:591.431.4

Евгений Игоревич Машков¹, Ирина Александровна Кришчук²

¹мл. науч. сотрудник лаб. популяционной экологии наземных позвоночных
и управления биоресурсами НППЦ НАН Беларуси по биоресурсам

²канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник лаб. популяционной экологии наземных позвоночных
и управления биоресурсами НППЦ НАН Беларуси по биоресурсам

Evgeniy Mashkov¹, Irina Kryshchuk²

¹Junior Researcher of the Laboratory of Population Ecology of Terrestrial Vertebrates
and Management of Bioresources of the Scientific and Practical Center
of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources

²PhD in Biology, Senior Researcher of the Laboratory of Population Ecology of Terrestrial Vertebrates
and Management of Bioresources of the Scientific and Practical Center
of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources
e-mail: ¹mashkov.evgenii25@gmail.com; ²ikryshchuk@yandex.by

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕРЕПА ОБЫКНОВЕННОЙ ПОЛЕВКИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ*

Приведены данные по краниометрической изменчивости у обыкновенной полевки, полученные при анализе 221 черепа. Морфологическая изменчивость структур черепа при сравнении выборок из трех агроклиматических областей Беларуси наблюдается по абсолютным параметрам, отвечающим за общие размеры тела (длина черепа и нижней челюсти). При этом по ряду краниометрических характеристик у особей обыкновенной полевки из исследуемых нами трех регионов Беларуси прослеживается закономерное различие размеров черепа в долготном направлении: ряд параметров имеет наибольшие значения в северном регионе, что подчиняется правилу Бергмана. По ряду относительных параметров черепа выборки обыкновенной полевки морфологически слабо обособлены. Проведен анализ строения жевательной поверхности третьего верхнего коренного зуба у обыкновенной полевки из разных агроклиматических областей территории Беларуси, который позволил выявить наличие четырех из шести известных морфотипов для данного вида. Во всех агроклиматических областях отмечена высокая частота встречаемости морфотипа средней сложности «туріса». Выявлено, что строение рисунка жевательной поверхности третьего моляра не подвержено половому диморфизму.

Ключевые слова: *Microtus arvalis*, морфологическая дифференциация, краниометрические параметры, М³, луговой биотоп, Беларусь.

Variability of Morphological Characteristics of the Skull of a *Microtus Arvalis* on the Territory of Belarus

The article presents data on craniometric variability in the *Microtus arvalis* obtained by analyzing 221 skulls. Morphological variability of skull structures when comparing samples from three agro-climatic regions of Belarus is observed by absolute parameters responsible for the overall body size (length of the skull and mandible). At the same time according to a number of craniometric characteristics in individuals of the *Microtus arvalis* from the three regions of Belarus, there is a natural difference in the size of the skull in the longitude direction: a number of parameters have the highest values in the northern region which obeys the Bergman rule. According to a number of relative parameters of the skull the samples of the *Microtus arvalis* are morphologically weakly isolated. The analysis of the structure of the chewing surface of the third upper molar tooth in an ordinary vole from different agro-climatic regions of the territory of Belarus was carried out, which revealed the presence of four of the six known morphotypes for this species. In all agro-climatic regions a high frequency of occurrence of the morphotype of medium complexity «typical» was noted. It was revealed that the structure of the pattern of the chewing surface of the third molar is not subject to sexual dimorphism.

Key words: *Microtus arvalis*, morphological differentiation, craniometric parameters, М³, meadow biotope, Belarus.

*Работа была поддержана БРФФИ на 2020–2022 гг. (Проект Б20М-062 «Пространственно-биотопическая структура криптических видов обыкновенной полевки *Microtus arvalis* s. l. в центральной и западной Беларуси»).

Введение

Одним из основных свойств живых организмов, которое реализуется в течение их жизненного цикла в виде адаптивных приспособлений к динамическим условиям окружающей среды, является изменчивость, в результате которой формируется морфологическое разнообразие особей в природных популяциях любого биологического вида [1].

Изменчивость морфометрических, краниометрических и морфофизиологических признаков у мышевидных грызунов в зависимости от условий существования довольно подробно описана в литературе [2; 3].

Морфологическое разнообразие животных в природных популяциях может изменяться в зависимости от различных факторов: климатических условий, обеспеченности ресурсами, репродуктивного состояния популяции и отдельных половозрастных групп полевок, от фазы популяционного цикла [1].

Изучению морфологической изменчивости представителя серых полевок *Microtus arvalis* посвящен ряд работ [4–8].

Установлено, что в морфологическую дифференциацию обыкновенной полевки наибольший вклад вносят следующие размерные характеристики черепа: размеры резцовых отверстий (L_{fi} и V_{fi}) и слуховых барабанов (L_{bull} и V_{bull}), длина верхней диастемы ($D1$) и костного неба (L_{pal} и Pal), длина межтеменной кости (L_{ipar}).

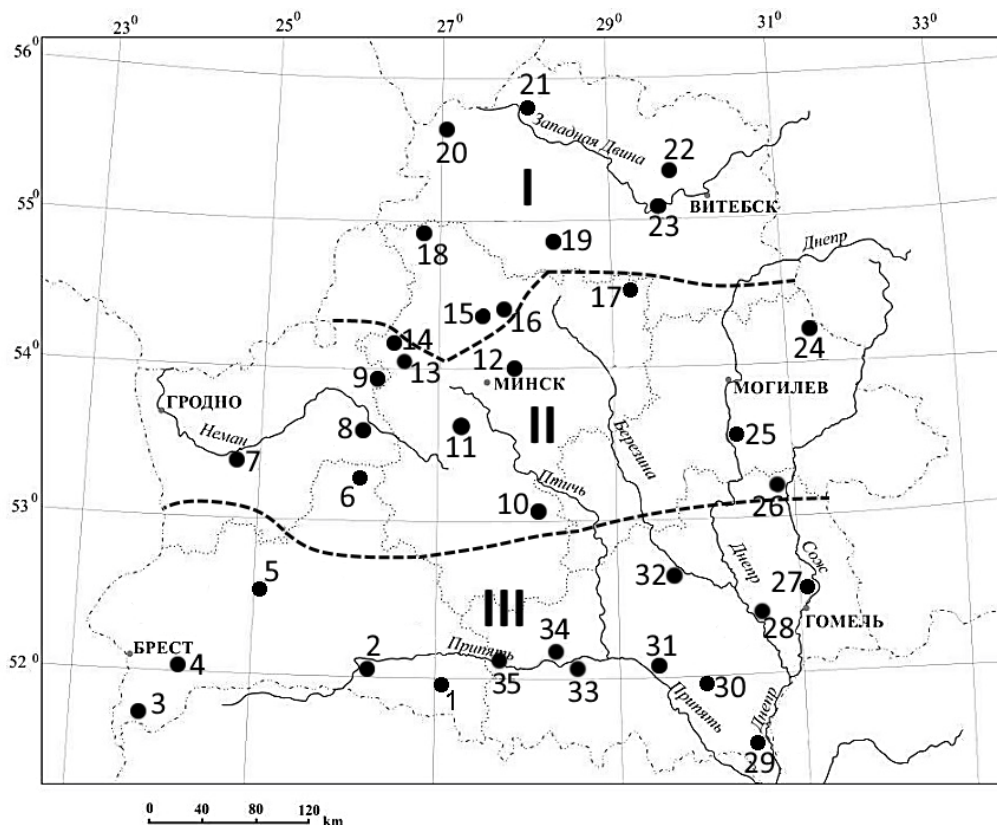
Однако помимо изменчивости метрических характеристик у *M. arvalis* проявляется внутривидовая изменчивость по сложному рисунку жевательной поверхности в пределах отдельных составляющих ряда коренных зубов [8–14]. Данный признак используется не только в таксономических, но и в микроэволюционных исследованиях полевок.

В настоящее время закономерности проявления морфологической изменчивости по краниометрическим характеристикам в региональном аспекте у широко распространенного вида *M. arvalis* в Беларуси остаются малоизученными, в связи с чем актуальным является описание морфологической изменчивости вида по абсолютным и относительным параметрам черепа, а также морфотипической изменчивости жевательной поверхности верхнего третьего коренного зуба (M^3) обыкновенной полевки на территории Беларуси, изучение возрастной изменчивости, связанных с фазами популяционного цикла и биотопическими особенностями местообитания вида.

Таким образом, цель настоящего исследования – проведение сравнительного анализа морфологических характеристик черепа *Microtus arvalis* «*arvalis*» различных луговых формаций трех исследуемых регионов Беларуси и анализ соответствия полученных фенетических и краниометрических данных с известными филогенетическими гипотезами.

Материалы и методы

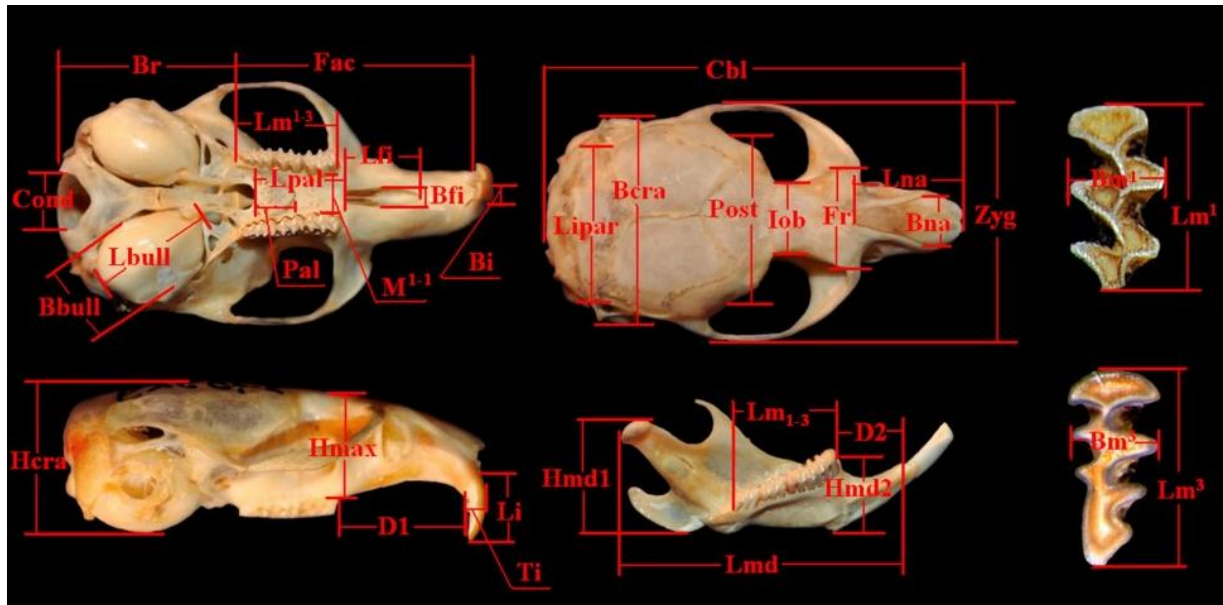
Для анализа внутривидовой изменчивости *M. arvalis* был использован 221 череп обыкновенных полевок, отловленных в трех модельных типах луговых биотопов: луг пойменный сенокосный (ЛПС), луг внепойменный низинный (ЛВН) и луг внепойменный суходольный (ЛСВ) [15], трех агроклиматических областей (северная, центральная и южная области Беларуси), характеризующихся своими агроклиматическими и геоморфологическими характеристиками, а также своим флористическим составом (рисунок 1).



- Брестская обл.: 1 – окр. д. Лядец, Столинский р-н; 2 – окр. д. Плещицы, Пинский р-н;
 3 – окр. д. Орехово, Малоритский р-н; 4 – окр. д. Каташи, Кобринский р-н;
 5 – окр. г. Белоозерск, Березовский р-н; 6 – окр. г. Барановичи, Барановичский р-н;
 Гродненская область: 7 – окр. д. Мосты левые, Мостовский р-н; 8 – окр. д. Щорсы,
 Кореличский р-н; 9 – окр. ур. Валеватка, Ивьевский р-н;
 Минская обл.: 10 – окр. г. Старые Дороги, Стародорожский р-н;
 11 – окр. г. Узда, Узденский р-н; 12 – окр. д. Дубровка, Минский р-н;
 13 – окр. д. Белокорец, Воложинский р-н; 14 – окр. г. Воложин, Воложинский р-н;
 15 – окр. д. Ободовцы, Вилейский р-н; 16 – окр. д. Стахи, Вилейский р-н;
 17 – окр. д. Колодница, Крупский р-н; 18 – окр. пос. Нарочь, Мядельский р-н;
 Витебская обл.: 19 – окр. д. Шнитки, Докишцикий р-н; 20 – окр. г. Браслав,
 Браславский р-н; 21 – окр. г. Верхнедвинск, Верхнедвинский р-н; 22 – окр. г. Шумилино,
 Шумилинский р-н; 23 – окр. д. Яновиль, Бешенковичский р-н;
 Могилевская обл.: 24 – окр. д. Курманово, Чаусский р-н; 25 – окр. д. Прибор, Быховский р-н;
 Гомельская обл.: 26 – окр. д. Студенец, Кормянский р-н; 27 – окр. д. Плесь, Гомельский р-н;
 28 – окр. д. Пескополье, Речицкий р-н; 29 – окр. д. Вялье, Брагинский р-н;
 30 – окр. д. Бабчин, Хойникский р-н; 31 – окр. д. Лубня, Мозырский р-н;
 32 – окр. д. Якимова Слобода, Светлогорский р-н; 33 – окр. аг. Скрыгалов, Мозырский р-н;
 34 – окр. д. Лучицы, Петриковский район; 35 – окр. д. Борки, Житковичский р-н.
 Агроклиматические области: I – северная; II – центральная; III – южная.

Рисунок 1. – Места сбора краунометрического материала (2018–2021 гг.)

Измерения 35 абсолютных краунометрических параметров производили с помощью МБС-10 при шести-, десяти- и двадцатикратном увеличении с использованием окулярного микрометра (рисунок 2). Данные параметры являются стандартными, что позволяет в дальнейшем сравнить данные с литературными.



Cbl – кондילו-базальная длина черепа; *Br* – длина мозговой части; *Fac* – длина лицевой части; *Zyg* – скуловая ширина; *Iob* – межглазничное расстояние; *Hmax* – высота верхней челюсти перед M^1 ; *Lna* – длина носовых костей; *Bna* – ширина носовых костей; *D1* – длина верхней диастемы; Lm^{1-3} – длина верхнего зубного; Lm^1 – длина первого верхнего коренного зуба; Bm^1 – ширина первого верхнего коренного зуба; *Lbull* – длина слухового барабана; *Bbull* – ширина слухового барабана; *Lfi* – длина резцового отверстия; *Bfi* – ширина резцового отверстия; *Bcra* – ширина черепа в области слуховых барабанов; *Hcra* – высота черепа в области слуховых барабанов; M^{1-1} – расстояние между первыми верхними коренными зубами; *Lpal* – длина твердого неба; *Pal* – длина небной кости; *Lipar* – длина межтеменной кости; Lm^3 – длина третьего верхнего коренного зуба; Bm^3 – ширина третьего верхнего коренного зуба; *Fr* – расстояние между наружными краями лобных костей; *Post* – расстояние между заглазничными выступами; *Cond* – расстояние между затылочными мыщелками; *Lmd* – длина нижней челюсти; *D2* – длина нижней диастемы; *Hmd1* – высота нижней челюсти перед M_1 ; *Hmd2* – максимальная высота нижней челюсти; Lm_{1-3} – длина нижнего зубного ряда; *Li* – длина верхнего резца; *Bi* – ширина режущей части верхнего резца; *Ti* – толщина верхнего резца у основания, вид сбоку.

Рисунок 2. – Схема измерений черепа серых полевков (по: Окулова, Баскевич, 2007)

Для оценки ряда признаков, которые могут иметь адаптивное или микроэволюционное значение, были использованы дополнительные признаки – 34 относительных показателя (индекса) относительно кондילו-базальной длины черепа. Общее число исследованных краниометрических признаков составило 90. В статистической обработке использовались методы одномерной и многомерной статистики программного пакета Statistica 10.0.

В анализ изменчивости структуры жевательной поверхности третьего верхнего коренного зуба (M^3), включены 197 черепов *M. arvalis* из 35 выборок трех агроклиматических областей Беларуси (северная, центральная и южная) (рисунок 1). Для исключения влияния возрастной изменчивости структуры жевательной поверхности M^3 в анализ были включены только половозрелые взрослые особи.

Результаты и исследования

Анализ средних показателей 35 морфологических промеров черепа ($n = 221$) обыкновенной полевки из трех регионов исследования показал, что данные выборки статистически значимо отличаются друг от друга по 22 параметрам (уровень значимо-

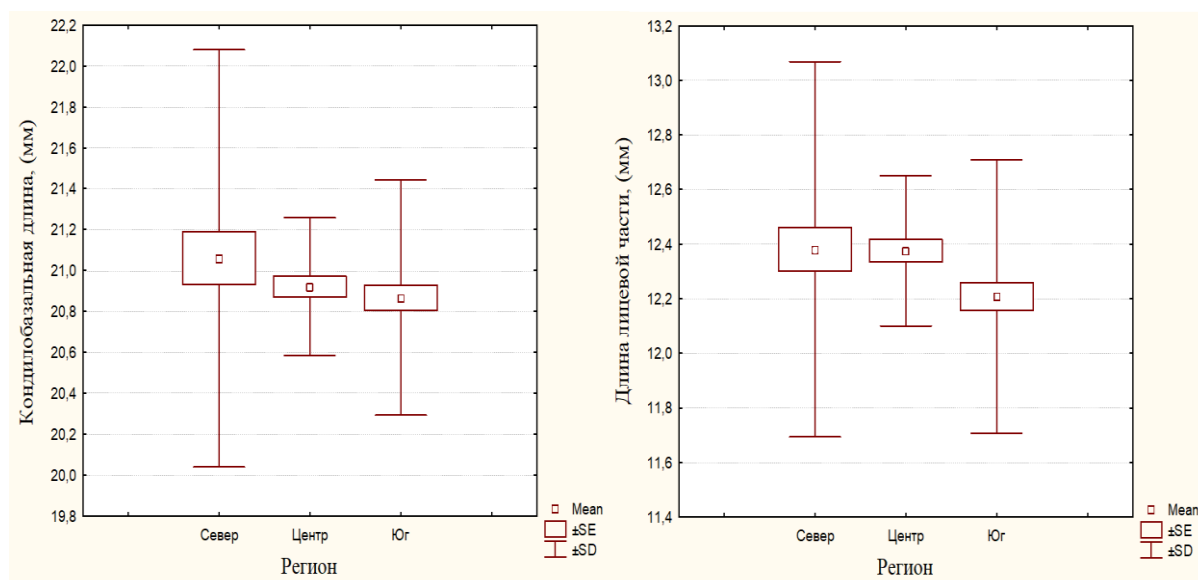
сти $p \leq 0,05$). При попарном сравнении выборок из различных регионов, отмечено, что выборки северного региона достоверно отличаются от южного региона по 15 параметрам: Hmax ($p = 0,021077$), D1 ($p = 0,001992$), Lmax₁₋₃ ($p = 0,007386$), Lbull ($p = 0,034189$), Lf ($p = 0,023734$), M¹⁻¹ ($p = 0,000816$), Lpal ($p = 0,019505$), Pal ($p = 0,000009$), Fr ($p = 0,011064$), Post ($p = 0,000000$), Cond ($p = 0,009617$), Lmd ($p = 0,025690$), Hmd1 ($p = 0,015652$), Hmd2 ($p = 0,043318$) и Ti ($p = 0,014103$), а от выборки особей из центрального региона по 9 параметрам: D1 ($p = 0,025963$), Lbull ($p = 0,002226$), Bull ($p = 0,000005$), Hcra ($p = 0,022664$), Lipar ($p = 0,000821$), Lm³ ($p = 0,003739$), Post ($p = 0,000000$), Cond ($p = 0,020966$) и Hmd1 ($p = 0,009492$) (таблица 1).

Таблица 1. – Значения краниометрических параметров *M. arvalis* трех регионов Беларуси

Промер	Регион		
	Север	Центр	Юг
	Mean ± m _x , мм, n = 77	Mean ± m _x , мм, n = 45	Mean ± m _x , мм, n = 99
Cbl,	21,06 ± 1,02	20,93 ± 0,34	20,87 ± 0,58
Br,	8,06 ± 0,68	8,01 ± 0,20	7,97 ± 0,41
Fac, †	12,39 ± 0,69	12,38 ± 0,28	12,21 ± 0,51
Zyg, †	12,29 ± 0,88	12,45 ± 0,32	12,17 ± 0,43
Lob	3,40 ± 0,14	3,38 ± 0,13	3,41 ± 0,16
Hmax, †, †	6,15 ± 0,60	6,23 ± 0,35	5,97 ± 0,40
Lna, †	6,10 ± 0,57	6,25 ± 0,24	5,99 ± 0,40
Bna,	2,59 ± 0,25	2,56 ± 0,13	2,56 ± 0,22
D1, **, †	6,56 ± 0,48	6,38 ± 0,29	6,34 ± 0,45
Lm ¹⁻³ , †	5,36 ± 0,26	5,30 ± 0,18	5,25 ± 0,28
Lm ¹	2,10 ± 0,12	2,06 ± 0,10	2,08 ± 0,11
Bm ¹ ,	1,11 ± 0,08	1,10 ± 0,05	1,11 ± 0,09
Lbull, **, †	5,93 ± 0,41	5,70 ± 0,28	5,80 ± 0,38
Bbull, **, †	4,45 ± 0,39	4,12 ± 0,22	4,40 ± 0,39
Lfi, †	4,07 ± 0,46	3,97 ± 0,27	3,95 ± 0,26
Bfi,	1,05 ± 0,13	1,06 ± 0,08	1,06 ± 0,10
Bcra,	10,78 ± 0,54	10,79 ± 0,29	10,83 ± 0,34
Hcra, **, †	8,03 ± 0,56	8,27 ± 0,41	8,06 ± 0,30
M ¹⁻¹ , †, †	2,02 ± 0,22	2,03 ± 0,12	2,11 ± 0,13
Lpal, †	5,27 ± 0,40	5,35 ± 0,26	5,40 ± 0,35
Pal, †, †	1,98 ± 0,40	1,99 ± 0,18	2,25 ± 0,36
Lipar, **, †	6,36 ± 0,66	5,99 ± 0,23	6,30 ± 0,35
Lm ³ , **, †	1,77 ± 0,14	1,85 ± 0,20	1,73 ± 0,17
Bm ³ ,	0,83 ± 0,09	0,83 ± 0,04	0,83 ± 0,07
Fr, †, †	4,63 ± 0,39	4,72 ± 0,28	4,51 ± 0,25
Post, **, †	8,55 ± 0,39	8,15 ± 0,29	8,19 ± 0,33
Cond, **, †	3,25 ± 0,26	3,15 ± 0,12	3,13 ± 0,30
Lmd, †, †	14,27 ± 0,88	14,34 ± 0,46	14,03 ± 0,57
D2,	3,76 ± 0,36	3,80 ± 0,22	3,72 ± 0,24
Hmd1, **, †	6,58 ± 0,54	6,35 ± 0,30	6,41 ± 0,38
Hmd2, †	3,17 ± 0,46	3,06 ± 0,23	3,05 ± 0,35
Lm ₁₋₃ ,	5,22 ± 0,32	5,22 ± 0,23	5,20 ± 0,23
Li,	4,07 ± 0,56	3,97 ± 0,19	4,04 ± 0,35
Bi,	1,20 ± 0,11	1,20 ± 0,07	1,23 ± 0,11
Ti, †	1,17 ± 0,10	1,18 ± 0,07	1,21 ± 0,08

Примечание – ** – выявлены статистически значимые различия между выборками северного и центрального региона; † – выявлены статистически значимые различия между выборками северного и южного региона; † – выявлены статистически значимые различия между выборками центрального и южного региона.

По ряду краниометрических характеристик у особей обыкновенной полевки из исследуемых нами трех регионов Беларуси прослеживается закономерное различие размеров черепа в долготном направлении. Так, некоторые параметры: Cbl, Br, Fac, Vna, D1, Lm₁₋₃, Lfi, Cond – имеют наибольшие значения в северном регионе, что подчиняется правилу Бергмана (рисунок 3). Хотя ряд других параметров черепа: Vcra, Hcra, M¹⁻¹, Lpal, Pal – проявляют тенденцию к увеличению не в северном, а в южном направлении, что можно объяснить формированием общих пропорций: с увеличением длины черепа, его лицевого и мозгового отделов череп уплощается [17].



ЛПС – луг пойменный сенокосный, ЛВН – луг внепойменный низинный, ЛСВ – луг внепойменный суходольный, Mean – арифметическое среднее измеренных значений, ±SE – стандартное отклонение выборочного распределения, ±SD – среднеквадратичное отклонение случайной величины

Рисунок 3. – Значения параметров кондило-базальной длины (Cbl) и длины лицевой части (Fac) обыкновенной полевки из трех регионов исследования

Полученные результаты позволили выявить лишь несколько общих закономерностей изменчивости морфометрических признаков черепа в исследуемых выборках *M. arvalis* и подтвердить их изменчивость в долготном направлении. По этой причине по выбранным 14 абсолютным морфометрическим параметрам черепа, которые достоверно отличаются при сравнении выборок из трех регионов страны, проведен канонический дискриминантный анализ. В анализе использованы две статистически значимые дискриминантные функции, которые объясняют 94,6 % изменчивости исходных данных (таблица 2).

На первую функцию приходится 61,6 % дискриминирующей мощности. Наибольший вклад в нее вносят переменные M¹⁻¹, Pal и Fr. Выделение данных параметров можно объяснить тем, что эти признаки наиболее сильно подвержены корреляции с основными параметрами черепа (Cbl, Zyg) и влиянию различных экологических факторов [17]. Также рядом авторов [18; 19] отмечена корреляция величины межглазничного пространства с шириной обонятельных луковиц и, как следствие, – развитие обонятельного анализатора. При увеличении межглазничного расстояния (Fr), увеличивается размер лобных долей мозга.

В различии выборок по второй канонической функции (33,2 %) важную роль играет расстояние между заглазничными выступами (Post), о чем свидетельствует высо-

кое значение данного коэффициента дискриминантных функций и описанная выше корреляция.

Таблица 2. – Вклад абсолютных краниометрических признаков в морфологическую дифференциацию *M. arvalis* (стандартизированные коэффициенты дискриминантных функций) трех регионов Беларуси

Параметр	Канонические дискриминантные функции	
	КО 1	КО 2
Hmax	0,272	0,255
D1	-0,118	-0,135
Lbull	0,094	-0,146
Bbull	-0,258	-0,334
Hcra	-0,213	0,347
M ⁻¹	-0,606	-0,340
Pal	-0,828	0,150
Lipar	0,066	-0,463
Lm ³	0,236	0,278
Fr	0,643	-0,003
Post	0,296	-0,707
Cond	0,070	0,156
Lmd	0,165	0,019
Hmd1	-0,061	-0,353
Изменчивость, %	61,6	33,2

Размещение трех выборок обыкновенной полевки их различных регионов в пространстве главных компонент отражает рисунок 4.

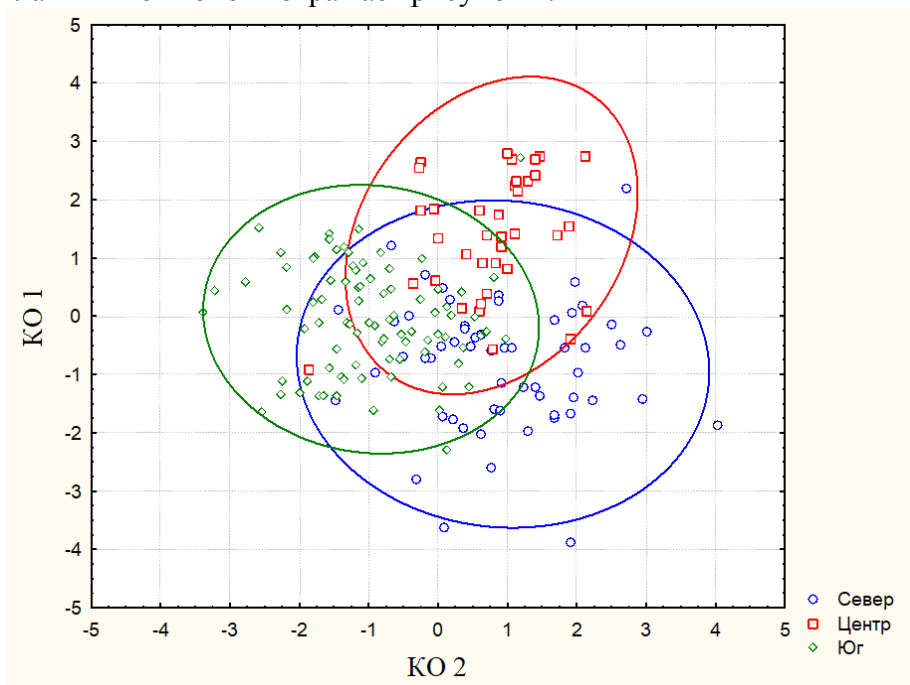


Рисунок 4. – Распределение трех ассоциаций обыкновенной полевки из различных регионов в пространстве первой (КО 1) и второй (КО 2) дискриминантных функций

Из рисунка 4 видно, что по 14 наиболее вариабельным абсолютным промерам черепа в плоскостях первых двух канонических осей у каждой из сравниваемых выбо-

рок нет определенной специфической области морфологического пространства. Все выборки в большей или меньшей степени пересекаются между собой.

Полученные данные свидетельствуют о том, что морфологическая дифференциация у обыкновенной полевки идет в основном по абсолютным параметрам, характеризующим ширину и длину лицевой части черепа (Fr, Post, M^{1-1} , Pal). Такого рода изменчивость скорее всего связана с различными экологическими факторами (флористический состав, тип почв, локальными микроклиматическими факторами и т. д.) в исследуемых регионах Беларуси.

Так как некоторые особенности краниометрической изменчивости могут быть связаны с различными экологическими факторами, был проведен анализ различных выборок обыкновенной полевки из исследуемых регионов Беларуси с учетом типов луговых экосистем: пойменный сенокосный, внепойменный низинный и внепойменный суходольный луга.

В северной агроклиматической области наибольший размер краниометрических параметров отмечен в выборке пойменного сенокосного луга (29 из 35). При этом наименьшие значения данных параметров характерны для особей внепойменных низинных лугов. Вероятнее всего, весомый вклад в имеющиеся различия между выборками из различных биотопов вносит флористический состав, который специфичен для каждого типа лугового биотопа. К параметрам, вносящим наибольший вклад в краниометрическую дифференциацию, можно отнести Cbl, Br, D1, Lfi, M^{1-1} , Pal и Hmd2. Представленные признаки характеризуют длину черепа в различных его отделах, что согласуется с литературными данными по краниометрической дифференциации у обыкновенной полевки по длине черепа [17].

Также следует отметить, что весомый вклад в краниометрическую дифференциацию у *M. arvalis* вносят параметры роstralного комплекса – длина верхней диастемы (D1) и длина резцового отверстия (Lfi). Известно, что данные краниометрические параметры напрямую связаны у полевок с питанием [6]. В нашем случае данные параметры выше у особей пойменного сенокосного луга по сравнению с внепойменным суходольным и низинным, что указывает на особенности кормовой базы данных лугов. Растения суходольного луга имеют выраженный ксероморфный характер. В отличие от пойменного луга травостой состоит из низкорослых жесткостебельных растений: мятлика узколистного, подорожника среднего, клевера горного, клевера ползучего, тысячелистника обыкновенного, нивяника, кошачьей лапки, – что влияет на развитие отдельных структур черепа.

Анализ попарных сравнений средних показателей 35 краниометрических параметров обыкновенной полевки из трех луговых биотопов в центральной и южной агроклиматических областях позволил выявить статистически значимые различия между выборками. В каждом регионе отмечены схожие параметры (Cbl, D1, Pal), вносящие наибольший вклад в различие выборок.

Известно, что процессы развития отдельных структур черепа у разных видов лучше отражают относительные, а не абсолютные признаки. В то же время есть другие параметры, изменение которых не зависит от взросления организма и при анализе которых имеется сильный разброс данных и, как следствие, – высокий уровень вариации. В связи с тем, что относительные параметры позволяют рассматривать те или иные морфологические особенности с точки зрения их возможного адаптивного значения, был проведен сравнительный анализ 55 краниометрических индексов черепа *M. arvalis* в зависимости от региона исследований. Для анализа использован непараметрический двусторонний тест Колмогорова – Смирнова (таблица 3). Уровень статистической значимости был принят равным 0,01 из-за возможности возникновения ошибки первого рода (вероятность найти различия, где их нет). Анализ изменчивости кондило-

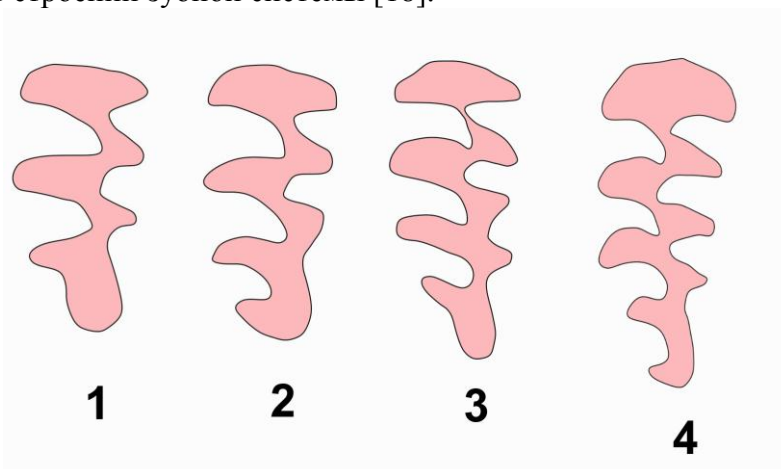
базальной длины обыкновенной полевки в различных регионах показал, что по данному признаку исследуемые нами группы особей имеют значимые различия ($p \leq 0,01$). Так, наибольшее значение параметра отмечено у особей северного региона ($M = 21,06$).

Таблица 3. – Количество статистически значимых различий по относительным размерам у *M. arvalis* из исследуемых агроклиматических регионов Беларуси

	Север	Центр	Юг
Север		10	8
Центр	8		11
Юг	5	10	

Данные, представленные в таблице 3, получены при попарном сравнении выборок обыкновенной полевки из трех регионов Беларуси. Количество статистически значимых различий над диагональю по 34 индексам относительно кондио-базальной длины черепа, а под диагональю – по 21 индексу, не связанным с кондио-базальной длиной черепа. Из 34 индексов относительно кондио-базальной длины по 15 не было выявлено статистически значимых отличий между исследуемыми группами. Наибольший вклад в морфологическую изменчивость внесли 9 индексов (Fac/Cbl, Zyg/Cbl, Lna/Cbl, Vbull/Cbl, M1-1/Cbl, Pal/Cbl, Post/Cbl, Lmd/Cbl).

Анализируя межпопуляционные различия по 21 относительному признаку, не связанному с кондио-базальной длиной черепа, можно сделать следующий вывод, что все исследуемые выборки имеют низкий уровень различий (от 5 до 10 статистически значимых отличий) при попарных сравнениях. Отличия для всех трех выборок обыкновенной полевки отмечены по одному индексу (Vbull/Hcra). Наибольший вклад в межпопуляционную изменчивость вносят относительные признаки, характеризующие общий размер рострума, размер ширины черепа, а также относительную изменчивость слуховых барабанов. Согласно данным ряда авторов наибольшей изменчивости у полевок подвержена жевательная поверхность коренных зубов, на которую большое влияние оказывают особенности питания и манеры обработки корма [20]. Возникновение даже незначительных отличий в плотности и составе поедаемых грызунами кормов может привести к значительным изменениям рисунка жевательной поверхности, и, наоборот, сходство в типе питания и способах обработки пищи ведет к появлению параллелизма в строении зубной системы [18].



1 – simplex, 2 – typica, 3 – duplicata, 4 – variabilis

Рисунок 5. – Основные морфотипы строения M^3 (по Rörig, Börner, 1905; Ангерманн, 1973)

Анализ жевательных поверхностей M^3 у обыкновенной полевки из разных агроклиматических областей территории Беларуси позволил выявить наличие четырех (рисунков 5) из шести известных морфотипов для данного вида [21; 22]. Так как в исследуемых выборках не было выявлено половых различий по одонтологическим признакам, самки и самцы были объединены в одну выборку.

Наиболее простой и часто фиксируемый морфотип «*typica*» встречается у обыкновенной полевки – в 85 % случаев. Рассматривая данный тип изменчивости в зависимости от принадлежности региона той или иной агроклиматической области, установлено, что частота встречаемости данного фена изменяется от 0,82 (северная область) до 0,89 (южная область).

Схожие данные в особенности строения жевательной поверхности третьего верхнего моляра отмечены у Т. А. Мироновой [8]. Автор отмечает высокую встречаемость морфотипа «*typica*», которая составляет 0,7–0,77.

Вторым по частоте встречаемости является морфотип «*simplex*», который наиболее часто встречается у особей обыкновенной полевки северной области и составляет 0,18. Полученные нами данные о разнообразии фенов согласуются с результатами В. Н. Пескова и А. Ф. Цудиковой [14]. Авторы сообщают, что на территории Украины в популяциях *M. arvalis* почти полностью отсутствуют особи с морфотипом «*simplex*» и высок процент варианта «*typica*». В центральной и южной областях частоты встречаемости морфотипа «*simplex*» ниже, чем в северной, и составляют 0,12 и 0,10 соответственно. О частоте встречаемости морфотипа «*simplex*» и уменьшении доли особей с данным феном при продвижении с севера на юг отмечается в работах ряда исследователей [11–13].

К редким фенам можно отнести «*duplicata*» и «*variabilis*», встречающиеся в единичных экземплярах в центральной и южной областях Беларуси, что согласуется с рядом работ [12; 13]. Встречаемость фена «*duplicata*» нами отмечена только в центральной области Беларуси (0,05). Морфотип «*variabilis*» встречается еще реже (0,01) и отмечен в единственном экземпляре в южной области Беларуси.

Заклучение

Таким образом, у обыкновенной полевки морфологическая изменчивость черепа наблюдается по абсолютным параметрам, отвечающим за общие размеры тела (длина черепа и нижней челюсти). По некоторым параметрам немаловажную роль в морфологической дифференциации играет флористический состав (кормовая база) различных луговых биотопов, что достоверно различает выборки обыкновенной полевки. В северном и центральном регионах более крупные по ряду морфологических характеристик черепа у особей пойменного сенокосного луга. В южном регионе более крупные особи по ряду краниометрических параметров отмечены на внепойменном суходольном лугу.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что исследуемые нами выборки обыкновенной полевки морфологически слабо обособлены. Общие размеры и пропорции черепа исследуемых нами особей из трех агроклиматических областей Беларуси по ряду относительных параметров варьируют в небольших пределах.

Анализ строения жевательной поверхности верхнего коренного зуба M^3 обыкновенной полевки показал, что во всех агроклиматических областях отмечена высокая частота встречаемости морфотипа средней сложности «*typica*», что указывает на особенности питания вида, а именно присутствие малой доли грубых кормов в рационе. Строение рисунка жевательной поверхности третьего моляра не подвержено половому диморфизму.

Авторы выражают признательность научному сотруднику лаборатории орнитологии ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» П. А. Пакулю за предоставление краниометрического материала обыкновенной полевки, ведущему научному сотруднику лаборатории ихтиологии Е. С. Гайдученко за помощь при сборе полевого материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реализация морфологического разнообразия в природных популяциях млекопитающих / А. Г. Васильев [и др.]. – 2-е изд., испр. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 232 с.
2. Пантелеев, П. А. Экогеографическая изменчивость грызунов / П. А. Пантелеев, А. Н. Терехина, А. А. Варшавский. – М. : Наука, 1990. – 373 с.
3. Шварц, С. С. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных / С. С. Шварц, В. С. Смирнов, Л. Н. Добринский // Тр. Ин-та экологии растений и животных. – Свердловск, 1968. – Вып. 58. – 388 с.
4. Малыгин, В. М. Сравнительно-морфологический анализ видов полевок из группы *Microtus arvalis* (Rodentia, Cricetidae) // Зоол. журн. – 1978. – Т. LVII, вып. 7. – С. 1062–1073.
5. Загороднюк, И. Наземные позвоночные Украины и их охранные категории : справ. для семинаров по зоологии, экологии и охраны природы / И. Загороднюк. – Ужгород : Лира, 2004. – 48 с.
6. Загороднюк, И. Согласование генетической, биогеографической и морфологической дифференциации у эволюционно молодых видов: анализ группы *Microtus «arvalis»* (Mammalia) / И. Загороднюк // Докл. НАН Украины. – 2007. – № 3. – С. 175–181.
7. Сравнительная экология трех форм обыкновенных полевок *Microtus arvalis* sensu lato в Центральном Черноземье / Н. М. Окулова и [др.] // Науч. ведомости Белгор. гос. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2008. – Вып. 6, № 3 (43). – С. 128–139.
8. Миронова, Т. А. Оценка флуктуирующей асимметрии морфотипов коренных зубов видов-двойников обыкновенной полевки (*Microtus arvalis* s.l.) / Т. А. Миронова // Актуальные проблемы экологии и эволюции в исследованиях молодых ученых : материалы конф. молодых сотрудников и аспирантов ИПЭЭ им. А. Н. Северцова. – М., 2010. – С. 213–218.
9. Большаков, В. Н. Морфотипическая изменчивость зубов полевок / В. Н. Большаков, И. А. Васильева, А. Г. Малеева. – М. : Наука, 1980. – 140 с.
10. Morphological trends and rates of evolution in arviculids (Arvicolidae, Rodentia): towards a punctuated equilibria-disequilibria model / J. Chaline [et al.] // Quat Int. – 1993. – Т. 19. – P. 27–39. – DOI: 10.1016/1040-6182(93)90019-C.
11. Stein Georg, H. W. Über den Selectionswert der simplex-Zahnform bei der Feldmaus *Microtus arvalis* (Pallas) / H. W. Stein Georg // Zoologische Jahrbücher abteilung für systematik, ökologie und geographie der tiere. – 1958. – Bd. 86. – Heft 1/2. – P. 27–34.
12. Мартынова, М. Д. О вариациях строения зубов обыкновенной полевки (*Microtus arvalis* Pall.) / М. Д. Мартынова // Науч. докл. высш. шк. биол. науки. – 1963. – № 2. – С. 53–57.
13. Variation in Sibling Species *Microtus arvalis* and *M. rossiaemeridionalis* (Arvicolinae, Rodentia): Between-Species Comparisons and Geography of Morphotype Dental Patterns / E. Markova [et al.] // J. Mammal Evol. – 2009. – Vol. 17. – P. 121–139. – DOI: 10.1007/s10914-009-9128-8.
14. Песков, В. Н. Изменчивость рисунка жевательной поверхности МЗ в некоторых популяциях обыкновенных полевок (надвид *Microtus «arvalis»*) / В. Н. Песков, А. Ф. Цудикова // Вестн. зоологии. – 1997. – Т. 31, № 4. – С. 85–88.

15. Жукова, Л. А. Популяционная жизнь луговых растений / Л. А. Жукова. – Йошкар-Ола : РИИК : Ланар, 1995. – 224 с.
16. Сравнительные данные по видовому составу, численности и размещению мелких млекопитающих лесостепи Центрального Черноземья / Н. М. Окулова [и др.] // Тр. Воронеж. гос. заповедника. – Вып. 25. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2007. – С. 45–68.
17. Сравнительные краниологические исследования полевок подрода *Terricola* (*Microtus*, *Arvicolinae*) фауны России / Т. А. Миронова [и др.] // Зоол. журн. – 2013. – Т. 92 (1). – С. 87.
18. Воронцов, Н. Н. Низшие хомякообразные (*Cricetidae*) мировой фауны. Ч. I. Морфология и экология / Н. Н. Воронцов // Фауна СССР. Млекопитающие. – Л. : Наука, 1982. – Т. III. – Вып. 6. – 451 с.
19. Яскин, В. А. Специфические черты строения головного мозга видов-двойников обыкновенной полевки / В. А. Яскин, Л. И. Ленец // Зоол. журн. – 1996. – Т. 75. – С. 1715–1721.
20. Дзуев, Р. И. Сравнительное изучение рисунка жевательной поверхности верхних коренных зубов обыкновенной полевки (*Microtus arvalis pall.*) в экспериментальных условиях / Р. И. Дзуев, А. А. Чепракова, М. М. Хуламханова // Современ. проблемы науки и образования. – 2016. – № 2. – С. 276.
21. Ангерманн, Р. Гомологическая изменчивость коренных зубов у полевок (*Microtinae*) / Р. Ангерманн // Проблемы эволюции / под ред. Н. Н. Воронцова. – Новосибирск : Наука, 1973. – Т. 3. – С. 104–118.
22. Rörig, G. Studien über das Gebiss mitteleuropäischer recenter Mäuse / G. Rörig, C. Börner // Kaiserlichen Biologischen Anstalt für Land- und Forstwirtschaft. – 1905. – Bd. 5. – S. 37–89.

REFERENCES

1. Riealizacija morfolozičeskogo raznoobrazija v prirodnykh populacijakh mliekopitajushchikh / A. G. Vasil'ev [i dr.]. – 2-je izd., ispr. – Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2004. – 232 s.
2. Pantieliev, P. A. Ekogeografičeskaja izmienčivost' gryzunov / P. A. Pantieliev, A. N. Tieriokhina, A. A. Varshavskij. – M. : Nauka, 1990. – 373 s.
3. Shvarc, S. S. Metod morfofiziologičeskikh indikatorov v ekologii naziemnykh pozvonochnykh / S. S. Shvarc, V. S. Smirnov, L. N. Dobrinskij // Tr. In-ta ekologii rastenij i zhivotnykh. – Sverdlovsk, 1968. – Vyp. 58. – 388 s.
4. Malygin, V. M. Sravnitel'no-morfolozičeskij analiz vidov poliovok iz gruppy *Microtus arvalis* (Rodentia, *Cricetidae*) / V. M. Malygin // Zool. zhurn. – 1978. – T. LVII, vyp. 7. – S. 1062–1073.
5. Zagorodniuk, I. Naziemnyje pozvonochnyje Ukrainy i ikh okhrannyje kategorie : sprav. dlja seminarov po zoologii, ekologii i okhrany prirody / I. Zagorodniuk. – Uzhgorod : Lira, 2004. – 48 s.
6. Zagorodniuk, I. Soglasovanije genetičeskij, biogeografičeskij i morfolozičeskij diffierenciacii u evoliucionno molodykh vidov: analiz gruppy *Microtus «arvalis»* (Mammalia) / I. Zagorodniuk // Dokl. NAN Ukrainy. – 2007. – № 3. – S. 175–181.
7. Sravnitel'naja ekologija triokh form obyknoviennykh poliovok *Microtus arvalis* sensu lato v Central'nom Chernoziomie / N. M. Okulova [i dr.] // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki. 2008. – Vyp. 6. – № 3 (43). – S. 128–139.

8. Mironova, T. A. Ocenka fluktuirujushchiej asimmetrii morfotipov koriennykh zubov vidov-dvojniov obyknoviennoj poliovki (*Microtus arvalis* s.l.) / T. A. Mironova // Aktual'nyje problemy ekologii i evolucii v issledovanijakh molodykh uchionykh : materialy konf. molodykh sotrudnikov i aspirantov IPEE im. A. N. Sieviercova. – M., 2010. – S. 213–218.
9. Bol'shakov, V. N. Morfotipichieskaja izmienchivost' zubov poliovok / V. N. Bol'shakov, I. A. Vasil'jeva, A. G. Maliejeva. – M. : Nauka, 1980. – 140 s.
10. Morphological trends and rates of evolution in arvicolids (*Arvicolidae*, *Rodentia*): towards a punctuated equilibria-disequilibria model / J. Chaline [et al.] // *Quat Int.* – 1993. – T. 19. – P. 27–39. – DOI: 10.1016/1040-6182(93)90019-C.
11. Stein Georg, H. W. Über den Selectionswert der simplex-Zahnform bei der Feldmaus *Microtus arvalis* (Pallas) / H. W. Stein Georg // *Zoologische Jahrbücher abteilung für systematik, ökologie und geographie der tiere.* – 1958. – Bd. 86. – Heft 1/2. – P. 27–34.
12. Martynova, M. D. O variacijakh strojenija zubov obyknoviennoj poliovki (*Microtus arvalis* Pall.) / M. D. Martynova // *Nauch. dokl. vyssh. shk. biol. nauki.* – 1963. – № 2. – S. 53–57.
13. Variation in Sibling Species *Microtus arvalis* and *M. rossiaemerdionalis* (*Arvicolinae*, *Rodentia*): Between-Species Comparisons and Geography of Morphotype Dental Patterns / E. Markova [et al.] // *J. Mammal Evol.* – 2009. – Vol. 17. – P. 121–139. – DOI: 10.1007/s10914-009-9128-8.
14. Pieskov, V. N. Izmienchivost' risunka zhevatiel'noj povierkhnosti M3 v niekotorykh populiacijakh obyknoviennykh poliovok (nadvid *Microtus* «arvalis») / V. N. Pieskov, A. F. Cudikova // *Viestn. zoologii.* – 1997. – T. 31, № 4. – S. 85–88.
15. Zhukova, L. A. Populacionnaja zhizn' lugovykh rastienij / L. A. Zhukova. – Yoshkar-Ola : RIIK : Lanar, 1995. – 224 s.
16. Sravnitel'nyje dannyje po vidovomu sostavu, chisliennosti i razmieshchieniju mliiekopitajushchikh liesostiepi Central'nogo Chiernoziem'ja / N. M. Okulova [i dr.] // *Tr. Voronezh. gos. zapovednika.* – Vyp. 25. – Voronezh : Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, 2007. – S. 45–68.
17. Sravnitel'nyje kraniologichieskije issledovanija poliovok podroda *Terricola* (*Microtus*, *Arvicolinae*) fauny Rossii / T. A. Mironova [i dr.] // *Zool. zhurn.* – 2013. – T. 92 (1). – C. 87.
18. Voroncov, N. N. Nizshije khomiakoobraznyje (*Cricetidae*) mirovoi fauny. Ch. I. Morfologija i ekologija / N. N. Voroncov // *Fauna SSSR. Mliiekopitajushchije.* – L. : Nauka, 1982. – T. III. – Vyp. 6. – 451 s.
19. Yaskin, V. A. Spiecifichieskije chierty strojenija golovnogogo mozga vidov-dvojniov obyknoviennoj poliovki / V.A. Yaskin, L. I. Lieniec // *Zool. zhurn.* – 1996. – T. 75. – S. 1715–1721.
20. Dzujev, R. I. Sravnitel'noje izuchienije risunka zhevatiel'noj povierkhnosti vierkhnykh koriennykh zubov obyknoviennoj poliovki (*Microtus arvalis* pall.) v eksperimental'nykh uslovijakh / R. I. Dzujev, A. A. Chieprakova, M. M. Khulamkhanova // *Sovriem. problemi nauki i obrazovanija.* – 2016. – № 2. – S. 276.
21. Angiermann, R. Gomologichieskaja izmienchivost' koriennykh zubov u poliovok (*Microtinae*) / R. Angiermann // *Problemy evolucii / pod ried. N. N. Voroncova.* – Novosibirsk : Nauka, 1973. – T. 3. – S. 104–118.
22. Rörig, G. Studien über das Gebiss mitteleuropäischer recenter Mäuse / G. Rörig, C. Börner // *Kaiserlichen Biologischen Anstalt für Land- und Forstwirtschaft.* – 1905. – Bd. 5. – S. 37–89.

УДК 577.175.1: 57.085

Яна Валерьевна Хомюк¹, Елена Григорьевна Артемук², Раиса Павловна Литвиновская³¹магистр биол. наук, аспирант 3-го года обучения каф. химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина²канд. биол. наук, доц., зав. каф. химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина³д-р хим. наук, гл. науч. сотрудник
Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси**Yana Khamiuk¹, Alena Artsiamuk², Raisa Litvinovskaya³**¹Master of Biological Sciences, Post-Graduate Student of the Department of Chemistry
of the Brest State A. S. Pushkin University²Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry
of the Brest State A. S. Pushkin University³Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of Laboratory of Steroid Chemistry
of the Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus
e-mail: archibasovayana@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ TRIFOLIUM PRATENSE L.*

Изучена биологическая активность 24-эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с кислотами на ростовые и биохимические параметры клевера лугового в зависимости от типов обработки. В опытах на беспочвенной среде отмечается положительное действие всех конъюгатов 24-эпикастастерона на начальный рост растений в диапазоне концентраций 10^{-11} – 10^{-7} М, в большей степени активность изученных соединений проявилась в лабораторном опыте в почвенной культуре. Сравнение типов обработки выявило преимущество внекорневого внесения. Показано, что наиболее эффективным и универсальным конъюгатом для клевера лугового по ростовым параметрам и содержанию основных фотосинтетических пигментов является 24-эпикастастерон, однако увеличение содержания белка отмечено при воздействии конъюгатов 2-моносалицилата 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-10} М и тетраиндолилцетата 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-8} М.

Ключевые слова: брассиностероиды, 24-эпикастастерон, эфиры ЭК с кислотами (конъюгаты), клевер, рострегулирующая активность, содержание белка, фотосинтетические пигменты.

The Effect of Epicastasterone and its Conjugates with Acids on the Morphometric, Physiological and Biochemical Parameters of Trifolium Pratense L.

The biological activity of 24-epicastasterone (EC) and its conjugates with acids on the growth and biochemical parameters of meadow clover, depending on the types of treatment, was studied. In experiments on a groundless medium, the positive effect of all conjugates of 24-epicastasterone on the initial growth of plants in the concentration range of 10^{-11} – 10^{-7} M is noted, to a greater extent the activity of the studied compounds was manifested in laboratory experiments in soil culture. Comparison of treatment types revealed the advantage of foliar application. It has been shown that the most effective and universal conjugate for meadow clover in terms of growth parameters and the content of the main photosynthetic pigments is 24-epicastasterone, however, an increase in protein content was observed when exposed to conjugates of 2-monosalicylate 24-epicastasterone at a concentration of 10^{-10} M and tetraindolyl acetate 24-epicastasterone at a concentration of 10^{-8} M.

Key words: brassinosteroids, 24-epicastasterone, EC acid esters (conjugates), clover, growthregulating activity, protein content, photosynthetic pigments.

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных брассиностероидов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» подпрограммы «Химические основы процессов жизнедеятельности» (Биорхимия) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биорхимия» на 2021–2025 годы (№ госрегистрации 20211450 от 20.05.2021 г.).

Введение

Брассиностероиды (БС) играют важную роль в реализации жизненного цикла растений: от прорастания семян до естественной гибели. Ранее проведенные исследования БС показали их влияние на регуляцию роста, повышение урожайности и биологической ценности растений, на функциональное состояние фотосинтетического аппарата и количество пигментов, а также вовлечение их в регуляцию формирования защитных систем растений [1–4]. В настоящее время в условиях изменяющегося климата, экономической неопределенности и воздействия негативных факторов окружающей среды стоит острая необходимость разрабатывать и внедрять новые экологически дружелюбные средства защиты для достижения устойчивого и рентабельного растениеводства.

Одним из таких новых агрономических решений для растениеводства может быть использование рострегулирующих препаратов на основе БС, которые участвуют в регуляции роста и развития растений и адаптации при стрессе. В последние годы появляется большое количество публикаций, в которых обсуждается возможность снижения негативного действия стресс-факторов окружающей среды на культурные растения при применении БС. Известно, что предобработка растений БС способствует снижению повреждающего действия неблагоприятных факторов различной природы, что указывает на их участие в развитии реакций, способствующих преадаптации растений к возможным стрессовым ситуациям [5; 6]. Актуальным является изучение воздействия метаболических превращений БС. В Лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси для изучения биологического влияния БС и их производных были синтезированы конъюгаты 24-эпикастастерона (ЭК) с органическими кислотами. В настоящее время получены данные о росторегулирующей, стресс-протекторной и антиоксидантной активности конъюгатов БС с кислотами на молодые растения проса, пшеницы и ярового ячменя [7–9]. В связи с этим представлялось интересным исследование некоторых эфиров ЭК в отношении растений клевера лугового.

Целью данного исследования является исследование биологической активности 24-эпикастастерона и его конъюгатов с салициловой и индолилуксусной кислотами на основные морфометрические и физиолого-биохимические параметры клевера лугового *Trifolium pratense* L.

Материалы и методы

Для изучения влияния биологической активности 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами был выбран клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта Слуцкий.

Клевер луговой сорта Слуцкий – местный сорт, широко распространенный в хозяйствах Республики Беларусь. Относится к раннеспелому двуукосному типу, хорошо облиственный, сено высокого качества (содержание сырого протеина составляет 15–20 %), отлично поедается скотом. Выход сухого вещества – 77,1–130 ц/га, семян – 0,9–2,0 ц/га. В полевых севооборотах посевы клевера являются источником увеличения производства кормов, повышения плодородия почвы, обогащения ее азотом, улучшения физических свойств. Клеверное поле – это своего рода цех по производству биологического азота из атмосферы с производительностью каждого гектара 180–200 кг. Своевременно и технологически правильно убранное сено лугового клевера по содержанию белка уступает только люцерновому. По данным БелНИИ животноводства, в 100 кг клеверного сена содержится 42 корм. ед. и 7,1 кг переваримого протеина, сена из смеси клевера и тимофеевки – 43 и 5,4 кг. Клеверный корм богат и другими питательными веществами. Клевер среди многолетних трав занимает одно из первых мест по содержанию витаминов. Чистые посевы клевера лучше использовать для приготовления сенажа.

Большая роль принадлежит клеверу в зеленом конвейере. Зеленая масса используется на корм всем видам сельскохозяйственных животных.

24-Эпикастастерон и его конъюгаты – 2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23) и 2,3,22,23-тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31) – синтезированы в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси.

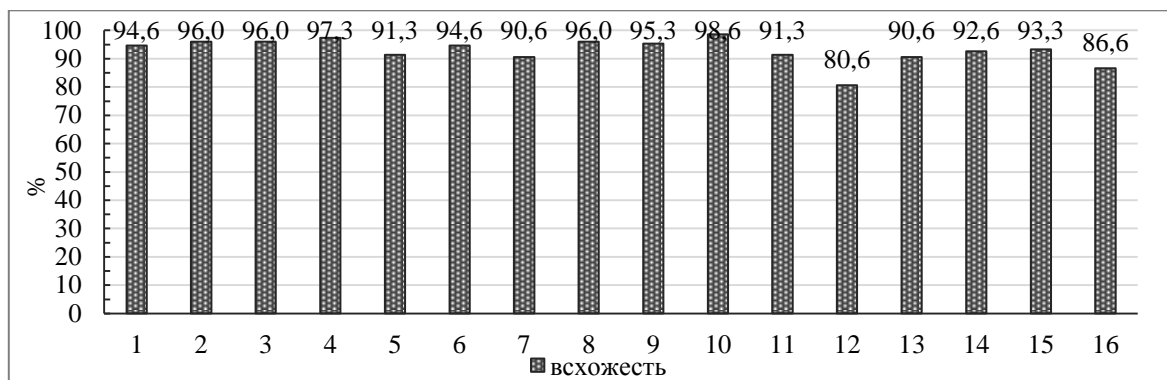
Определение эффективных концентраций ЭК и его конъюгатов в лабораторных условиях. Обработка исследуемыми веществами проводилась однократно в виде предварительного замачивания семян на 5 ч. Изучен диапазон наиболее характерных для БС концентраций 10^{-7} – 10^{-11} М. Изучение морфометрических параметров клевера, характеризующих начальные этапы роста и развития сельскохозяйственных культур, проводилось по ГОСТу 12038–84 [10]. 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 [11]. Все опыты проводились в четырехкратной повторности. В качестве контроля использовалась обработка дистиллированной водой. В результате проведенных исследований были отобраны эффективные концентрации ЭК и его конъюгатов, оказывающие наибольший достоверный эффект на рост корней и побегов клевера лугового.

Определение воздействия ЭК и его конъюгатов на клевер луговой в вегетационном лабораторном эксперименте при различных способах обработки. В лабораторных условиях на почвенной среде [12–14] были протестированы два способа обработки растений гормонами в отобранных концентрациях: предпосевная (замачивание семян) и внекорневая обработка (опрыскивание растений). При предпосевной обработке семена замачивали в растворах ЭК и его конъюгатов в течение пяти часов, далее высаживали в пластиковые контейнеры 9×9×8 см на универсальном почвогрунте («Хозяин», Беларусь) и выращивали при 22–25 °С 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 (шестой день) и на стадии первого настоящего тройчатого листа (пятнадцатый день). Временные рамки были установлены нами опытным путем при выращивании клевера в условиях лабораторного вегетационного опыта. В качестве контроля растения выращивали с обработкой дистиллированной водой. Фиксировались значения длины подземной (корней) и надземной (побегов) частей клевера лугового, а также содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла а и b, каротиноидов) и белка. Для определения содержания основных фотосинтетических пигментов использовали спектрофотометрический метод [15; 16]. В качестве растворителя был выбран 100 %-ный ацетон. Содержание белка определяли спектрофотометрически по методу Лоури [17].

Статистическую обработку всех полученных результатов проводили по общепринятым методикам биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [18] с использованием программы Microsoft Excel и t-критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

В результате лабораторного опыта по оценке влияния и подбору оптимальных концентраций ЭК и его конъюгатов с кислотами на основные показатели, характеризующие начальные этапы роста и развития клевера лугового, установлено, что относительно контроля практически во всех вариантах опыта отмечается высокая всхожесть семян (рисунок 1). При использовании S31 в концентрациях 10^{-11} М и 10^{-7} М наблюдается снижение всхожести по сравнению с контролем на 14 и 8 % соответственно.



1 – контроль, 2–6 – ЭК в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М, 7–11 – S23 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М, 12–16 – S31 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М

Рисунок 1. – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на всхожесть семян клевера лугового сорта Слуцкий

Изучение влияния ЭК и его конъюгатов с кислотами на длину корня и побега клевера лугового сорта Слуцкий показало, что растения клевера положительно отзываются на предварительное замачивание в растворах исследуемых стероидных соединений (таблица 1). Так, использование ЭК в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М приводило к увеличению средней длины корней на 9,1–39,3 % по сравнению с контролем, а побега – на 3,5–14,4 %.

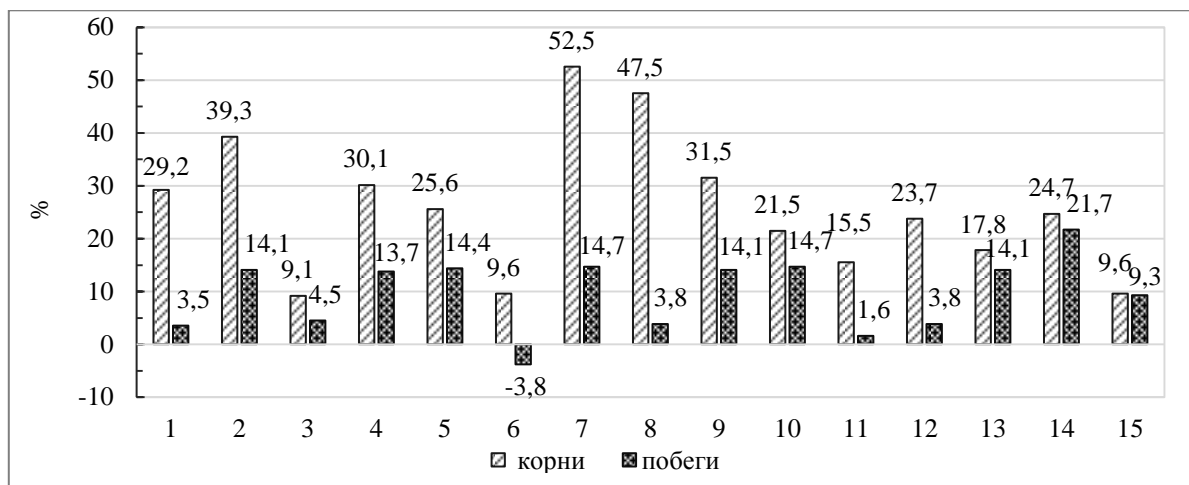
Таблица 1. – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры начальных этапов роста клевера лугового сорта Слуцкий

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
24-Эпикастерон				
Контроль	21,9 ± 0,56	100,0	31,3 ± 0,64	100,0
10^{-11} М	28,3 ± 0,70***	129,2	32,4 ± 0,53	103,5
10^{-10} М	30,5 ± 0,66***	139,3	35,7 ± 0,59***	114,1
10^{-9} М	23,9 ± 0,68*	109,1	32,7 ± 0,68	104,5
10^{-8} М	28,5 ± 0,70***	130,1	35,6 ± 0,50***	113,7
10^{-7} М	27,5 ± 0,81***	125,6	35,8 ± 0,54***	114,4
2-моносалицилат 24-эпикастерона (S23)				
Контроль	21,9 ± 0,56	100,0	31,3 ± 0,64	100,0
10^{-11} М	24,0 ± 0,68*	109,6	30,1 ± 0,78	96,2
10^{-10} М	33,4 ± 0,78***	152,5	35,9 ± 0,59***	114,7
10^{-9} М	32,3 ± 0,83***	147,5	32,5 ± 0,59	103,8
10^{-8} М	28,8 ± 0,75***	131,5	35,7 ± 0,62***	114,1
10^{-7} М	26,6 ± 0,64***	121,5	35,9 ± 0,54***	114,7
2,3,22,23-тетраиндолилацетат 24-эпикастерона (S31)				
Контроль	21,9 ± 0,56	100,0	31,3 ± 0,64	100,0
10^{-11} М	25,3 ± 0,71***	115,5	31,8 ± 0,73	101,6
10^{-10} М	27,1 ± 0,71***	123,7	32,5 ± 0,56	103,8
10^{-9} М	25,8 ± 0,61***	117,8	35,7 ± 0,55***	114,1
10^{-8} М	27,3 ± 0,75***	124,7	38,1 ± 0,75***	121,7
10^{-7} М	24,0 ± 0,84*	109,6	34,2 ± 0,64***	109,3

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

Предварительное замачивание семян в растворе S23 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М приводило к увеличению длины корней на 9,6–52,5 %, а побегов – на 3,8–14,7 % (исключение составляет концентрация 10^{-11} М, при которой наблюдается снижение длины побегов на 3,8 % относительно контроля).

Использование S31 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М также приводило к увеличению длины корней и побегов относительно контроля. Так, длина корней увеличивалась на 9,6–24,7 %, а побегов – на 1,6–21,7 % относительно контроля (рисунок 2).



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

Рисунок 2. – Влияние 24-эпикастестерона и его конъюгатов на морфометрические параметры клевера лугового сорта Слуцкий, % относительно контроля

Таким образом, по результатам лабораторного опыта наиболее эффективными концентрациями исследуемых веществ, оказывающими наибольший достоверный эффект на рост корней и побегов клевера лугового, являются: ЭК в концентрациях 10^{-10} и 10^{-8} М, S23 в концентрации 10^{-10} М и S31 в концентрации 10^{-8} М. Эти концентрации были использованы для анализа влияния 24-эпикастестерона и его конъюгатов на физиолого-биохимические параметры клевера лугового, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта.

Вегетационный лабораторный эксперимент. Второй блок исследований был связан с анализом влияния 24-эпикастестерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры клевера лугового, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта, изучением параметров длины подземной и надземной частей, а также содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла а и b, каротиноидов) и белка. Для проведения вегетационного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации ЭК и его конъюгатов, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на посевные качества семян, рост корней и побегов изучаемых сельскохозяйственных культур.

Исследование воздействия ЭК и его конъюгатов на морфометрические параметры клевера лугового (средняя длина корней и средняя длина побегов) в вегетационном опыте показало, что только ЭК в концентрации 10^{-10} М и его конъюгат S31 в концентрации 10^{-8} М оказывают положительное влияние при предпосевной обработке семян клевера лугового (таблица 2). Так, при обработке ЭК в концентрации 10^{-10} М длина корня увеличивалась на 2,7 %, побега – на 6,1 % по сравнению с контролем, а при об-

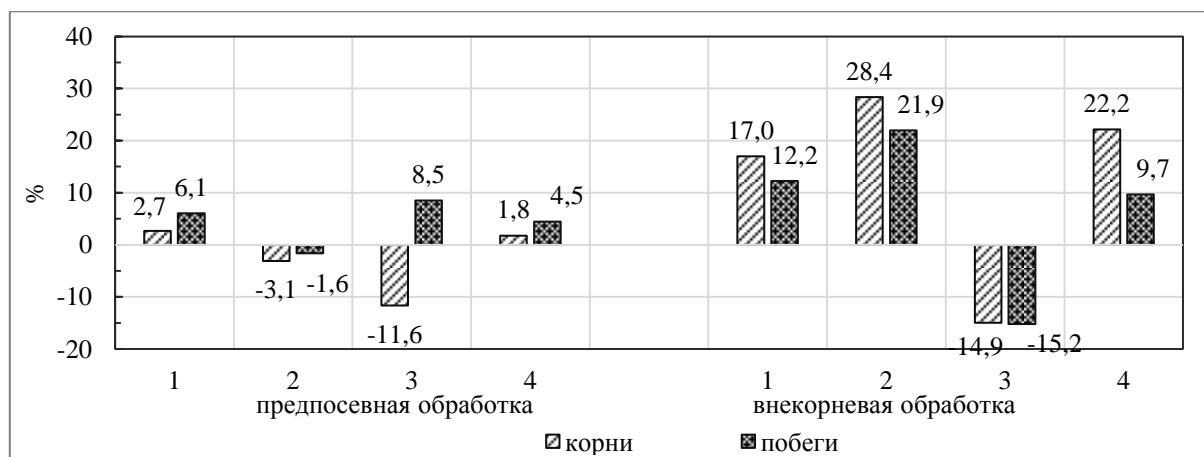
работке S31 в концентрации 10^{-8} М длина корня увеличивалась на 1,8 %, побега – на 4,5 %, однако эти различия статистически не достоверны.

При внекорневой обработке положительное влияние на рост корней и побегов оказал ЭК в концентрации 10^{-10} М (длина корня была выше на 17,0 %, побега – на 12,2 % по сравнению с контролем) и 10^{-8} М (длина корня была выше на 28,4 %, побега – на 21,9 % по сравнению с контролем) и его конъюгат S31 в концентрации 10^{-8} М (длина корня была выше на 22,2 %, побега – на 9,7 % по сравнению с контролем) (таблица 2, рисунок 3).

Таблица 2. – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры клевера лугового сорта Слуцкий (вегетационный опыт)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Предпосевная обработка				
Контроль	22,4 ± 1,03	100,0	24,7 ± 0,75	100,0
ЭК, 10^{-10} М	23,0 ± 1,14	102,7	26,2 ± 0,92	106,1
ЭК, 10^{-8} М	21,7 ± 1,10	96,9	24,3 ± 0,90	98,4
S23, 10^{-10} М	19,8 ± 0,94	88,4	26,8 ± 0,89	108,5
S31, 10^{-8} М	22,8 ± 1,11	101,8	25,8 ± 0,88	104,5
Внекорневая обработка				
Контроль	19,4 ± 0,88	100,0	23,7 ± 0,89	100,0
ЭК, 10^{-10} М	22,7 ± 1,08*	117,0	26,6 ± 0,87*	112,2
ЭК, 10^{-8} М	24,9 ± 1,13***	128,4	28,9 ± 0,96***	121,9
S23, 10^{-10} М	16,5 ± 0,93*	85,1	20,1 ± 0,76**	84,8
S31, 10^{-8} М	23,7 ± 0,98**	122,2	26,0 ± 0,72*	109,7

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



1 – ЭК в концентрации 10^{-10} М, 2 – ЭК в концентрации 10^{-8} М, 3 – S23 в концентрации 10^{-10} М, 4 – S31 в концентрации 10^{-8} М

Рисунок 3. – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры клевера лугового сорта Слуцкий, вегетационный опыт (в % относительно контроля)

При изучении содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов (Кар)) в листьях клевера лугового в вегетационном опыте (таблица 3) при предпосевной обработке семян клевера лугового за-

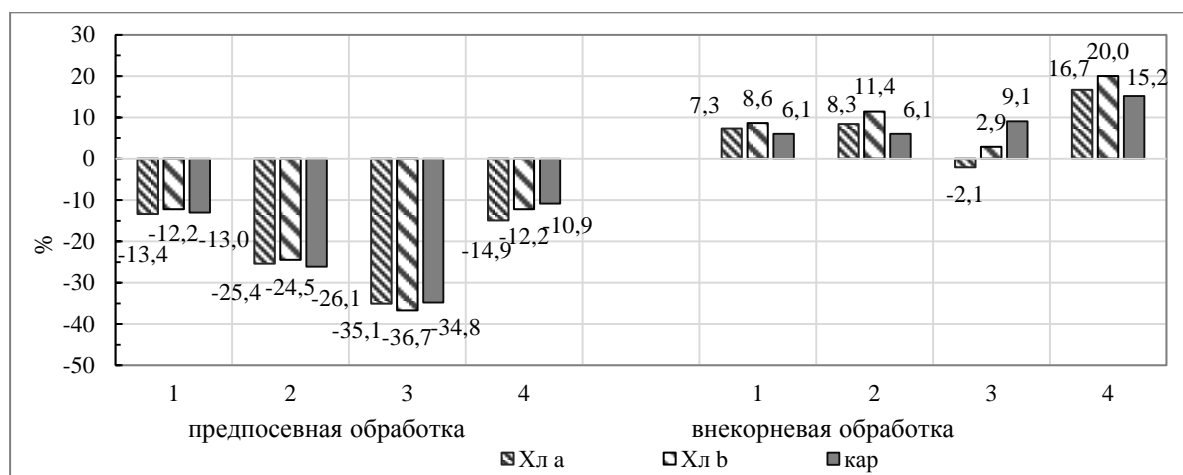
фіксировано снижение содержания пигментов относительно контроля для всех исследуемых веществ и концентраций.

Таблица 3. – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях клевера лугового сорта Слуцкий

Вариант опыта	Содержание, мг/г		
	хлорофилла <i>a</i>	хлорофилла <i>b</i>	каротиноидов
Предпосевная обработка			
Контроль	1,34 ± 0,11	0,49 ± 0,05	0,46 ± 0,04
ЭК, 10 ⁻¹⁰ М	1,16 ± 0,11	0,43 ± 0,04	0,40 ± 0,04
ЭК, 10 ⁻⁸ М	1,0 ± 0,07	0,37 ± 0,02	0,34 ± 0,02
S23, 10 ⁻¹⁰ М	0,87 ± 0,09*	0,31 ± 0,03*	0,30 ± 0,03*
S31, 10 ⁻⁸ М	1,14 ± 0,20	0,43 ± 0,08	0,41 ± 0,09
Внекорневая обработка			
Контроль	0,96 ± 0,08	0,35 ± 0,04	0,33 ± 0,03
ЭК, 10 ⁻¹⁰ М	1,03 ± 0,07	0,38 ± 0,03	0,35 ± 0,03
ЭК, 10 ⁻⁸ М	1,04 ± 0,02	0,39 ± 0,01	0,35 ± 0,01
S23, 10 ⁻¹⁰ М	0,94 ± 0,09	0,36 ± 0,04	0,36 ± 0,05
S31, 10 ⁻⁸ М	1,12 ± 0,10	0,42 ± 0,04	0,38 ± 0,03

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

При внекорневой обработке наблюдается увеличение содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов при использовании ЭК и его конъюгатов с кислотами (исключение составляет содержание хлорофилла *a* при обработке S23 в концентрации 10⁻¹⁰ М, где наблюдается незначительное снижение по сравнению с контролем). Однако для всех пигментов в сравнении с контролем различия статистически не достоверны. Максимальное увеличение содержания пигментов наблюдается при использовании внекорневой обработки растений конъюгатом S31 в концентрации 10⁻⁸ М. Содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в данном варианте было на 16,7, 20,0 и 15,2 % выше контроля (рисунок 4).



1 – ЭК в концентрации 10⁻¹⁰ М, 2 – ЭК в концентрации 10⁻⁸ М,
3 – S23 в концентрации 10⁻¹⁰ М, 4 – S31 в концентрации 10⁻⁸ М

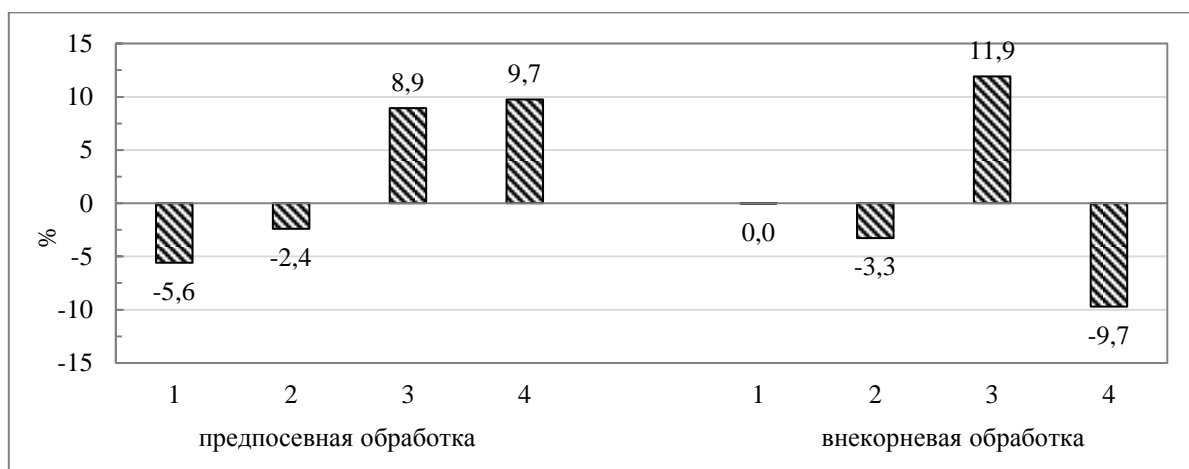
Рисунок 4. – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов клевера лугового сорта Слуцкий (в % относительно контроля)

Отмечается увеличение содержания белка при предпосевной обработке веществами S23 в концентрации 10^{-10} М и S31 в концентрации 10^{-8} М (на 8,9 и 9,7 % соответственно), а также при внекорневой обработке S23 в концентрации 10^{-10} М (на 11,9 %) (таблица 4, рисунок 5).

Таблица 4. – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на содержание белка в надземных частях проростков клевера лугового сорта Слуцкий

Вариант опыта	Содержание белка	
	мг/г сырой массы	% к контролю
Предпосевная обработка		
Контроль	21,20 ± 0,29	100,0
ЭК, 10^{-10} М	20,02 ± 0,33	94,4
ЭК, 10^{-8} М	20,69 ± 0,23	97,6
S23, 10^{-10} М	23,10 ± 0,83	108,9
S31, 10^{-8} М	23,27 ± 0,26*	109,7
Внекорневая обработка		
Контроль	23,18 ± 0,27	100,0
ЭК, 10^{-10} М	23,17 ± 0,81	99,9
ЭК, 10^{-8} М	22,42 ± 0,39	96,7
S23, 10^{-10} М	25,94 ± 0,51*	111,9
S31, 10^{-8} М	20,93 ± 0,29*	90,3

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



1 – ЭК в концентрации 10^{-10} М, 2 – ЭК в концентрации 10^{-8} М, 3 – S23 в концентрации 10^{-10} М, 4 – S31 в концентрации 10^{-8} М

Рисунок 5. – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на содержание белка в надземных частях проростков клевера лугового сорта Слуцкий (в % относительно контроля)

Закключение

В лабораторных условиях проведено двухэтапное исследование биологической активности 24-эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с биологически значимыми органическими кислотами по влиянию на морфометрические и биохимические параметры клевера лугового *Trifolium pratense* L. В почвенной среде дополнительно изучены зависимости влияния исследуемой группы веществ от способов их внесения.

Показано, что в лабораторных условиях на начальном этапе развития растений 24-эпикастастерон и его конъюгаты с кислотами оказывают значительное действие

на морфометрические параметры, в особенности на увеличение длины корней клевера. Наиболее эффективными веществами являются: ЭК в концентрациях 10^{-10} М и 10^{-8} М, S23 в концентрации 10^{-10} М и S31 в концентрации 10^{-8} М. Уменьшения морфометрических параметров под действием ЭК и его конъюгатов не наблюдается.

В вегетационном лабораторном опыте из протестированных веществ и концентраций для клевера лугового максимальным эффектом повышения морфометрических параметров (длины корня и побега), а также содержания фотосинтетических пигментов обладает конъюгат 24-эпикастастерона S31 в концентрации 10^{-8} М и ЭК в концентрациях 10^{-10} и 10^{-8} М при использовании внекорневой обработки растений. Однако накопления белков при использовании изученных концентраций ЭК и его конъюгата S31 не происходит. Таким образом, по результатам вегетационного лабораторного опыта наиболее эффективным способом внесения 24-эпикастастерона и его конъюгатов с салициловой и индолилуксусной кислотами для клевера лугового является внекорневая обработка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khripach, V. Brassinosteroids: a new role of steroids as bio-signaling molecules / V. Khripach, V. Zhabinskii, R. Karnachuk // *Chemical probes in biology : Science at the Interface of Chemistry, Biology and Medicine* ; ed. M. P. Schneider. – Dordrecht : Springer Netherlands, 2003. – P. 153–167.
2. Hayat, S. Brassinosteroids: A Class of Plant Hormones / S. Hayat, A. Ahmad. – Dordrecht : Springer, 2011. – 462 p.
3. Ефимова, М. В. Регуляция эпибрассинолидом морфогенеза и содержания фотосинтетических пигментов в проростках *Arabidopsis thaliana* / М. В. Ефимова, М. А. Елисеева // *Тр. Том. гос. ун-та. Сер. биол.* – 2010. – № 275. – С. 267–271.
4. Влияние лактон- и кетонсодержащих брассиностероидов на фотосинтетическую активность листьев ячменя при старении / И. С. Ковтун [и др.] // *Физиология растений.* – 2021. – Т. 68, № 3. – С. 268–278.
5. Лахвич, Ф. А. Синтез брассиностероидов – нового класса гормонов растений / Ф. А. Лахвич, В. А. Хрипач, В. Н. Жабинский // *Успехи химии.* – 1991. – № 6. – С. 128–131.
6. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Наука і тэхніка. – 1993. – 287 с.
7. Синтез и стресс-протекторное действие на растения конъюгатов брассиностероидов с салициловой кислотой / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Химия природ. соединений.* – 2016. – № 3. – С. 394–398.
8. Индолил-3-ацетоксипроизводные брассиностероидов: синтез и рострегулирующая активность / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Химия природ. соединений.* – 2013. – № 3. – С. 408–414.
9. Защитное действие салицилатов брассиностероидов на растения ярового ячменя, подвергнутых биотическому стрессу / Н. Е. Манжелесова [и др.] // *Докл. НАН Беларуси.* – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 304–311.
10. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
11. Методика определения силы роста семян кормовых культур / В. И. Карпин [и др.]. – М. : Изд-во РГАУ – МСХА, 2012. – 16 с.
12. Журбицкий, З. И. Теория и практика вегетационного метода / З. И. Журбицкий. – М. : Наука, 1968. – 260 с.

13. 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.
14. Агрохимические методы исследований : учеб.-метод. пособие / В. Н. Дышко [и др.]. – Смоленск : ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2014. – 197 с.
15. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу : учеб. пособие для студентов вузов / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.
16. 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.
17. Protein measurement with Folin phenol reagent / O. H. Lowry [et al.] // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, nr 1. – P. 265–275.
18. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Khripach, V. Brassinosteroids: a new role of steroids as bio-signaling molecules / V. Khripach, V. Zhabinskii, R. Karnachuk // Chemical probes in biology : Science at the Interface of Chemistry, Biology and Medicine ; ed. M. P. Schneider. – Dordrecht : Springer Netherlands, 2003. – P. 153–167.
2. Hayat, S. Brassinosteroids: A Class of Plant Hormones / S. Hayat, A. Ahmad. – Dordrecht : Springer, 2011. – 462 p.
3. Yefimova, M. V. Rieguliacija epibrassinolidom morfogeneza i sodierzhanija fotosintetichieskikh pigmentov v prorostkah Arabidopsis thaliana (L.). / M. V. Yefimova, M. A. Yelisiejeva // Tr. Tom. gos. un-ta. Sier. biol. – 2010. – № 275. – P. 267–271.
4. Vlijanije lakton- i kietonsodierzhashchikh brassinosteroidov na fotosintetichieskuju aktivnost' list'jev jachmienja pri starienii / I. S. Kovtun [i dr.] // Fiziologija rastienij. – 2021. – T. 68, № 3. – S. 268–278.
5. Sintez brassinosteroidov – novogo klassa gormonov rastienij / F. A. Lakhvich, V. A. Khripach, V. N. Zhabinskij // Uspiekhii khimii. – 1991. – № 6. – S. 128–131.
6. Khripach, V. A. Brassinosteroidy / V. A. Khripach, F. A. Lakhvich, V. N. Zhabinskij. – Minsk : Navuka i tekhnika. – 1993. – 287 s.
7. Sintez i stress-protektornoje diejstvije na rastienija konjugatov brassinosteroidov s salicilovoj kislotoj / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Khimija prirod. sojedinenij. – 2016. – № 3. – S. 394–398.
8. Indolil-3-acetoksiiproizvodnyje brassinosteroidov: sintez i rostregulirujushchaja aktivnost' / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Khimija prirod. sojedinenij. – 2013. – № 3. – S. 408–414.
9. Zashchitnoje diejstvije salicilatov brassinosteroidov na rastienija jarovogo jachmienja, podviergnutykh biotichieskomu stressu / N. Ye. Manzheliesova [i dr.] // Dokl. NAN Bielarusi. – 2019. – T. 63, № 3. – S. 304–311.
10. Siemienja siel'skokhoziajstviennykh kul'tur. Mietody opriedielienija vskhozhesti : GOST 12038.84. – Vvied. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.
11. Mietodika opriedielienija sily rosta siemian kormovykh kul'tur / V. I. Karpin [i dr.]. – M. : Izd-vo RGAU – MSKha, 2012. – 16 s.
12. Zhurbickij, Z. I. Tieorija i praktika viegietacionnogo mietoda / Z. I. Zhurbickij. – M. : Nauka, 1968. – 260 s.

13. Duktova, N. A. Uchiebnaja praktika po fiziologii i biokhimmii rastienij : programma i mietod. ukazaniya / N. A. Duktova, A. I. Mykhlyk, V. P. Moisiejev. – Gorki : BGSKhA, 2018. – 56 s.
14. Dyshko, V. N Agrokhimichieskije mietody issliedovanij : uchieb.-mietod. posobije / V. N. Dyshko, V. V. Dyshko, P. V. Romanienko. – Smoliensk : FGBOU VPO «Smolienskaja GSKhA», 2014. – 197 s.
15. Gavrilienko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu : uchieb. posobije dlia studentov vuzov / V. F. Gavrilienko, T. V. Zhigalova ; pod ried. I. P. Yermakova. – M. : Akadiemija, 2003. – 256 s.
16. Shul'gin, I. A. Raschiot sodierzhanija pigmentov s pomoshchju nomogramm / I. A. Shul'gin, A. A. Nichiporovich // Khlorofill : sb. nauch. st. ; pod ried. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tšekhnika, 1974. – S. 121–136.
17. Protein measurement with Folin phenol reagent / O. H. Lowry [et al.] // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, nr 1. – P. 265–275.
18. Rokickij, P. F. Biologichieskaja statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Uradzhaj, 1973. – 320 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 30.05.2022

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

УДК 55:502.62

**Ирина Анатольевна Красовская¹, Александр Николаевич Галкин²,
Андрей Борисович Торбенко³**

¹канд. геол.-минерал. наук, доц., нач. научно-исследовательского сектора
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
²д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. каф. экологии и географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
³ст. преподаватель каф. экологии и географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

Irina Krasovskaya¹, Alexander Galkin², Andrey Torbenko³

¹PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,
Head of the Research Sector of the Vitebsk State University named after P. M. Masherov

²Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Ecology and Geography
of the Vitebsk State University named after P. M. Masherov

³Senior Lecturer of the Department of Ecology and Geography
of the Vitebsk State University named after P. M. Masherov

[e-mail: galkin-alexandr@yandex.ru](mailto:galkin-alexandr@yandex.ru)

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ МЕСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ РОССОНСКОГО РАЙОНА ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

Представлены результаты исследований, выполненных научным коллективом Витебского государственного университета имени П. М. Машерова по заказу Витебского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды в рамках инвентаризации особо охраняемых природных территорий в соответствии с Региональной схемой рационального размещения ООПТ местного значения Витебской области на 2014–2023 гг. Геоморфологические особенности природных территорий Россонского района рассмотрены на примере форм рельефа, возникновение которых связывается с деятельностью поозерского материкового ледника в интервале времени от 16 до 13 тыс. лет назад. Исследованиями подтверждена ценность, хорошее состояние, важность рассматриваемых природных объектов для познания геологического прошлого Земли. В работе приведено основание целесообразности объединения рассмотренных объектов в существующих границах с целью создания единой особо охраняемой природной территории с сохранением режима ландшафтного заказника местного значения.

Ключевые слова: *особо охраняемые природные территории, рельеф, геоморфологические особенности, озовая гряды, оледенение.*

Geomorphological Features of Specially Protected Natural Areas of Local Importance Rossonsky District of the Vitebsk Region

The results of studies carried out by the research team of Vitebsk State University named after P. M. Masherov by order of the Vitebsk Regional Committee of Natural Resources and Environmental Protection as part of the inventory of specially protected natural areas in accordance with the Regional Scheme for the Rational Allocation of Specially Protected Natural Areas of Local Importance of the Vitebsk Region for 2014–2023. Geomorphological features of the natural territories of the Rossony region are considered on the example of landforms, the occurrence of which is associated with the activity of the Poozersky continental glacier in the time interval from 16 to 13 thousand years ago. Research has confirmed the value, good condition, and importance of the natural objects under consideration for understanding the geological past of the Earth. The paper gives the basis for the expediency of combining the considered objects within the existing boundaries in order to create a single specially protected natural area while maintaining the regime of a landscape reserve of local significance.

Key words: *specially protected natural territories, relief, geomorphological features, esker ridge, glaciation.*

Введение

Как известно, к особо охраняемым относят территории Республики Беларусь с уникальными, эталонными или иными ценными природными комплексами и объектами, имеющими особое экологическое, научное и (или) эстетическое значение, в отношении которых установлен особый режим охраны и использования. Категории и виды особо охраняемых природных территорий (ООПТ) определяются в зависимости от особенностей природных комплексов и объектов, подлежащих особой охране, установленного режима охраны и использования, а также уровня государственного управления их функционированием. Так, в категории заказников, в т. ч. местного значения, выделяются следующие виды: ландшафтные, или комплексные, биологические, водноболотные, гидрологические, геологические; в категории памятников природы, в т. ч. местного значения, – ботанические, гидрологические, геологические.

Цель работы – на основе выполненных натурных наблюдений выявить геоморфологические особенности ООПТ местного значения северной части Россонского района Витебской области.

Материалы и методы исследований

Основанием для первоначального выделения отдельных объектов северной части Витебской области в качестве особо охраняемых природных территорий местного значения служило научное обоснование, выполненное коллективом сотрудников Института геологических наук НАН Беларуси под руководством В. Ф. Винокурова (1999). По рассматриваемой проблеме проанализирован ряд научных публикаций Ф. Ю. Величкевича, В. Ф. Винокурова, А. В. Матвеева, В. Ф. Наливайко, В. И. Пашкевича и др. Современные исследования проводились в виде натурных геоморфологических наблюдений с использованием методов ГИС-картографирования на лицензионной ГИС-платформе.

Результаты исследований и их обсуждение

В период с 2013 по 2017 г. научным коллективом биологического факультета Витебского государственного университета имени П. М. Машерова по заказу Витебского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды проводились работы по инвентаризации особо охраняемых природных территорий в соответствии с Региональной схемой рационального размещения ООПТ местного значения Витебской области на 2014–2023 гг. В 2016 г. выполнялось натурное обследование на соответствие установленным ранее критериям 20-ти особо охраняемых природных территорий местного значения Россонского района: одного ландшафтного заказника, 18 геологических и одного гидрологического памятника природы (рисунок 1).

В северной части исследованной территории располагается заказник «Межевская озовая гряда», территория которого охватывает долину р. Межево и западное побережье оз. Межево. Протяженность территории заказника в направлении с северо-запада на юго-восток составляет 2,63 км, с запада на восток – 2,4 км; длина границ – 8,128 км. Ширина заказника достигает 1,5 км, ширина озовой гряды по подошве колеблется в пределах от 0,1 до 0,3 км. Площадь занимаемой территории – 1,5 км². Абсолютные отметки поверхности в пределах изучаемого объекта изменяются от 142,3 м (урез воды в оз. Межево) до 170,8 м над уровнем моря. Относительная высота гряды над уровнем воды в оз. Межево составляет 28,5 м.

Заказник как территориальная единица входит в структуру Россонского района Витебской области и расположен в 6 км к западу от сельсовета д. Горбачево, в 7 км к северо-востоку от г. п. Россоны (рисунок 2).

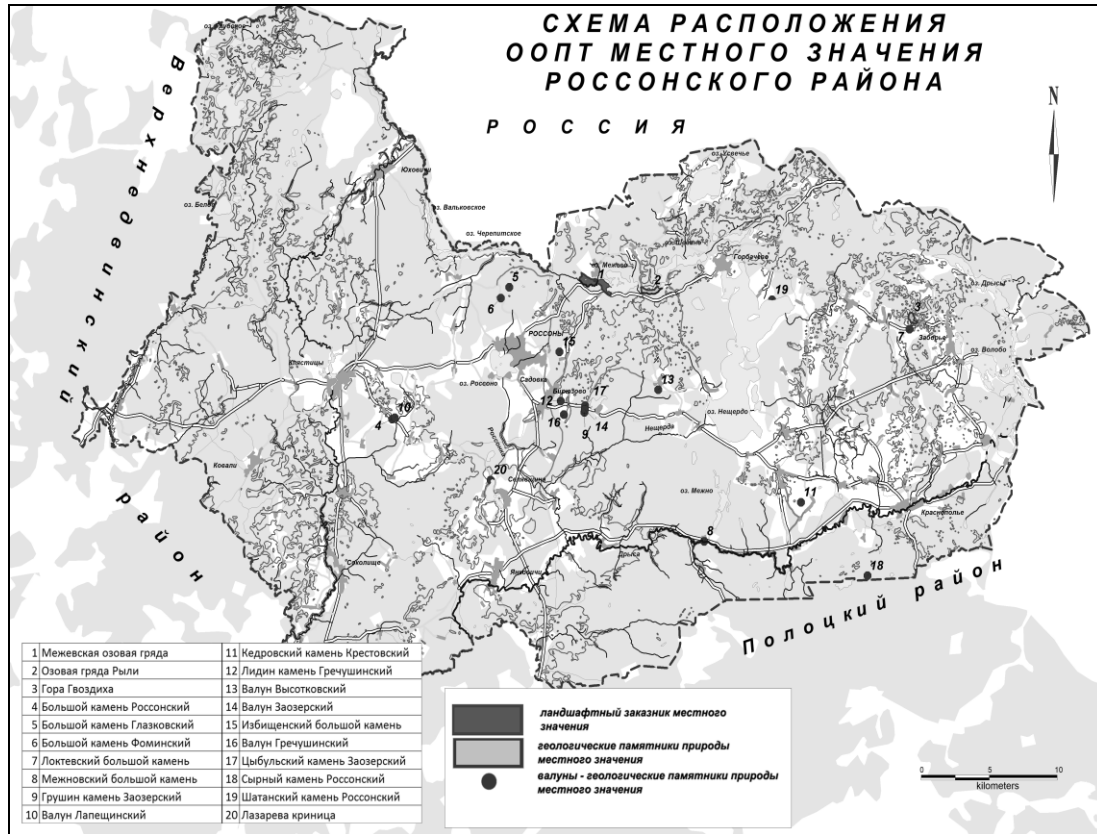


Рисунок 1. – Схематическая карта расположения ООПТ местного значения Россонского района

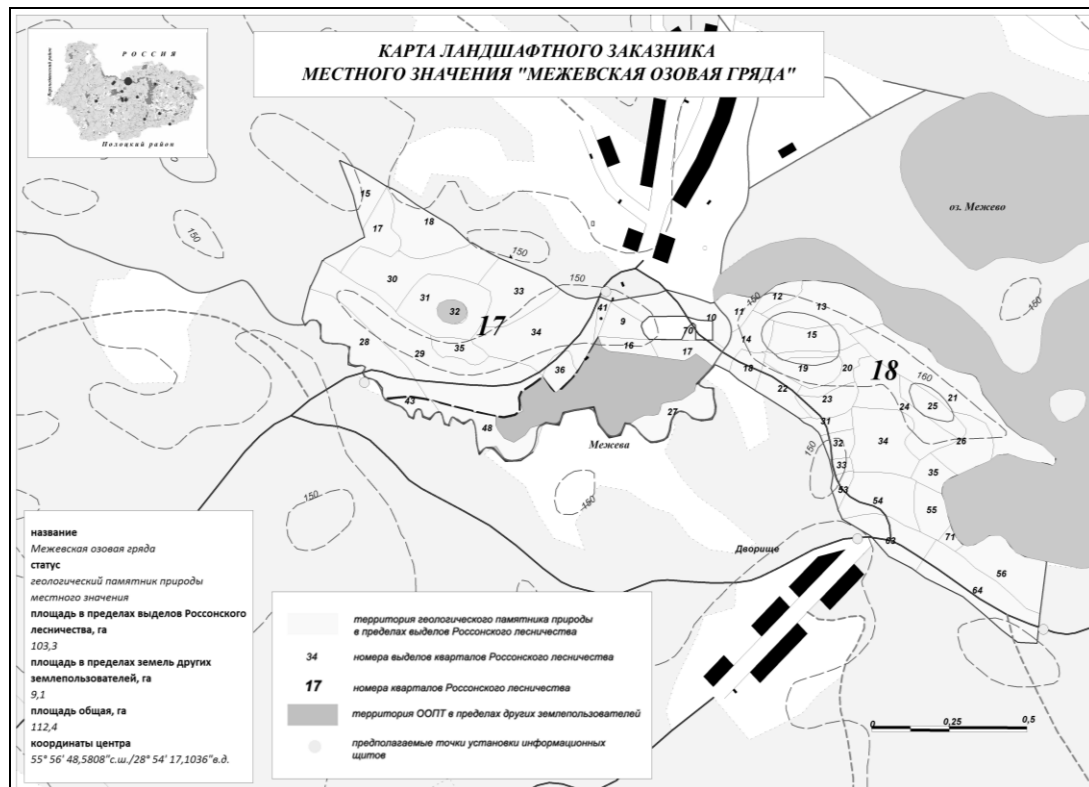


Рисунок 2. – Карта ландшафтного заказника местного значения «Межевская озовая гряда»

Северная граница заказника совпадает с отрезком нижнего течения р. Межево между д. Межево и оз. Межево. Далее на запад граница идет по безымянному ручью, что протекает около южной окраины д. Межево и продолжается вдоль северного края болота до пересечения с проселочной дорогой. Западной границей объекта служит проселочная дорога и окраина гряды до пересечения с долиной р. Межево. Южная граница заказника совпадает с руслом р. Межево до участка, где река прорезает озовую гряду. Далее, на восток, южная граница проходит по проселочной дороге, достигает шоссейной дороги Россоны – Горбачево и по безымянному ручью, который течет от д. Дворище, достигает оз. Межево. Восточная граница проходит непосредственно по западному берегу оз. Межево.

В соответствии со «Схемой экологической сети Республики Беларусь» заказник «Межевская озовая гряда» входит в состав перспективного ядра европейского значения. Ближайшими к природно-заповедной территории являются республиканские ландшафтные заказники «Синьша», «Красный бор» и «Козьянский». Положение территории в схемах природного районирования Беларуси отображено в таблице 1.

Таблица 1. – Положение ландшафтного заказника «Межевская озовая гряда» в схемах природного районирования Беларуси [1–3]

Районирование	Единицы природного районирования	
<i>Агроклиматическое</i>	Область	Северная
	Подобласть	Западная
	Район	Полоцкий
<i>Геоботаническое</i>	Подзона	Дубово-темнохвойных лесов
	Округ	Западновинский
	Район	Полоцкий
<i>Геоморфологическое</i>	Область	Белорусское Поозерье
	Район	Заборская водно-ледниковая равнина с краевыми моренными образованиями
<i>Физико-географическое</i>	Провинция	Белорусское Поозерье
	Округ	Витебское Поозерье
	Район	Нещердо-Городокская возвышенность
<i>Гидрологическое</i>	Район	Западновинский (подрайон б)
<i>Ландшафтное</i>	Подзона	Бореальных ландшафтов
	Провинция	Поозерская
	Район	Освейско-Езерищенский мелко- и средне-холмисто-котловинный камово-моренный, волнистый водно-ледниковый с хвойными и мелколиственными лесами
<i>Почвенно-географическое</i>	Провинция	Северная (Прибалтийская)
	Округ	Северо-Восточный
	Район	Сенненско-Россонско-Городокский
<i>Флористическое</i>	Царство	Голарктическое флористическое
	Подцарство	Бореальное
	Область	Циркумбореальная флористическая
	Провинция	Восточно-европейская
	Район	Озерный (северный)
<i>Фаунистическое</i>	Область	Голарктическая
	Зона	Смешанных лесов
	Район	Северный (озерный)
	Участок	Витебский

Территория заказника входит в Освейско-Езерищенский мелко- и среднехолмисто-котловинный камово-моренный, волнистый водно-ледниковый с хвойными и мелко-лиственными лесами район Поозерской провинции озерно-ледниковых, морено-озерных и холмисто-моренно-озерных ландшафтов [1; 3].

Согласно геоморфологическому районированию территория заказника приурочена к Заборской водно-ледниковой равнине с краевыми моренными образованиями области Белорусское Поозерье [1; 3], представляет собой крупную озовую грядку, которая тянется в субширотном направлении, состоит из ряда отдельных гряд, вытянутых одна за другой и посаженных на общий цоколь. В некоторых «узловых» местах ширина гряды достигает 300 м, и к ней с боков присоединяются небольшие холмы и неширокие пристройки с плоской поверхностью, напоминающие озовые террасы.

Гряда имеет хорошую морфологическую выразительность. Ее можно рассматривать в качестве одной из наиболее отличительных форм рельефа поозерского оледенения Беларуси. Особенностью озовой гряды является строение вершины: в большинстве случаев она почти идеально плоская, шириной до 100 м. На одной из таких плоских поверхностей (около южной окраины д. Межево) насыпан курган, высотой около 5–6 м. Другой отличительной чертой этой гряды можно считать такое редкое явление, как прорезание озовой гряды рекой: в том месте, где это наблюдается, р. Межево меняет обычное широтное направление своего течения на меридиональное и течет в границах каньоноподобной долины. Крутизна склонов оза колеблется в пределах 10–30°, приближаясь к 45°; максимальная высота составляет около 35–40 м (рисунок 3).



**Рисунок 3. – Южный склон озовой гряды
в пределах ландшафтного заказника местного значения
«Межевская озовая гряда» (фото И. А. Красовской)**

Вдоль обеих сторон гряды простирается болото, которое изначально, при таянии пассивного льда, было местом аккумуляции озерных вод. В северной части заказника, около подошвы озовой гряды, еще сохранилось маленькое реликтовое озерцо.

Межевская озовая гряда по типу отложений, участвующих в ее строении, принадлежит к смешанным флювиогляциально-лимногляциальным озам. Гряда в основном состоит из мелкозернистых песков, ритмично переслаивающихся с тонкозернистыми песками и серыми пылеватыми супесями (аледритами), содержащими тонкие прослойки шоколадных глин. Тонкие пески почти во всей толще слоистые, с текстурами ряби течения. Более грубый состав песков в виде прослоев и линз песчано-гравийных отложе-

ний наблюдается в верхней части озовых отложений. Перекрывается эта толща слоем т. н. перигляциальных образований с текстурами мерзлотных деформаций – псевдоморфозами по ледяным жилам, ледяными котлами, криотурбациями и более редкими валунными кольцами [2]. Моренная покрывка отсутствует как на гребне озовой гряды, так и на ее крыльях. Такое достаточно простое геологическое строение озовой гряды усложняется на более широких ее участках.

Гидрология заказника представлена р. Межева, которая является его естественной южной границей; непосредственно к восточной границе площади примыкает оз. Межево.

Река Межево (левый приток р. Нища) вытекает из оз. Межево, в 0,5 км к востоку от д. Межево Россонского района. Длина реки составляет более 8 км (до места впадения в оз. Мылинское), ширина 6–8 м. Средний уклон водной поверхности – 0,2 ‰.

Озеро Межево относится к бассейну р. Межево. Берега песчаные и песчано-глинистые, преимущественно низкие (на севере и юго-западе местами высокие), поросшие кустарником и редколесьем, местами лесом. Мелководье узкое (в заливах обширное), песчаное, глубже дно илистое и сапропелистое. Наибольшие глубины находятся в центральной части озера, ближе к южному берегу самого большого острова. Зарастает незначительно. Вытекает р. Межева, соединяющая озеро с оз. Мылинское. Из оз. Шевино впадает р. Ершовская. Впадает пять ручьев. Имеется чьеыре острова общей площадью 5 га. Площадь зеркала – 2,12 км² (по другим данным – 2,06 км²), длина – 2,82 км, наибольшая ширина – 1,36 км, максимальная глубина – 3,3 м, длина береговой линии – около 10,5 км. Объем воды около 4,71 млн. м³, площадь водосбора – около 86 км².

К западу от Межевской озовой гряды располагается геологический памятник природы местного значения «Озовая гряда Рыли» – одна из ярких и ценных форм рельефа Россонщины. Памятник природы находится в 0,5 км к юго-западу от д. Рыли, в 5 км к западу от д. Горбачево и в 8 км к северо-востоку от г. п. Россоны; размещен в северной части Россонского района, к юго-западу от оз. Шевино (рисунок 4).

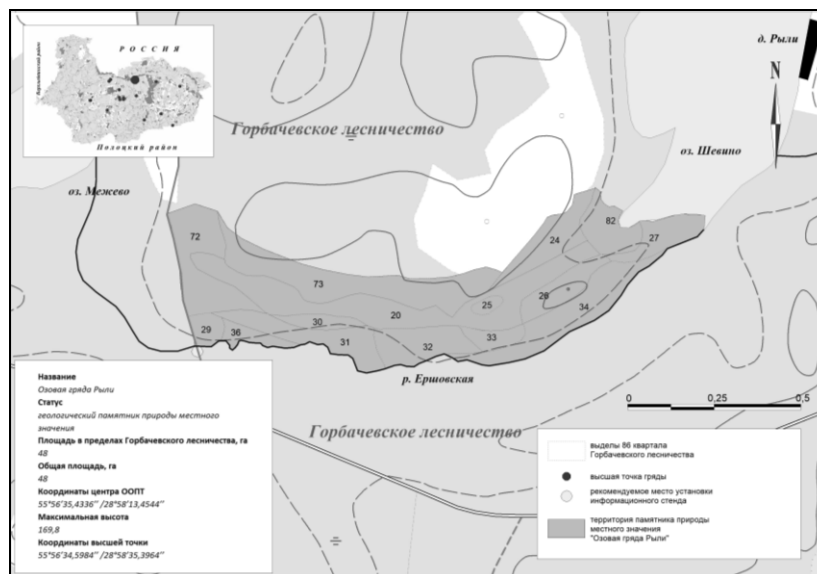


Рисунок 4. – Ситуационная схема геологического памятника природы «Озовая гряда Рыли»

Памятник представляет собой озовую гряду (рисунок 5), которая протягивается в субширотном направлении на юго-запад от оз. Шевино вдоль долины и параллельно

долине р. Ершовская. Абсолютные отметки поверхности в границах памятника колеблются от 144,1 (урез воды в оз. Шевино) до 169,8 м над уровнем моря. Амплитуда колебания высот составляет 25,7 м. Длина гряды составляет около 1,2 км, ширина по подошве – от 0,1 до 0,2 км. Относительная высота ее над уровнем воды в оз. Межево колеблется от 10 до 25,7 м. Вершина формы округлая, достаточно узкая (10–15 м), гребень волнистый. Крутизна склонов зависит от относительной высоты и колеблется в пределах 10–30°, но в некоторых случаях, например, на берегу оз. Шевино, приближается к максимальной – 45° (рисунок 5).



Рисунок 5. – Фрагмент памятника природы «Озовая гряда Рыли». Центральная часть южного склона (фото И. А. Красовской)

Озовая гряда «Рыли» имеет отличную морфологическую выразительность. Ее можно рассматривать в качестве одной из наиболее отличительных форм рельефа Россонского района. Она является частью продолжительной озовой гряды, составляющей основу вышеназванного ландшафтного заказника – «Межевской», которая прослеживается далеко на десятки километров к северо-западу от оз. Межево и переходит на территорию Псковской области Российской Федерации. Вдоль склонов этой гряды, как и других озовых гряд, отмечаются понижения в рельефе, в которых во времена формирования таких гряд находились поля мертвого льда, обычно погребенные под более или менее мощным слоем ледниковых отложений.

В настоящее время приозовые понижения, в основном заболоченные, заняты озерами или долинами небольших рек. В окрестностях гряды «Рыли» можно наблюдать все три случая: с северо-востока она ограничена озером Шевино; участок, расположенный к северу от гряды, заболоченный, с небольшим озерцом в середине болота; с южной стороны гряды протекает р. Ершовская, соединяющая оз. Шевино с оз. Межево. Она имеет длину около 2 км и вид типичной проточной реки. Интересно, что ее фауна моллюсков состоит из озерных и эвроэкологических видов при полном отсутствии речных представителей. Это свидетельствует о том, что водоток только по форме является рекой, а по сути – озерная протока.

Озовая гряда «Рыли» по типу отложений, участвующих в ее строении, принадлежит к смешанным флювио- и лимногляциальным озам. Гряда в основном состоит

из мелкозернистых песков, ритмично переслаивающихся с тонкозернистыми песками и серыми алевритами, содержащими тонкие полоски шоколадных глин.

Пески почти во всей толще слоистые, с текстурами ряби течения. Более грубый состав песков в виде прослоев и линз песчано-гравийных отложений наблюдается в верхней части озовых отложений. Перекрывается эта толща слоем перигляциальных образований с текстурами мерзлотных деформаций – псевдоморфозами по ледяным жилам, ледяными котлами, криотурбациями и др. Моренная покрывка отсутствует как на гребне гряды, так и на ее крыльях. Такое достаточно простое геологическое строение этой озовой гряды усложняется на более широких ее участках.

Так, в восточной части гряды к ее северному склону присоединяется озовая «лимногляциальная терраса», выполненная ленточными глинами, в то время как к южному склону присоединяется «фливиогляциальная терраса», в строении которой преобладают грубые песчано-гравийные отложения с галькой и мелкими валунами. Это свидетельствует о том, что при окончательном формировании гряды с одной ее стороны существовало приледниковое озеро, а с другой – достаточно мощный поток воды, который мог переносить грубый материал и даже небольшие валуны.

В результате проведенных на территории северной части Россонского района исследований наличие участков, существенно нарушенных антропогенной деятельностью, установлено не было. Отмечено, что характерные формы рельефа, лесные и водноболотные угодья находятся в хорошем естественном состоянии и представляют несомненный интерес в качестве особо охраняемых территорий местного значения.

Заключение

Межевская озовая гряда и гряда «Рыли» являются представителями форм рельефа неподвижного (мертвого) льда. Их возникновение связывается с интервалом времени от 16 до 13 тыс. лет назад, когда поозерский материковый ледник оставил или еще только покидал пределы Беларуси. По нашему мнению, эта крупная форма, теряющаяся где-то среди озер Псковской области России, соответствует контурам грандиозной и притом необыкновенно широкой трещины в полосе пассивного льда, в которую в основном и сгружался освободившийся материал. Если судить по строению и составу отложений, формирование гряды проходило в спокойной гидродинамической обстановке. Но в заключительный момент, когда ледяные перемычки исчезали, бурные потоки воды текли между ледяной стеной и склоном уже сформированной в основных своих параметрах гряды. На противоположном борту оза в это время могло еще существовать приледниковое озеро.

Проведенные научным коллективом исследования подтвердили ценность и хорошее состояние природных комплексов на территории заказника и геологического памятника, важность этих объектов для познания геологического прошлого Земли, эффективность сложившегося землепользования и стабильность социально-экономических условий. Как следствие, полученные результаты дают основание считать целесообразным объединение рассмотренных территорий в существующих границах и объявления на этой площади (включая озера Межево и Шевино) единой особо охраняемой природной территории с сохранением режима ландшафтного заказника местного значения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нацыянальны атлас Беларусі / гал. рэдкал.: М. У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск : Кам. па зям. рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь, 2002. – 292 с.

2. Природа Беларусі на рубяже тысячацеліў / В. М. Байчорав [і др.] ; редкол.: А. А. Коваленя [і др.]. – Мінск : Беларус. навука, 2020. – 367 с.

3. Фізическая геаграфія Віцебскай абласці [Электронны рэсурс] : учеб. пособие для студэнтаў устаноў вышэйшага адукацыі па спецыяльнасці «Геаграфія (па напраўленнях)» / А. Н. Галкін [і др.] ; пад ред. А. Н. Галкіна. – Віцебск : ВГУ ім. П. М. Машэрава, 2021. – 234 с. – Режим доступа: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/30798>. – Дата доступа: 07.09.2022.

REFERENCES

1. Nacyjonal’ny atlas Bielarusi / hal. redkal.: M. U. Miasnikovich [i insh.]. – Minsk : Kam. pa ziam. resursakh, hieadezii i kartahrafii pry Saviecie Ministrau Resp. Bielarus’, 2002. – 292 p.

2. Priroda Bielarusi na rubiezhe tysiachielietij / V. M. Bajchorov [i dr.] ; riedkol.: A. A. Kovalienia [i dr.]. – Minsk : Bielarus. navuka, 2020. – 367 s.

3. Fizichieskaja gieografija Vitiebskoj oblasti [Eliكتروнный ресурс] : uchieb. posobije dlia studentov uchriezhdienij vysshego obrazovanija po spicial’nosti «Gieografija (po napravlienijam)» / A. N. Galkin [i dr.] ; pod ried. A. N. Galkina. – Vitiebsk : VGU im. P. M. Masherova, 2021. – 234 s. – Riezhim dostupa: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/30798>. – Data dostupa: 07.09.2022.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 10.10.2022

УДК: 551.4.042 (476)

**Александр Илларионович Павловский¹, Александр Николаевич Галкин²,
Владимир Леонидович Моляренко³, Светлана Владимировна Андрушко⁴**

¹канд. геогр. наук, доц., зав. каф. геологии и географии
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

²д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. каф. географии

Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

³ст. преподаватель каф. геологии и географии

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

⁴канд. геогр. наук, доц., доц. каф. геологии и географии

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

Alexander Pavlovsky¹, Alexander Galkin², Vladimir Molyarenko³, Svetlana Andrushko⁴

¹Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Geology and Geography

of the Francisk Skorina Gomel State University

²Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,

Professor of Department of Geography

of the Vitebsk State University named after P. M. Masherov

³Senior Lecturer of the Department of Geology and Geography

of the Francisk Skorina Gomel State University

⁴Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Geology and Geography

of the Francisk Skorina Gomel State University

e-mail: ¹aipavlovsky@mail.ru; ²galkin-alexandr@yandex.ru; ³molyarenko-vova@bk.ru;

⁴sandrushko@list.ru

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКЗОГЕННОЙ ДИНАМИКИ РЕЛЬЕФА БЕЛАРУСИ

Проведена геоморфологическая оценка территории в инженерных целях, включающая общий геоморфологический анализ рельефа и его морфогенетическую характеристику. Рассмотрены основные экзогенные геоморфологические процессы, получившие широкое развитие на территории Беларуси. Выделены три типа территорий по геоморфологической устойчивости: устойчивые, условно устойчивые и неустойчивые и крупные речные долины.

Ключевые слова: экзогенная динамика рельефа, рельефообразующие процессы, инженерная деятельность человека, геоморфологическая устойчивость территории, типизация территории, типы территорий.

Engineering and Geomorphological Assessment of the Exogenous Dynamics of the Relief of Belarus

A geomorphological assessment of the territory for engineering purposes was carried out, including a general geomorphological analysis of the relief and its morphogenetic characteristics. The main exogenous geomorphological processes that have been widely developed on the territory of Belarus are considered. Three types of territories are distinguished according to geomorphological stability: stable, conditionally stable and unstable, and large river valleys.

Key words: exogenous dynamics of the relief, relief-forming processes, human engineering activities, geomorphological stability of the territory, typification of the territory, types of territories.

Введение

Закономерности проявления процессов изменения рельефа земной поверхности изучаются рядом наук о Земле. Их синтез в настоящее время осуществляется в рамках динамической геоморфологии – научного направления геоморфологии, изучающей морфолитодинамику.

Анализ рельефа любой территории в инженерно-геоморфологических целях предполагает определение его геодинамической устойчивости. Ее характеристика должна включать в себя количественную оценку как эндогенных, так и экзогенных процессов, которые изменяют положение дневной поверхности или нарушают структуру пород в приповерхностной части литосферы.

Динамика рельефа – это направление и скорость изменения его морфологических и морфометрических характеристик (плановые очертания, положение форм в пространстве, абсолютные высоты, глубина и густота расчленения и т. д.). Такие изменения происходят в результате воздействия на рельеф различных геоморфологических процессов или их комплексов, которые способны механически перемещать целые массивы грунтов или оказывать химическое воздействие на горные породы. К таким процессам относятся эндогенные (тектонические движения, землетрясения и др.) и экзогенные (склоновые, флювиальные, эоловые, карстовые и др.). Это в основном рельефообразующие процессы, в результате деятельности которых рельеф изменяется с различной скоростью. Анализ и оценка его устойчивости является одним из видов инженерно-геоморфологической оценки территории [1].

Для равнинных территорий характерны относительно медленные изменения основных характеристик рельефа земной поверхности, что благоприятно для инженерного освоения, хотя и в их пределах есть такие участки, где рельеф поверхности меняется в течение короткого времени. Быстро протекающие процессы часто являются катастрофическими и не только вызывают трансформацию рельефа, но и наносят значительный экономический ущерб.

В инженерной геологии есть научное направление «инженерная геодинамика», изучающее современные геологические процессы, имеющие значение при оценке отдельных регионов в целях их инженерно-хозяйственного освоения, а также древние геологические процессы, оказавшие определенное влияние на геологическое строение территории [2]. Инженерная геодинамика позволяет решать вопросы строительства сооружений в различных геологических условиях, созданных разнообразными, главным образом экзогенными и некоторыми эндогенными геологическими процессами, происходящими на поверхности Земли и в верхних горизонтах земной коры, а также осуществлять прогноз возникновения геологических процессов, связанных с инженерной и хозяйственной деятельностью человека, которые получили название «инженерно-геологические процессы».

В то же время следует подчеркнуть, что это процессы не только инженерно-геологические, но и рельефообразующие. В силу этого они изучаются не только геологами, но и геоморфологами. Каждый из этих процессов и его проявление настолько своеобразны, что в большинстве случаев лишь только по рельефу удастся однозначно выделить тот или иной тип процесса. И чем сильнее его геодинамический эффект, тем лучше он выражен в рельефе. Поэтому геоморфологический анализ этих процессов может быть использован как метод в инженерно-геологических исследованиях и его можно рассматривать как метод инженерно-геоморфологической индикации [1].

Материалы и методы исследования

Геоморфологическая оценка территории в инженерных целях должна включать в себя как общий геоморфологический анализ рельефа, так и его морфогеодинамическую характеристику. В геоморфологических исследованиях указанных явлений следует предварительно разделить эти процессы на эндогенные и экзогенные, рассмотреть их сначала отдельно и лишь затем определить их взаимозависимость и взаимное влияние. При изучении эндогенных явлений выполняется анализ степени их отражения

в рельефе, а при изучении экзогенных процессов рельефообразования осуществляется анализ действующего процесса.

Необходимо отметить, что для Беларуси, расположенной в пределах относительно стабильной платформы и имеющей равнинный рельеф, наиболее важное значение имеет экзогенная динамика рельефа, т. к. эндогенные процессы не столь активно влияют на инженерное освоение территории. В основу работы положены многолетние исследования современных геоморфологических процессов на территории Беларуси. Для изучения экзогенного морфогенеза широко применяются дистанционные, полевые, расчетные и стационарные методы исследований.

Результаты и их обсуждение

Для оценки и прогноза инженерной деятельности человека особый интерес представляют экзогенные процессы, которые находят отражение в рельефе или проявляют свою интенсивность в зависимости от особенностей его строения и получили развитие на территории Беларуси. К таким процессам следует прежде всего отнести флювиальные, гравитационные, карстовые, суффозионные процессы, переработку берегов водоемов, просадочность лессовых пород, затопления (наводнения) и др.

Флювиальные процессы. По масштабности и интенсивности на территории Беларуси наиболее значительна роль флювиального рельефообразования. Все многообразие процессов, связанных с взаимодействием поверхностных текучих воды и подстилающих горных пород представляет собой в совокупности единый эрозионно-аккумулятивный цикл, включающий три главных звена:

1) плоскостные и ручейковые потоки, стекающие со склонов, производящие плоскостную эрозию и аккумуляцию склоновых шлейфов;

2) временные русловые потоки, осуществляющие линейную (овражную) эрозию и аккумуляцию, развитие которой представляет собой самовозбуждающийся процесс и сосредоточенную аккумуляцию в виде конусов выноса;

3) постоянные русловые потоки (реки), формирующие в ходе геологической истории речные долины, образующиеся в результате комплекса эрозионно-аккумулятивных трансформаций форм руслового рельефа.

Плоскостной смыв, являясь верхним звеном единого эрозионно-аккумулятивного цикла, проявляется примерно на 70 % территории республики. На склонах, имеющих крутизну до 2°, смыв рыхлого материала идет слабо, при крутизне склонов от 2 до 4–5° становится достаточно заметным и формируется первичная ручейковая сеть, на склонах крутизной от 4–5 до 7–8° и более эти процессы проявляются интенсивно и повсеместно. Развитие того или иного типа ручейковой сети определяет баланс продуктов размыва на различных участках склона, складывающийся из поступления и выноса. Так, в привершинных частях склонов, где нет поступления материала с лежащих выше участков, всегда расположена зона смыва. Интенсивность последнего возрастает с увеличением крутизны, а также на участках, расположенных ниже зон аккумуляции, обусловленной повышенной шероховатостью поверхности. По мере насыщения потока продуктами эрозии (при постоянном уклоне) на склоне возникают зоны транзита, где смыв отсутствует. У подножия склонов ручейки образуют многочисленные сливающиеся конусы выноса, на которых происходит потеря скорости водным потоком и аккумулируется значительная часть взвешенного материала. Таким образом формируются делювиальные шлейфы из материала, снесенного с вышерасположенных частей склона.

Интенсивность смыва с используемых в хозяйственном обороте земель изменяется от 0 до 7–10 мм, составляя в среднем 0,42 мм в год. Максимальные среднегодовые значения плоскостного смыва со склонов (до 10 мм) характерны для краевых леднико-

вых образований. Это прежде всего Гродненская, Волковысская, Новогрудская, Минская, Оршанская и Мозырская возвышенности [3].

При определенных условиях на различных стадиях эрозионно-аккумулятивного цикла возникают, формы линейной эрозии. В Беларуси земли, подверженные линейной эрозии, занимают площадь более 14 тыс. км², что составляет примерно 6,7 % всей территории. Это в основном районы длительного и интенсивного хозяйственного освоения. Общее количество форм линейной эрозии (овраги, балки) превышает 32 тыс., из них 13 % – активно развивающиеся овраги. Линейные скорости роста оврагов на территории республики составляют в среднем 0,3–3,5 м/год. Особенно широко линейная эрозия развита в пределах краевых ледниковых возвышенностей: Минской, Новогрудской, Мозырской, Оршанской, Ошмянской, Витебской, Гродненской, Слонимской, Волковысской и др. Значительные участки с развитием форм линейной эрозии встречаются на моренных и флювиогляциальных равнинах (Оршано-Могилевская, Чечерская и др.), а также в прибортовых частях речных долин Днепра, Западной Двины, Немана, Березины, Вихры и др. [3].

Эрозионные процессы, вызванные плоскостным и временным русловым стоком, формируются за счет дождевых и талых вод и питают постоянные русловые потоки – реки и ручьи, для которых характерно непрерывное взаимодействие между горными породами и текучей водой в виде речной (русловой) донной и боковой эрозии. Последнее звено – постоянные русловые потоки (реки) – формируют в ходе геологической истории речные долины. Режим движения воды в постоянных водотоках, как правило, является турбулентным, поскольку скорость течения в них превышает 0,5–2,5 м/с (для сравнения: скорости при ламинарном течении составляют порядка 0,1–0,7 м/с) [4].

Общая протяженность речной сети на территории Беларуси составляет порядка 90 тыс. км [5]. Реками осуществляется значительная эрозионно-аккумулятивная работа, заключающаяся в эрозии, транспорте и аккумуляции наносов. Прогнозная оценка интенсивности проявления процесса эрозии может быть осуществлена на основе использования близких по физической сущности показателей: числа Лохтина (Л) и коэффициента стабильности Н. И. Маккавеева (Кс).

Число Лохтина определяется по формуле

$$Л = d/I,$$

где d – крупность аллювия (донных отложений), мм; I – уклон русла, %.

Коэффициент стабильности (Кс) рассчитывается по формуле

$$Кс = d/bI,$$

где b – ширина русла реки, м.

С помощью этих показателей, характеризующих устойчивость русла по отношению к эрозионным процессам, можно оценить опасность проявления русловых процессов.

Анализ уклонов русла и гранулометрического состава аллювия позволил выделить 12 участков в русле Западной Двины для расчета числа Лохтина и коэффициента стабильности русла Н. И. Маккавеева (таблица 1), а также рассчитать интенсивность русловых деформаций (таблица 2).

Таблица 1. – Классификация русла по опасности размыва берегов [6]

Степень опасности	Опасность, баллы	Устойчивость		Интенсивность русловых деформаций	
		Л	Кс	С, м/год	С _{max} , м/год
Умеренная (относительно устойчивые русла)	2	<3	<50	>1,8	>5
Слабая (устойчивые русла)	1	>3	>50	<1,8	<5

Каждое звено эрозионно-аккумулятивного цикла имеет большое значение для формирования инженерно-геологических условий территорий, поэтому они изучаются в отдельности, хотя переходы из одного вида в другой происходят постепенно, без резких границ и строгих классификационных признаков, определяя тем самым непрерывность процесса.

В то же время эти процессы наряду с непрерывностью имеют прерывистый характер. Их прерывность выражается в том, что они подразделяются на структурные уровни, относящиеся друг к другу как часть целого. Данные процессы качественно отличны друг от друга, поскольку охватывают разные по размеру площади, проявляют себя в рельефе за неодинаковые промежутки времени и приводят к образованию форм, различающихся по своим размерам, степени динамичности и возрасту.

Таблица 2. – Значения количественных параметров расчета устойчивости русла по выделенным участкам русла Западной Двины [6]

Характеристика	Участки											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Уклон, ‰	0,17	0,26	0,21	0,1	0,2	0,09	0,09	0,11	0,05	0,08	0,14	0,08
Крупность аллювия, мм	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5
Ширина русла, м	102	84	54	60	66	60	62	66	78	111	120	160
Число Лохтина	2,9	1,9	1,2	5,0	1,3	2,8	2,8	2,3	5,0	6,3	3,6	6,3
Коэффициент стабильности русла Н. И. Маккавеева	28,8	22,9	22,1	83,3	18,9	46,3	44,8	34,4	64,1	56,3	29,8	39,1
Скорость размыва берегов, м/год	0,68	1,10	1,81	0,44	3,06	1,40	1,44	1,84	2,29	1,86	3,30	1,99
Максимально возможные размывы берегов, м/год	1,95	3,17	5,22	1,27	9,52	4,36	4,49	5,73	4,41	3,58	6,36	3,83
Опасность, баллы	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1

Гравитационные (склоновые) процессы. Изучению склонов и склоновых процессов отводится особое место в инженерной геоморфологии, поскольку на Земле практически нет абсолютно горизонтальных поверхностей, а рельеф земной поверхности состоит из сочетания склонов различной крутизны и экспозиции. Склонами называют участки земной поверхности с углом наклона более 1–2°, на которых рыхлый материал образуется в результате процессов выветривания и смещается в виде грунтового потока. Причины и механизмы перемещения склонового чехла могут быть различными и зависят от склоновых процессов, которые, в свою очередь, регулируются тектоникой, геологическим строением, климатом, водным режимом местности и другими факторами.

Процессы, протекающие на склонах, ведут к удалению, перемещению, а при благоприятных условиях – к накоплению продуктов выветривания, т. е. к образованию как выработанных, так и аккумулятивных форм рельефа. Склоновая денудация – один из основных экзогенных факторов формирования рельефа и поставщик материала, из которого потом образуются различные генетические типы отложений.

На территории республики распространены следующие гравитационные процессы: крип, обвалы, осыпи, оползни. Крип проявляется практически повсеместно и представляет собой медленное перемещение грунтов на склонах под влиянием силы тяжести в процессе колебаний температуры и влажности. Скорости перемещения грунтовых толщ изменяются в пределах от 0 до 10–40 мм в год, реже – до 100 мм в год. Он затрагивает слой поверхностных отложений до глубины 0,5–0,7 м и морфологически проявляется в виде террасет, разрывов сплошности дернины.

Обвально-осыпные и оползневые процессы развиты не столь широко. Наиболее распространены различные типы оползней, развивающиеся в осадочных песчано-

глинистых породах, например, в моренных, в искусственных намывных или насыпных образованиях и др. (таблица 3). Они формируются на относительно высоких и крутых склонах, характеризуются большой глубиной захвата пород склона и приурочены к высоким и крутым склонам долин Днепра, Западной Двины, Немана и их крупных притоков, холмов и возвышенностей, глубоких оврагов (например, в Витебске, Гродно, Мозыре и др.), а также на отвалах вскрышных пород (карьер «Гралево») и насыпях. Объемы перемещаемых массивов грунта изменяются в пределах сотен м³, реже – первых тысяч м³.

Таблица 3. – Сопоставление существующих классификаций оползней по типам их механизма [7]

Авторы и год опубликования						
	Д. Варнес, 1958	М. К. Рзаева, 1969	Г. С. Золотарев и др., 1970	К. А. Гулакян, В. В. Кюнтцель, 1970	Д. Варнес, 1978	В. В. Кюнтцель, 1980
Типы оползней	Скольжения	Блочные, срезающие	Соскальзывания (консеквентные)	Скольжения	Скольжения	Скольжения
		Соскальзывания				
		Сползания				
	Течения	Выдавливания (одесского типа)	Выдавливания (детрузивные)	Выдавливания	Выдавливания	Выдавливания (сдвига)
		Суффозионные, выплывания	Выплывания Суффозионные	Выплывания		Выплывания
		Просадочные	Потоки и сплывы	Проседания		Течения
	Потоки (течения, оползания)	Разжижения		Течения	Течения (потоки)	
	Сплывы, оплывины		Разжижения		Разжижения	Разжижения
Норвежского типа	Разжижения	Разжижения		Разжижения		

Карстовый процесс. Геоморфологи рассматривают карст как геоморфологическое явление и интересуются лишь поверхностными и подземными карстовыми формами, геологи понимают карст как полигенетический процесс, включающий растворение, размыв и обрушение пород, для инженер-геологов и гидрогеологов карст – единство процесса и явления [7].

Растворимые породы могут находиться у дневной поверхности, т. е. непосредственно обнажаться, или быть задернованными и покрытыми рыхлыми образованиями небольшой мощности, или залегать на той или иной глубине среди нерастворимых пород того же возраста, или быть перекрытыми более молодыми образованиями. В соответствии с этим в первом случае получает развитие поверхностный (открытый) карст, проявляющийся заметно, сильно, ярко в рельефе местности, во втором – закрытый карст с характерными для него образованиями в виде воронок, просасывания на поверхности пустот, каналов, пещер и других подземных форм в карстующихся породах. При инженерно-геоморфологической оценке территорий и условий строительства различных сооружений важно знать условия залегания закарстованных или карстующихся пород, т. е. тип карста.

В пределах Беларуси карстующиеся породы представлены в разрезе платформенного чехла известняками, доломитами, мергельно-меловыми толщами и галоидными породами. Распространен закрытый карст, который характерен для восточной

и юго-западной частей республики. Карст является одним из процессов, представляющих большую проблему при инженерно-геоморфологической оценке территорий и условий строительства сооружений. Поэтому при проектировании любого вида строительства в карстовых районах инженерно-геоморфологическое обоснование должно быть детальным и обстоятельным.

Суффозионный процесс. Под суффозией понимают процесс механического выноса тонкодисперсного материала из породы, который заполняет трещины и полости фильтрационным потоком просачивающихся поверхностных и подземных вод. Этому процессу подвержены преимущественно пылеватые и мелкозернистые пески, лессовые и (реже) пылевато-глинистые грунты. В глинистых породах, не имеющих крупных, сообщающихся друг с другом пор, внутренний размыв породы может происходить по трещинам, образующимся в результате процесса выветривания, или по ходам земляных животных и корневой системы древесной растительности.

На территории Беларуси суффозия – один из довольно распространенных экзогенных процессов, встречается примерно на 1/4 всей площади. Благоприятные условия для ее развития складываются в пределах равнин и низин (Лучосинской, Горецкой, Могилевской, Костюковичской, Чечерской, Стрешинской, Хойникской и др.), а также возвышенностей (Минской, Новогрудской, Оршанской, Копыльской, Мозырской и др.) с покровом лессовидных образований. Наиболее характерными последствиями ее проявления являются западины и блюдца, представляющие собой неглубокие, овальной или грушеобразной, чаще округлой формы понижения. Они встречаются практически во всех районах распространения лессовидных отложений, за исключением Мозырской возвышенности, где процессы суффозии формируют колодцы, связывающие их каналы и далее в результате провалов – овраги.

Основными движущими силами, вызывающими развитие суффозии, являются либо большие скорости движения фильтрационного потока, который вымывает частицы грунта, либо возникающее гидродинамическое давление в фильтрационном потоке. Все суффозионные проявления можно разделить на две категории – поверхностные (открытые) и подземные (закрытые). Первые представляют собой, как правило, отрицательные формы рельефа, а вторые – структурные элементы массива горных пород.

Поверхностные проявления четко выражены в рельефе и легко поддаются идентификации. В зависимости от строения земной поверхности они принимают различные формы и могут быть как аккумулятивными (конусы суффозионного выноса), так и деструктивными (поноры, провалы, оседания, овраги). Подземные проявления – это, по сути, структурные элементы массива горных пород. Они подразделяются на четыре типа в зависимости от морфологических особенностей и происхождения: полости (пещеры, тоннели), псевдопльвинные зоны, зоны разуплотнения и зоны дезинтеграции [8].

Суффозия часто возникает на склонах речных долин и по берегам водохранилищ. Она нарушает устойчивость склона и тем самым способствует возникновению оползней.

Переработка берегов водоемов. Берега водоемов постоянно изменяют свои очертания под воздействием волнений, приливов и отливов, вдольбереговых и направленных течений, а также вследствие физического и химического воздействия воды и живущих в ней организмов на горные породы, слагающие берега.

Процесс изменения очертаний берегов водоемов в результате их разрушения под воздействием главным образом волноприбойной деятельностью называется абразией (от лат. abrasio – соскабливание). Важнейшим условием, предопределяющим абразионное развитие берега, является крутизна исходного откоса прибрежной части дна водоема. Абразия создает на берегах абразионную террасу, или бенч, и абразионный уступ, или клиф. Образующиеся при этом в результате разрушения горных пород песок, гра-

вий, галька могут вовлекаться в процессы перемещения наносов и служить материалом для образования береговых аккумулятивных форм. Часть материала сносится волнами и течениями к подножию абразионного подводного склона, образуя здесь прислоненную аккумулятивную террасу.

На территории Беларуси абразию можно наблюдать на северо-восточных берегах озер Нарочь и Мястро, на берегах водохранилищ Вилейское, Вяча, Заславское, Лепельское, Осиповичское, Погост и др. По оценкам специалистов, из 120 эксплуатируемых водохранилищ в Беларуси с суммарной длиной береговой линии около 1 300 км, от 30 до 40 %, а в некоторых случаях до 70 % составляют берега абразионного типа. Ширина зоны переработки в зависимости от различных факторов колеблется в среднем за период эксплуатации от 5 до 20 м, достигая местами 33 м (вдхр. Лепельское). При этом объемы размываемого грунта могут составлять от 4 до 57 м³ на метр погонной длины.

Среди основных факторов, определяющих динамику формирования берегов морей, озер и водохранилищ, выделяются геологические, геоморфологические, гидрологические, климатические и техногенные. Абразия может также быть парагенетически связана с целым комплексом других экзогенных процессов и явлений, которые активизируются вследствие развития абразии. К таковым относятся прежде всего склоновые процессы – оползни, обвалы, осыпи. Особенно интенсивно абразия развивается в регионах, испытывающих неотектонические движения.

Просадочность лессовых пород. Согласно В. Т. Трофимову, под просадочным процессом понимают реализацию в пространственно-временной системе просадочных свойств лессовых пород под действием их собственного веса или дополнительной нагрузки при увеличении их влажности до значений, превышающих влажность начальной просадочности, вследствие природных и антропогенных (техногенных) причин [9].

Глинистые породы, обладающие признаками и свойствами лессов, но отличающиеся от них по условиям образования (например, делювиальные, пролювиальные и др.), обычно относят к типу лессовидных. Однако установление генезиса лессовидных пород часто бывает затруднительным, и поэтому отделение их от лессов практически всегда носит условный характер. Это в основном и явилось причиной существования различных точек зрения на условия их образования в тех или иных районах. Свойства лессовых пород, как и любых других осадочных, изменяются также под воздействием различных эпигенетических процессов, процессов выветривания, под влиянием инженерных сооружений и т. д. При инженерно-геологической оценке свойств лессовых пород и прогнозе их поведения под воздействием на них инженерных сооружений важно знать, из какого генетического типа осадков они образовались и какова степень измененности их свойств.

Лессовые породы, как отмечено выше, водонеустойчивы, они легко и быстро размокают и размываются. Поэтому в районах их распространения широко развиты овражно-балочные явления, быстро разрушаются берега рек, озер и водохранилищ, многочисленны оползни, сплывы, солифлюкционные подвижки и другие явления. Наиболее важная их особенность состоит в склонности многих их разновидностей к просадкам. При замачивании без увеличения нагрузки они нередко дают значительную дополнительную осадку (просадку) провального характера. Просадки развиваются сравнительно быстро (как бы мгновенно) и неравномерны по величине на разных участках. Поэтому при строительстве сооружений всегда возникает опасность нарушения их устойчивости и сохранности вследствие изменения влажностного режима лессовых пород. Все это создает особые условия строительства сооружений на лессовых породах.

В Беларуси занимаемая ими площадь составляет до 15 % всей территории страны. Распространены преимущественно лессовидные образования, типичные лессы про-

слеживаются только на небольших участках. Они имеют покровное залегание, подстилаются разнообразными по строению и составу флювиогляциальными, озерно-ледниковыми, ледниковыми, аллювиальными, озерными и другими генетическими аккумуляциями четвертичной толщи, распространены довольно крупными массивами и относительно небольшими островами в пределах самых различных геоморфологических элементов. Широкое развитие они получили в пределах пологих возвышенностей, на склонах гряд, холмов, часто встречаются на плоских водоразделах крупных рек. Мощность лессовых пород обычно небольшая и изменяется от 0,5 м на повышенных участках до 5–6 м и более в нижних частях склонов, котловинах и ложбинах стока. Основные площади лессовых пород находятся к югу от краевых ледниковых образований поозерского возраста. Преобладающие участки расположены между реками Днепр и Березина, а также Днепр и Сож. Широкое распространение они получили в пределах Минской и Новогрудской возвышенностей, Копыльской гряды. Развиты лессовые породы также на северо-восточных склонах Мозырской гряды, в основном на склонах, обращенных к Припяти, участками попадают в Полесье.

Затопление – это покрытие территории водой, вызванное естественными (разливы рек, обильные осадки, морские приливы) или искусственными (строительство водохранилищ, прудов и др.) причинами. Затопление само по себе не является собственно геоморфологическим процессом, а относится к категории климатических или гидрологических. Однако в результате затопления могут возникать или активизироваться комплексы экзогенных процессов, изменяющие рельеф затопленных территорий.

В инженерно-геологическом отношении затопление вызывает существенное нарушение естественного влажностного режима массивов грунтов и гидрогеологических условий территории. Происходящее при этом водонасыщение пород ведет к ослаблению или разрушению их структурных связей (особенно неводостойких), что выражается в развитии процессов размывания и размокания пород. Одновременно с этим происходит растворение пород за счет выщелачивания водорастворимых соединений и т. п. Вслед за изменениями в структуре и составе затопляемых горных пород происходит активизация связанных с этим экзогенных процессов и явлений: интенсивно развивается склоновая и плоскостная эрозия, суффозия, вдоль водотоков активизируется линейная эрозия, развиваются различные склоновые процессы и явления: оползни, сплывы, обвалы и т. п.

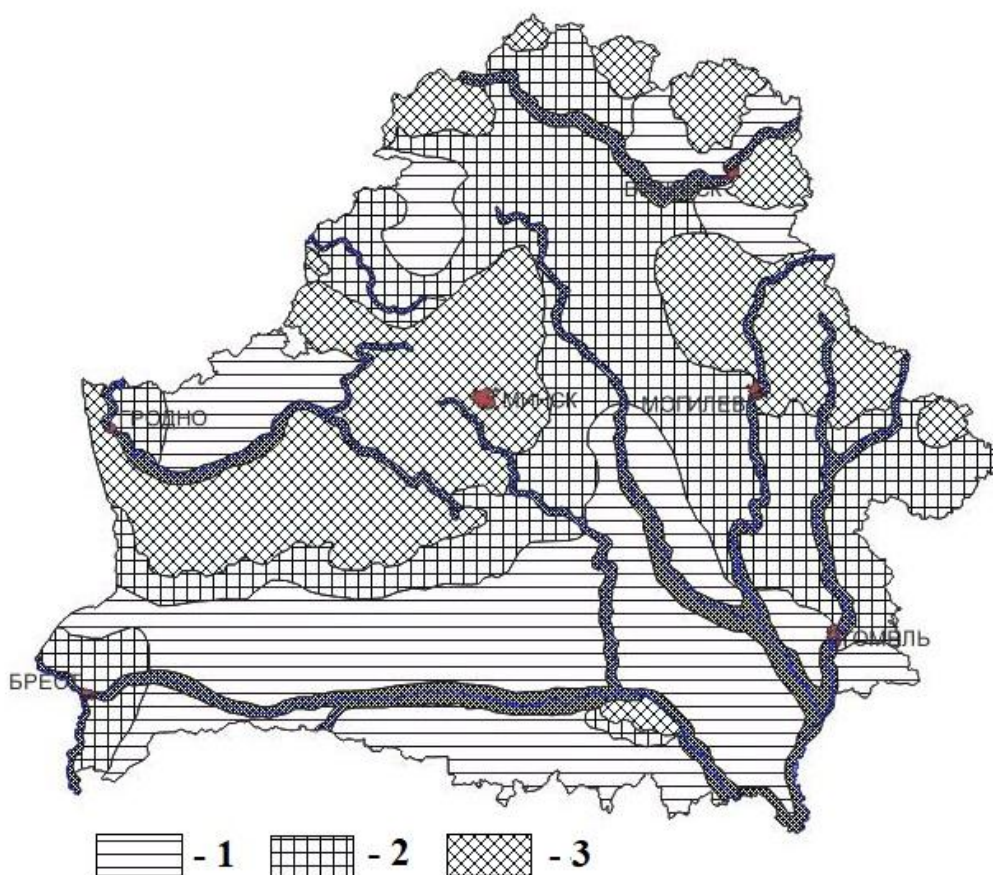
Геоморфологические условия речных бассейнов, гидрография (тип руслового процесса, режим стока и т. д.) в явном виде определяют возможность потенциального затопления речной долины и прилегающих территорий. Затоплению в первую очередь подвержены низкие участки речных долин – пойма, в редких случаях – надпойменные террасы. Крупные реки Беларуси характеризуются довольно высокими половодьями, высота которых сильно различается в зависимости от местных особенностей водосборов (рельеф, почвами, растительность, озерность, заболоченность и т. д.). Различия будут тем больше, чем меньше водосборы. В бассейнах с густой речной и овражно-балочной сетью стекание воды происходит быстрее, чем в условиях плоского рельефа. Поэтому в расчлененных водосборах половодье проходит более интенсивно, продолжительность его меньше, а максимальные расходы больше, чем в слабо расчлененных.

Инженерно-геоморфологическая оценка территории Беларуси. При инженерно-геоморфологической оценке геодинамической ситуации на той или иной территории следует исходить из представлений о том, что рельефообразующие процессы в природе действуют не независимо друг от друга, а образуют взаимосвязанные системы. Наличие прямых и обратных связей между этими явлениями служит основой того, что природа стремится к определенному уровню равновесия: когда действие одних факторов уравнивается действием других. Однако эта естественная уравни-

ность природных явлений не может быть синонимом инженерно-геоморфологической устойчивости территории, т. к. достигается на различных уровнях энергии рельефообразования. Геоморфологическая устойчивость территории – это свойство территории не изменять рельеф и рельефообразующие процессы в течение достаточно продолжительного периода времени. В силу этого геодинамически благоприятной в инженерном смысле окажется лишь та геоморфологическая обстановка, в которой равновесие рельефообразующих процессов достигнуто на низком уровне энергии рельефообразования.

Наличие в природе строго определенных взаимосвязей обуславливает комплексную оценку всей системы рельефообразования на каждой из исследуемых территорий. Этот комплексный подход обычно реализуется при геоморфологическом районировании или типизации исследуемой территории. Теоретической основой таких оценок должен служить системный подход. Геоморфологические системы характеризуются закономерным сочетанием элементов рельефа, связанных с ними рыхлых отложений и комплекса процессов, осуществляющих образование и преобразование рельефа. В качестве геоморфологических систем нами рассматривались речные бассейны, состоящие из множества элементарных морфосистем.

На основании общего геоморфологического анализа и оценки динамики рельефообразующих процессов разработана типизация территории Беларуси по геоморфологической устойчивости (рисунок). Выделены три типа территорий по геоморфологической устойчивости (устойчивые, условно устойчивые и неустойчивые) и отдельно крупные речные долины.



1 – устойчивые территории, 2 – условно устойчивые территории,
3 – неустойчивые территории

Рисунок. – Типы территорий по геоморфологической устойчивости

Основные характеристики типов территорий представлены в таблице 4. *Устойчивые территории* практически не имеют ограничений в инженерном освоении и не требуют специальных мероприятий по инженерной защите объектов. Это в основном равнинные территории Полесья и Поозерья, частично – северо-запада республики.

Условно устойчивые территории предполагают комплекс мероприятий по инженерной защите объектов как в период строительства, так и в процессе эксплуатации. К ним относятся сильно сдунудированные краевые комплексы в пределах равнин Предполесья, а также значительные территории в пределах периферии краевых ледниковых возвышенностей Центральной Беларуси, Поозерья и востока республики.

Таблица 4. – Типизация территории Беларуси по геоморфологической устойчивости

Инженерно-геоморфологические характеристики	Типы территорий по геоморфологической устойчивости			
	Устойчивые (I)	Условно устойчивые (II)	Неустойчивые (III)	Речные долины
Вертикальное расчленение, м/км ²	<5	5,0–15,0	15,0–40,0	5,0–40,0
Горизонтальное расчленение, км/км ²	<0,4	0,4–0,7	>0,7	>0,7
Уклоны (градусы)	<2	2–4	>4	>4
Длина склонов, км	>0,6	0,6–0,4	<0,4	<0,4
Поверхностные отложения	Пески разнo-зернистые, суглинки безвалунные	Пески разнo-зернистые, супеси и суглинки лессовидные	Моренные супеси, супеси и суглинки лессовидные	Пески разнo-зернистые, супеси, суглинки, торф
Допустимые размывающие скорости покровных отложений, м/с	0,3–1,0	0,55–1,0	0,65–1,3	0,3–1,5
Интенсивность крипа, мм/год	<2,0	2,0–4,0	>4,0	2,0–4,0
Величина смыва, мм/год	<0,04	0,04–0,8	0,8–4,0	–
Плотность форм линейной эрозии, ед./10км ²	<2	2–4	>4	>4
Активные овраги, % от общего числа	1	1–4	>4	>4
Гравитационные процессы, проявления*	–	+	++	++
Суффозионные процессы, плотность, шт./км ²	–	10–20	>30	+
Карстовые процессы, проявления*	–	+	+	–
Просадочные процессы, проявления*	–	+	+	+
Затопление	–	–	–	++
Русловые процессы	–	–	–	++

Примечание – * – + – слабое проявление; ++ – сильное проявление.

Неустойчивые территории приурочены к краевым ледниковым комплексам Центральной Беларуси и частично Поозерья, Оршано-Могилевской, Горецкой равнинам и Мозырской гряде. Эти территории обладают высоким энергетическим потенциалом рельефа, сложным сочетанием и высокой изменчивостью поверхностных отложений, широким проявлением целого ряда экзогенных рельефообразующих процессов. Здесь необходимо выполнение комплекса мероприятий по инженерной защите объектов как в период строительства, так и процессе эксплуатации.

Речные долины занимают особое место, т. к. характеризуются наиболее динамичным развитием, геоморфологической неустойчивостью рельефа, развитием комплекса экзогенных процессов и изменчивостью гидрологических условий. Их инженерное освоение связано со спецификой строительства водно-хозяйственных объектов.

Заключение

Территория Беларуси расположена в пределах относительно стабильной платформы, имеет равнинный рельеф, однако экзогенная динамика рельефа активно проявляется и влияет на инженерное освоение территории. В связи с этим геоморфологическая оценка территории в инженерных целях должна включать в себя как общий геоморфологический анализ рельефа, так и его морфодинамическую характеристику.

При инженерно-геоморфологической оценке геодинамической ситуации на той или иной территории следует исходить из представлений о том, что рельефообразующие процессы в природе действуют не независимо друг от друга, а образуют взаимосвязанные системы процессов рельефообразования.

Геоморфологическая устойчивость территории – это свойство территории не изменять рельеф и рельефообразующие процессы в течение достаточно продолжительного периода времени. Для инженерного освоения благоприятны те геоморфологические обстановки, в которых равновесие рельефообразующих процессов достигнуто на низком уровне энергии рельефообразования.

Комплексная оценка системы рельефообразования на каждой из исследуемых территорий реализуется при геоморфологическом районировании или типизации. Геоморфологической основой таких оценок должен служить системный подход, предполагающий, что геоморфологические системы представлены закономерным сочетанием элементов рельефа, связанных с ними рыхлых отложений и комплекса процессов, осуществляющих образование и преобразование рельефа. При общей оценке значительных территорий наиболее представительной системой является речной бассейн.

В пределах территории Беларуси выделено три типа обстановок, различающихся по своей геоморфологической устойчивости: устойчивые, условно устойчивые и неустойчивые, а также долины крупных рек. Особенности их освоения связаны с особенностями развития экзогенных рельефообразующих процессов и спецификой сооружения и эксплуатации инженерных сооружений.

При системном подходе очень важно изучать внешние связи систем, т. е. связи между пространственно сопряженными морфосистемами. Очень важен парагенетический анализ их отношений, т. к. начавшийся в одном из звеньев комплекса морфосистем процесс может быть причиной нежелательных и непредвиденных последствий в сложной, а иногда и достаточно отдаленной системе. Одним из важных аспектов изучения динамики морфосистем является выявление закономерностей во временной последовательности смен их состояний. Каждое из состояний характеризуется своим характером структуры системы и типом ее функционирования. Знание закономерности смены функционирования систем во времени и пространстве может служить основой геоморфологического прогнозирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симонов, Ю. Г. Инженерная геоморфология : учеб. пособие / Ю. Г. Симонов, В. И. Кружалин. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.
2. Сергеев, Е. М. Инженерная геология / Е. М. Сергеев. – М. : Изд-во МГУ, 1982. – 247 с.
3. Павловский, А. И. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Беларуси / А. И. Павловский. – Минск : Наука і тэхніка, 1994. – 102 с.
4. Иванов, И. П. Инженерная геодинамика / И. П. Иванов, Ю. Б. Тржцинский. – СПб. : Наука, 2001. – 416 с.
5. Современная динамика рельефа Белоруссии / А. В. Матвеев [и др.]. – Минск : Наука і тэхніка, 1991. – 102 с.
6. Павловский, А. И. Геолого-геоморфологические особенности формирования долины и устойчивость русла Западной Двины / А. И. Павловский, Т. А. Мележ, И. А. Алиева // Литосфера. – 2016. – № 1 (44). – С. 64–72.
7. Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России / В. Т. Трофимов [и др.] ; под ред. В. Т. Трофимова, Э. В. Калинина. – М. : КДУ, 2013. – 816 с.
8. Хоменко, В. П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов / В. П. Хоменко. – М. : ГЕОС, 2003. – 216 с.
9. Трофимов, В. Т. Инженерная геология массивов лессовых пород : учеб. пособие / В. Т. Трофимов. – М. : КДУ, 2008. – 398 с.

REFERENCES

1. Simonov, Yu. G. Inzheniernaja geomorfologija : uchieb. posobije / Yu. G. Simonov, V. I. Kruzhalin. – M. : Izd-vo MGU, 1993. – 208 s.
2. Siergiejev, Ye. M. Inzheniernaja geologija / Ye. M. Siergiejev. – M. : Izd-vo MGU, 1982. – 247 s.
3. Pavlovskij, A. I. Zakonomiernosti projavlienija erozionnykh processov na tierritorii Bielarusi / A. I. Pavlovskij. – Minsk : Navuka i tekhnika, 1994. – 102 s.
4. Ivanov, I. P. Inzheniernaja gieodinamika / I. P. Ivanov, Yu. B. Trzhcinskij. – SPb. : Nauka, 2001. – 416 s.
5. Sovriemiennaja dinamika riel'jefa Bielorusii / A. V. Matviejev [i dr.]. – Minsk : Navuka i tekhnika, 1991. – 102 s.
6. Pavlovskij, A. I. Gieologo-gieomorfologichieskije osobiennosti formirovanija doliny i ustojchivost' rusla Zapadnoj Dviny / A. I. Pavlovskij, T. A. Mieliezh, A. I. Alijeva // Litosfiera. – 2016. – № 1 (44). – S. 64–72.
7. Inzheniernaja gieologija Rossii. T. 2. Inzheniernaja gieodinamika tierritorii Rossii / V. T. Trofimov [i dr.] ; pod ried. V. T. Trofimova, Ye. V. Kalinina. – M. : KDU, 2013. – 816 s.
8. Khomienko, V. P. Zakonomiernosti i prognoz suffozionnykh processov / V. P. Khomienko. – M. : GEOS, 2003. – 216 s.
9. Trofimov, V. T. Inzheniernaja gieologija massivov liessovykh porod : uchieb. posobije / V. T. Trofimov. – M. : KDU, 2008. – 398 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 12.09.2022

УДК 551.79:56 (476)

Наталья Михайловна Писарчук

*ст. преподаватель каф. физической географии мира и образовательных технологий
Белорусского государственного университета*

Natallia Pisarchuk

*Senior Lecturer of Department of Physical Geography of the World and Educational Technologies
of the Belarusian State University*

e-mail: pisarchuk@bsu.by

МИГРАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД В МУРАВИНСКОЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

*Представлены результаты анализа спорово-пыльцевых диаграмм отложений муравинского (микулинского, эемского, мяркинского, прилукского) межледниковья с использованием ГИС-технологий. Выделены входящие и исходящие миграционные потоки основных компонентов флоры (лесообразующие породы: ель (*Picea A. Dietr.*), сосна (*Pinus L.*), береза (*Betula L.*), дуб (*Quercus L.*), липа (*Tilia L.*), вяз (*Ulmus L.*), граб (*Carpinus L.*), ольха (*Alnus Mill.*), лещина (*Corylus L.*)) для 12 фаз развития растительности на протяжении муравинского межледниковья в пределах территории Беларуси. Анализ миграционных потоков указывает на трехкратный циклический характер различной амплитудности изменений во флоре изучаемого периода.*

Ключевые слова: муравинское межледниковье, флора, лесообразующие породы, миграционные потоки, фазы развития растительности.

Migration of the Main Forest-Forming Species in the Muravian Interglaciacion on the Territory of Belarus

*The results of the analysis of spore-pollen diagrams of deposits of the Muravian (Mikulin, Eem, Markin, Priluki) interglaciacion using GIS technologies are presented. The incoming and outgoing migration flows of the main components of the flora (forest-forming species: spruce (*Picea A. Dietr.*), pine (*Pinus L.*), birch (*Betula L.*), oak (*Quercus L.*), linden (*Tilia L.*), elm (*Ulmus L.*), hornbeam (*Carpinus L.*), alder (*Alnus Mill.*), hazel (*Corylus L.*) for 12 phases of vegetation development during the Muravian interglaciacion within the territory of Belarus. An analysis of migration flows indicates a three-fold cyclic nature of various amplitude changes in the flora of the period under study.*

Key words: Muravian interglaciacion, flora, forest-forming rocks, migration flows, phases of vegetation development.

Введение

Региональные особенности современного флористического состава Республики Беларусь предопределены ее географическим положением, плейстоценовой предысторией и трансформациями в голоцене. Территория Беларуси была и остается миграционно-экологическим «коридором», где наблюдалось интенсивное взаимопроникновение элементов бореальной и неморальной флор и вследствие этого – высокая видовая насыщенность фитоценозов всех типов растительности. Муравинское (микулинское, эемское, мяркинское, прилукское) межледниковье составляет самостоятельный муравинский горизонт позднего плейстоцена четвертичной системы [1; 2]. На территории Беларуси отложения этого возраста вскрыты более чем в 360 разрезах [3]. Начало муравинского межледниковья определяется датой от 108 000 [4] до 130 000 лет назад [5–8]. Ранее в связи с признанием некоторыми исследователями наличия только одного климатического оптимума в каждом межледниковье плейстоцена муравинское (эемское) межледниковье соответствовало только подстадии 5е морской изотопной шкалы – МИС-5е [9], однако более поздние данные по разработке изотопно-кислородной шкалы Северного полушария свидетельствуют о том, что межледниковья характеризуются наличием от одного до трех климатических оптимумов и объем муравинского межледниковья отвечает всей стадии МИС-5 [6; 10; 11; 13]. Это межледниковье отличается

наличием трех оптимумов: раннего (и основного) – чериковского, среднего – комотовского и позднего – богатыревичского. На протяжении муравинского межледниковья происходили неоднократные смены климатических показателей [14; 15] и, как следствие, изменение растительности (таблица 1) вплоть до смены лесообразующих пород.

Таблица 1. – Схема палиностратиграфического расчленения отложений с корреляцией региональных стратиграфических схем Беларуси, Литвы и Польши и фитоценологических сукцессий на протяжении муравинского межледниковья на территории Республики Беларусь

Региональные пыльцевые зоны			<i>Picea</i> A. Dietrich	<i>Pinus</i> L.	<i>Betula</i> L.	<i>Alnus</i> Mill.	<i>Ulmus</i> L.	<i>Quercus</i> L.	<i>Tilia</i> L.	<i>Carpinus</i> L.	<i>Corylus</i> L.	Индекс	Фазы развития лесного типа растительности
Литва	Польша	Беларусь											
		R PAZmr-10										mr-12	Разреженные сосново-березовые, березово-сосновые леса
													mr-11
M5	E7	R PAZmr-9										mr-10	Березово-сосновые леса
													mr-9
M4	E6	R PAZmr-8										mr-8	Сосновые и елово-сосновые леса
		R PAZmr-7										mr-7	Еловые и грабово-еловые леса
M3c	E5	R PAZmr-6										mr-6	Грабовые леса с лещиной
M3b		E4	R PAZmr-5									mr-5	Липовые, грабово-липовые леса с лещиной
M3a	E3		a R PAZmr-4										mr-4
		b R PAZmr-3											
M2	E2	R PAZmr-2										mr-3	Сосново-березовые леса с примесью широколиственных пород
M1	E1	R PAZmr-1										mr-2	Сосновые леса с березой и елью
												mr-1	Березово-сосновые леса

Примечание – Насыщенность цвета в таблице отражает участие пород в древостое.

Целью исследования является реконструкция миграционных путей основных компонентов флоры (лесообразующие породы) на протяжении муравинского межлед-

никовья в пределах территории Беларуси. В связи с этим были поставлены следующие решаемые задачи: 1) выделение хронологических интервалов на протяжении муравинского межледниковья, отражающих основные климатические события последней в плейстоцене межледниковой эпохи; 2) анализ спорово-пыльцевых диаграмм муравинских отложений, равномерно распределенных по всей территории региона; 3) построение картосхем содержания пыльцы по всем выделенным хронологическим интервалам с использованием ГИС-технологий; 4) выявление миграционных путей посредством анализа и синтеза карт содержания пыльцы.

Материалы и методы исследования

В основу флористических реконструкций (в качестве элементарных дискретных геобъектов) заложены палеоботанические данные 154 спорово-пыльцевых диаграмм (рисунок 1) из фондовых материалов и опубликованных источников за 1925–2005 гг.

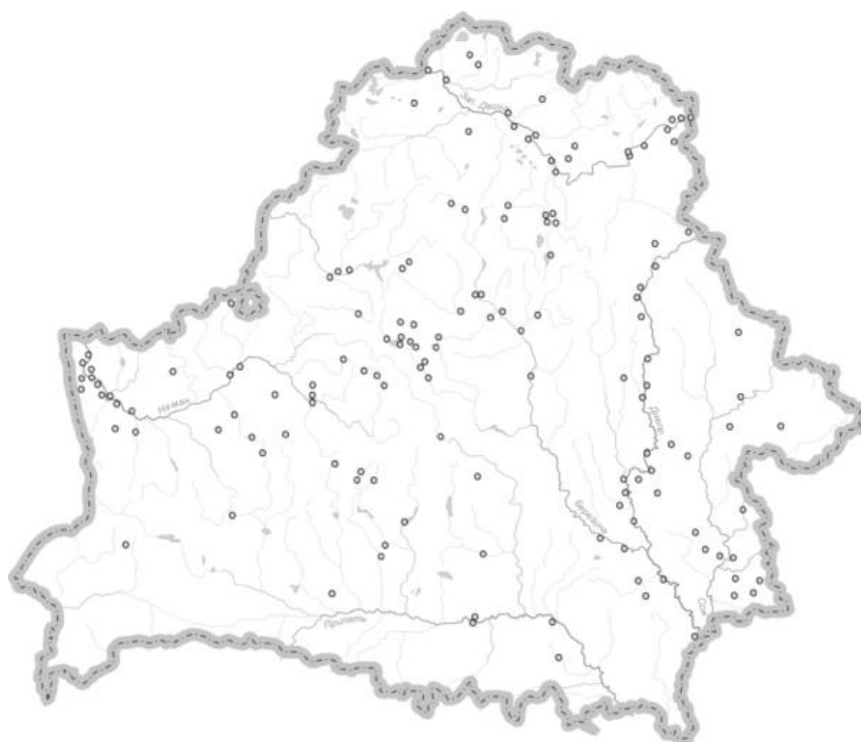


Рисунок 1. – Схема локализации изученных палинологическим методом разрезов с отложениями муравинского межледниковья

Для построения карт содержания пыльцы доминант лесных формаций (рисунок 2) по хронологическим интервалам (фазам развития растительности) в виде непрерывных поверхностей использовалась программа ArcView GIS и метод ОВР (обратно взвешенных расстояний). Шаг для построения изолиний при формировании векторного слоя задавался произвольно в зависимости от содержания пыльцы древесной породы.

Основные лесообразующие породы в муравинское межледниковье слагали: ель (*Picea A. Dietr.*), сосна (*Pinus L.*), береза (*Betula L.*), пихта (*Abies Mill.*), лиственница (*Larix sp.*), дуб (*Quercus L.*), липа (*Tilia L.*), вяз (*Ulmus L.*), граб (*Carpinus L.*), бук (*Fagus sp.*), клен (*Acer sp.*), ясень (*Fraxinus L.*), ольха (*Alnus Mill.*), лещина (*Corylus L.*).

Для анализа миграционных потоков отображены ель, сосна, береза, дуб, липа, вяз, граб, ольха и лещина. Пыльца остальных видов встречалась единично и широкого распространения на протяжении муравинского межледниковья не получила.

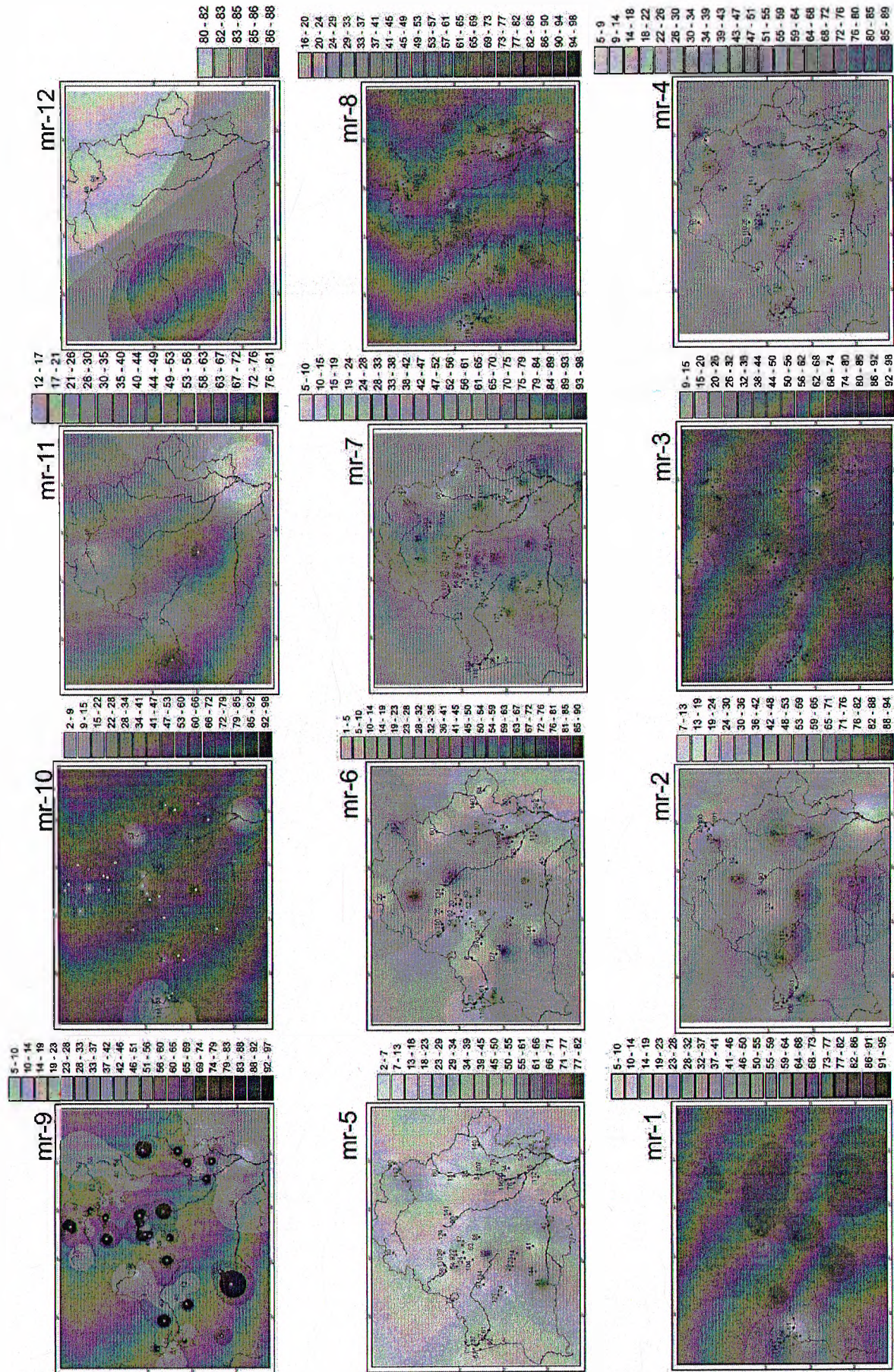


Рисунок 2. – Картохемы содержания пыльцы *Pinus L.* на протяжении муравинского межледникова, %

Результаты исследования и их обсуждение

Для муравинских спорово-пыльцевых диаграмм характерен определенный порядок кульминации (сукцессии) пыльцы широколиственных пород (*Quercus* и *Ulmus* – *Corylus* – *Tilia* – *Carpinus*), наряду с максимумом *Alnus* в фазу *Corylus* [16]. На указанную закономерность накладываются региональные особенности, что отмечено в ряде публикаций [14; 17–20].

Ель (*Picea A. Dietr.*) на протяжении муравинского межледниковья в пределах территории Беларуси была постоянным компонентом, но в разное время ее роль в составе растительного покрова была различна. Увеличение значений содержания пыльцы характерно для начала межледниковья (mr-1, mr-2), постоптимальной фазы – mr-7, фазы промежуточных межоптимальных похолоданий (mr-8, mr-10). В оптимальное время южная граница распределения пыльцы смещалась на северо-запад. В отложениях муравинского межледниковья отмечены [14] преимущественно *Picea abies* (L.) Karst. и в периоды раннемежледниковья и фазы межоптимальных похолоданий единичны находки экзотического вида *Picea obovata* Ledeb. Расселение *Picea abies* шло с севера и северо-запада. Южная граница ареала *Picea abies* на Восточно-Европейской равнине в настоящее время проходит в пределах Беларуси по северной окраине Полесской низменности. Согласно современным исследованиям [21] из экологических особенностей для ели характерно: благоприятно растет на свежих супесчаных и суглинистых, увлажненных почвах с хорошей аэрацией; не переносит застойного, а также чрезмерного увлажнения и затопления, резкого снижения уровня грунтовых вод и уменьшения влаги в почве, но переносит избыточное проточное увлажнение; к климатическим условиям малотребовательна; теневынослива, удовлетворительно растет под пологом сосны и в «окнах» материнского полога; требовательна к влажности воздуха; плохо переносит сухость воздуха, высокую температуру. Образует густые леса, часто в смеси с сосной и березой. *Picea obovata* Ledeb. ныне произрастает на северо-востоке Европы, на Урале, в Сибири. Вид проникал на территорию Беларуси с северо-востока и в меньшей степени с севера. Порода требовательна к влаге, не переносит сухость воздуха, более светолюбива, чем описанная выше ель обыкновенная. Как правило, она образует чистые и смешанные насаждения с хвойными и лиственными породами. Таким образом, на протяжении муравинского межледниковья основные входящие миграционные потоки ели были с северо-запада, севера и в меньшей мере с северо-востока на остальную территорию республики, достигая южной ее границы.

Сосна (*Pinus L.*) является широко распространенным компонентом муравинской межледниковой флоры региона. Характерны высокие показатели содержания пыльцы для всех интервалов, что связано не только с распространением породы в древостое, но и особенностями распространения и сохранения пыльцы. Кульминации распространения этого рода относятся к интервалам раннемежледниковья (mr-1, mr-2) и промежуточным похолоданиям межледниковья (mr-8, mr-10). Основным видом является *Pinus sylvestris* L. Современный естественный ареал занимает всю территорию Беларуси, сплошной полосой протягивается через Евразию между 50° и 65° с. ш. Сейчас является главной лесообразующей породой на 58 % лесопокрытой площади региона [21]. Она нетребовательна к почве, по отношению к влаге весьма пластична, растет преимущественно на песчаных почвах, но встречается во всевозможных местообитаниях (включая болота), светолюбива. На территории Беларуси произрастает во всех типах леса, кроме коренных березняков и черноольшаников на болотах; образует чистые, а также смешанные леса (с другими хвойными и лиственными породами). На протяжении муравинского межледниковья миграция шла с юга, юго-востока, севера (в межоптимальные интервалы), редко с запада, в основном на северо-запад и северо-восток, редко на юго-запад.

Береза (*Betula* L.) – постоянный элемент муравинской флоры. Наибольшего распространения достигает в ранне-(mr-1) и позднемежледниковое время (mr-12), фазы промежуточных похолоданий (mr-8, mr-10). Интересно возрастание содержания пыльцы в предоптимальную фазу (mr-3): за счет миграции ее с севера одновременно с пыльцой ели, с запада совместно с пыльцой дуба и вяза, с востока. Род представлен [14] *Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Ehrh, в виде реликтов ледникового времени – *Betula nana* L., *Betula humilis* Schrank. Сейчас восточная граница *Betula pendula* Roth проходит по Западно-Сибирской низменности. Образует как чистые насаждения, так и смешанные с другими породами в лесной области и колки – в лесостепной. Южная граница *Betula pubescens* Ehrh в Европе проходит по равнинной части, восточная снижается на крайний юг Восточно-Европейской равнины, а в Сибири заходит на Восточно-Сибирское плоскогорье. Современный ареал *Betula humilis* Schrank охватывает северную и центральную части Западной Европы, север и центр Восточно-Европейской равнины, в т. ч. Беларусь, восточную и южную части Западной Сибири. Как правило, по долинам рек и избыточно увлажненным территориям образует заросли т. н. «ерника». Экспансия происходила в основном с севера, северо-запада и запада.

Дуб (*Quercus* L.) появление и максимальное распространение имеет в первой половине климатических оптимумов, часто наряду с вязом (mr-4, наибольшие значения, определяющий для фазы вид), чуть меньшее значение в последующие оптимальные фазы (mr-5, mr-6, mr-9, mr-11) Представлен [14] видами *Quercus robur* L. (преимущественно), *Quercus petraea* Liebl., *Quercus pubescens* Willd. По данным А. В. Кожаринова [22], рефугиумами для *Quercus robur* L. были территории Волынской, Подольской, южной части Среднерусской и Приволжской возвышенностей, а также Мещера и Кодры, Мозырско-Овручско-Словечанский регион. *Quercus robur* L. ныне повсеместно распространен в Западной Европе, Восточно-Европейской равнине и в Сибири. Современный ареал *Quercus petraea* Liebl. располагается западнее и южнее границы Беларуси. Единичные экземпляры встречаются в Беловежской пуще. *Quercus pubescens* Willd. охватывает центральную и южную части Западной Европы. Миграция дуба на территорию Беларуси в муравинское межледниковье шла с запада и юго-запада, а отступление в последующие периоды преимущественно на юг.

Вяз (*Ulmus* L.) в большинстве случаев появляется и достигает своего максимума почти одновременно с дубом в первой половине основного климатического оптимума межледниковья (mr-4), постепенно снижаясь (mr-5, mr-6), и снова увеличивается в фазы mr-9 и mr-11. Представлен несколькими видами [14]: *Ulmus laevis* Pall., *Ulmus campestris* L., *Ulmus glabra* Huds. Современный ареал распространения *Ulmus laevis* Pall. охватывает всю территорию Беларуси; *Ulmus campestris* L. ныне произрастает преимущественно в центре, на востоке и юго-востоке Беларуси, а также в западной и южной частях Европы. Для пыльцы вяза характерны более значительные и частые колебания ее содержания, что может быть связано с меньшей экологической пластичностью рода. Миграция вяза осуществлялась преимущественно с запада на юг Республики Беларусь.

Липа (*Tilia* L.). Появление и кульминация ее относится к середине или второй половине термических максимумов межледниковья (mr-5, наибольшие значения, определяющий для фазы вид), mr-6, mr-9, mr-11 – кульминирующие значения ниже, чем в основном оптимуме). Представлена в основном видом *Tilia cordata* Mill., во время кульминации также и экзотическим видом *Tilia platyphyllos* Scop. [14]. Современные границы ареала *Tilia platyphyllos* Scop. располагаются к западу и югу Беларуси, *Tilia cordata* Mill. в настоящее время распространена на территории Беларуси и за ее пределами. Липа – теневыносливая порода, довольно требовательная к почвам; выносит временный избыток влаги, но на заболоченных почвах не растет. Она принимает участие в образовании широколиственных лесов как дерево первой величины либо входит в со-

став подлеска дубовых и еловых лесов, может образовывать самостоятельные липовые леса. Миграция в муравинское межледниковье происходила с юга, запада и (редко) юго-востока с отступанием в обратных направлениях.

Граб (*Carpinus L.*) распространение получает только во второй половине оптимумов муравинского межледниковья (mr-6 (наибольшие значения, определяющий для фазы вид), mr-7, mr-9, mr-11). Отмечено наличие в большинстве случаев вида *Carpinus betulus L.* его современная северо-восточная граница распространения в Европе проходит немного южнее Минска и Могилева, распространен в Западной и Южной Европе. Е. Ф. Авдеева [23] установила, что «абсолютными рефугиумами» для граба обыкновенного являются районы сильно пересеченного рельефа с богатыми карбонатными почвами, в значительно меньшей мере подверженные изменениям климата. К таким районам ею отнесены Карпаты, юг Приднестровской возвышенности и Кодры, что позволяет подтвердить отраженные на картосхемах миграции *Carpinus betulus L.* с юга, а отступления в «комфортные рефугиумы» – на юго-запад и юг.

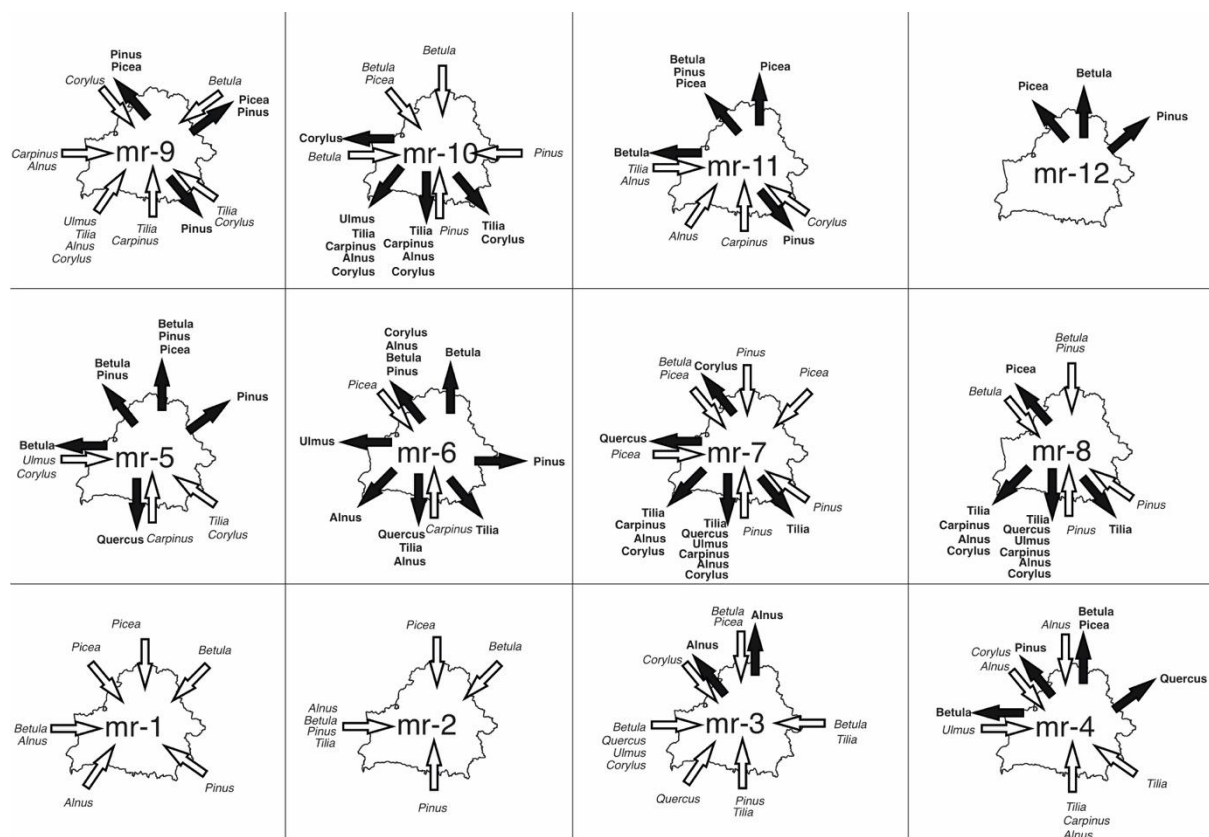
Ольха (*Alnus Mill.*). Содержание пыльцы максимально в климатические оптимумы межледниковья совместно с термофильными породами (mr-4–mr-7, mr-9, mr-11), а также повышается в отдельные фазы развития растительности промежуточного похолодания (mr-8, mr-10, mr-12). Встречается пыльца *Alnus incana (L.) Moench.* и *Alnus glutinosa (L.) Gaerth.*, оба вида сейчас произрастают по всей территории Беларуси. Ольха серая светолюбива, к почве нетребовательна: растет и на довольно сухих почвах, и даже на болотах; застойную воду переносит достаточно хорошо. Занимает берега рек и ручьев, кочковатые болота, склоны холмов и речных террас. Ольха черная распространена повсеместно в Западной Европе и юге Восточно-Европейской равнины; достаточно теплолюбива, любит умеренно жаркий климат при условии влажности почвы; хорошо растет на богатых перегнойных почвах, избыточно увлажненных, с незастывающейся проточной водой. Ольха поселяется по берегам рек и озер, по топям и травянистым болотам, часто у ключей. Ольха легко дает корневые поросли и благодаря этому принимает большое участие в первых стадиях лесообразования. В муравинское межледниковье мигрировала с запада, юга и юго-запада.

Лещина (*Corylus L.*) отмечается в фазы климатических оптимумов муравинского межледниковья. Как правило, кульминация породы проявляется совместно с ольхой после максимума дуба и вяза (mr-5–mr-6), предшествуя кульминации липы и граба. Представлена повсеместно видом *Corylus avellana L.* Современный ареал охватывает всю территорию Беларуси, а также распространен в Западной, Центральной и Южной Европе, в центре и на юге Восточно-Европейской равнины. Растет в светлых смешанных и широколиственных лесах в качестве подлеска. Миграция вида шла с юга и юго-запада.

Как известно [24], во время развития и продвижения ледника на южные территории теплолюбивая флора сохранялась лишь в рефугиумах, расположенных на Южном Урале, Северном Кавказе, в южной и средней Европе, на Аппенинском, Балканском и Пиренейском полуостровах, возможно, на юге Украины, Самарской Луке и Приволжской возвышенности. По данным В. П. Гричука, установление реликтов в современном растительном покрове регионов свидетельствует о том, что теплолюбивая лесная флора межледниковья складывалась в результате слияния южного потока кверцетального (светлолюбивого: *Quercus, Acer*) ценоэлемента (центр формирования – Средиземноморье) с одной стороны и западноевропейского (центр – Центральная Европа, часть Южной) и Южноуральского потоков неморального (теневого, умеренно-тепло- и влаголюбивого) ценоэлемента (*Quercus, Ulmus, Tilia, Carpinus, Fagus, Acer*) с другой стороны. Во время похолодания лесная флора формировалась за счет северного

и северо-восточного миграционного потока бетулярного (светолюбивого, холодо-стойкого) ценоэлемента (*Betula*, *Larix*).

Анализ карт содержания пыльцы основных лесообразующих пород (рисунок 2) по установленным хронологическим интервалам (таблица 1) муравинского межледниковья позволил выделить их входящие и исходящие миграционные потоки (рисунок 3) на территории Беларуси.



Примечание – Входящие – белые стрелки и написание курсивом, исходящие – черные стрелки и полужирное начертание)

Рисунок 3. – Миграционные потоки древесной флоры во время муравинского межледниковья

Так, в раннемежледниковый период (mr-1) можно выделить входящие миграционные потоки: северный (*Picea*), северо-восточный (*Betula*), юго-восточный (*Pinus*), юго-западный (*Alnus*), западный (*Betula*, *Alnus*), северо-западный (*Picea*).

В период mr-2 выделим входящие миграционные потоки: северный (*Picea*), северо-восточный (*Betula*), южный (*Pinus*), западный (*Pinus*, *Alnus*, *Betula*, *Tilia*).

В начальный период климатического оптимума mr-3 отмечены следующие входящие миграционные потоки: северный (*Picea*, *Betula*), восточный (*Betula*, *Tilia*), южный (*Pinus*, *Tilia*), юго-западный (*Quercus*), западный (*Betula*, *Quercus*, *Ulmus*, *Corylus*), северо-западный (*Corylus*); исходящие: северный (*Alnus*), северо-западный (*Alnus*).

В фазу кульминирования содержания пыльцы дуба (mr-4) можно отметить следующие входящие миграционные потоки: северный (*Alnus*), юго-восточный (*Tilia*), южный (*Alnus*, *Carpinus*, *Tilia*), западный (*Ulmus*), северо-западный (*Corylus*, *Alnus*); исходящие: северный (*Picea*, *Betula*), северо-восточный (*Quercus*), западный (*Betula*), северо-западный (*Pinus*).

В фазу кульминирования содержания пыльцы липы (mr-5) выделены следующие входящие миграционные потоки: западно-восточный (*Tilia, Corylus*), южный (*Carpinus*), западный (*Ulmus, Corylus*); исходящие: северный (*Betula, Picea, Pinus*), северо-восточный (*Pinus*), южный (*Quercus*), западный (*Betula*), северо-западный (*Betula, Pinus*).

Фаза mr-6 знаменуется кульминацией содержания пыльцы граба. В этот период фиксируются входящие миграционные потоки: южный (*Carpinus*), северо-западный (*Picea*); исходящие: северный (*Betula*), восточный (*Pinus*), юго-восточный (*Tilia*), южный (*Quercus, Tilia, Alnus*), юго-западный (*Alnus*), западный (*Ulmus*) северо-западный (*Betula, Pinus, Alnus, Corylus*).

В завершающую оптимум фазу (mr-7) обособлены входящие миграционные потоки: северный (*Pinus*), северо-восточный (*Picea*), юго-восточный (*Pinus*), южный (*Pinus*), западный (*Picea*), северо-западный (*Betula, Picea*); исходящие: юго-восточный (*Tilia*), южный (*Tilia, Quercus, Ulmus, Carpinus, Alnus, Corylus*), юго-западный (*Tilia, Carpinus, Alnus, Corylus*), западный (*Quercus*), северо-западный (*Corylus*).

В межоптимальную фазу (mr-8) аксантированы входящие миграционные потоки: северный (*Pinus, Betula*), юго-восточный (*Pinus*), южный (*Pinus*), северо-западный (*Betula*); исходящие: юго-восточный (*Tilia*), южный (*Tilia, Quercus, Alnus, Ulmus, Carpinus, Corylus*), юго-западный (*Tilia, Carpinus, Alnus, Corylus*), северо-западный (*Picea*).

В следующую фазу (mr-9 (средний оптимум)) выделены входящие миграционные потоки: северо-восточный (*Betula*), юго-восточный (*Tilia, Corylus*), южный (*Tilia, Carpinus*), юго-западный (*Ulmus, Tilia, Alnus, Corylus*), западный (*Alnus, Carpinus*), северо-западный (*Corylus*); исходящие: северо-восточный (*Picea, Pinus*), юго-восточный (*Pinus*), северо-западный (*Picea, Pinus*).

Фаза очередного межоптимального похолодания (mr-10) отмечена входящими миграционными потоками: северный (*Betula*), восточный (*Pinus*), южный (*Pinus*), западный (*Betula*), северо-западный (*Betula, Picea*); исходящими: юго-восточный (*Tilia, Corylus*), южный (*Tilia, Carpinus, Alnus, Corylus*), юго-западный (*Ulmus, Tilia, Carpinus, Alnus, Corylus*), западный (*Corylus*).

В последующую фазу потепления (mr-11) выделены входящие миграционные потоки: юго-восточный (*Corylus*), южный (*Carpinus*), юго-западный (*Alnus*), западный (*Tilia, Alnus*); исходящие: северный (*Picea*), юго-восточный (*Pinus*), западный (*Betula*), северо-западный (*Betula, Picea, Pinus*).

В позднемежледниковье (mr-12) отмечены только исходящие миграционные потоки: северный (*Betula*), северо-восточный (*Pinus*), северо-западный (*Picea*).

Таким образом, трехкратные подвижки теплолюбивой флоры на территорию Республики Беларусь на протяжении муравинского межледниковья позволяют сделать предположение о трехкратных изменениях климатических показателей в сторону оптимальности. Выводы о неоднооптимальности муравинского межледниковья высказаны и другими исследователями на смежных территориях с применением палинологических и данных других методов [13].

Заклучение

Проведенное исследование на основе анализа 154 спорово-пыльцевых диаграмм с использованием ГИС-технологий позволило конкретизировать направления миграции древесной флоры на протяжении 12 фаз развития растительности муравинского межледниковья. Выделены входящие и исходящие миграционные потоки для девяти лесообразующих пород в муравинское межледниковье. В раннемежледниковье (mr-1, mr-2) преобладали входящие миграционные потоки бореальной флоры преимущественно западной, северной и северо-западной направленности для *Picea* и *Betula*, южной и юго-восточной для *Pinus*. В предоптимальное время (mr-3) отмечен приток неморальной

флоры с юга, запада и юго-запада с одновременным отходом ее на север и запад родов из семейства березовых (*Alnus*, *Betula*) и север, северо-запад родов из семейства сосновых. В ранний оптимум (mr-4, mr-5, mr-6) количество исходящих миграционных потоков преобладало над входящими: неморальные роды двигались с юга, юго-востока и запада, борельные роды отступали к северу, в фазу mr-6 начался отток неморальных элементов (*Quercus*, *Tilia*) в южных направлениях. В постоптимальное время (mr-7) характерно усиление исходящих южных миграционных потоков с теплолюбивой флорой (*Tilia*, *Quercus*, *Carpinus*, *Corylus*) и одновременным усилением входящих северных потоков *Betula*, *Picea*, *Pinus* (для сосны характерно движение с юга, юго-востока). В последующие оптимумы (mr-9, mr-11) характерны входящие южные миграции неморальной флоры с исходящими потоками бореальной флоры на север, северо-запад и юго-восток (*Pinus*). Межоптимальным похолоданиям (mr-8, mr-10) свойственны южной направленности исходящие миграционные потоки теплолюбивой флоры и исходящие северные бореальной флоры. В позднемежледниковье (mr-12) отсутствуют входящие миграционные потоки, а исходящие имеют северную направленность. Выделенные миграционные потоки имеют трехкратный циклический характер с различной амплитудой. Это позволяет высказать точку зрения о трехкратности опимальных условий в муравинское межледниковье на территории Беларуси.

Палеогеографическая обстановка муравинского межледниковья является предполагаемым аналогом природных процессов в голоцене [25; 26]. Изучив становление и изменение состава флоры на протяжении этой межледниковой эпохи во временном и пространственном аспектах, а также сопоставив с современными трендами, представляется возможным прогнозировать модели их изменения в будущем. В свою очередь, знание естественных флористических колебаний позволяет выделить современную антропогенную составляющую в трансформации растительного покрова.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объясн. зап. / С. А. Кручек [и др.]. – Минск : ГП «БелНИГРИ», 2010. – 282 с. : прил. из 15 стратиграф. схем.
2. International Chronostratigraphic Chart [Electronic resource]. – Mode of access: <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2022-02.pdf>. – Date of access: 04.10.2022.
3. Писарчук, Н. М. Палинологическая обеспеченность и история изучения отложений муравинского межледниковья на территории Беларуси / Н. М. Писарчук // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2012. – № 2. – С. 90–95.
4. Timing of the last interglacial in Northern Europe derived from Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of a terrestrial Saalian-Eemian-Weichselian sedimentary sequence in NE-Germany / C. Lüthgens [et al.] // Quatern. International. – 2011. – Vol. 241. – P. 79–96.
5. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record / J. Imbrie [et al.] // Milankovich and Climate ; eds.: A. Berger [et al.]. – Boston : Reidel, 1984. – P. 269–305.
6. Evidence for last interglacial chronology and environmental change from Southern Europe / A. Brauer [et al.] // PNAS. – 2007. – Vol. 104. – № 2. – P. 450–455.
7. Максимов, Ф. Е. Новая версия $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования верхне- и среднелепесточеновых отложений / Ф. Е. Максимов, В. Ю. Кузнецов // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. – 2010. – Вып. 4. – С. 94–107.

8. К вопросу о хронологии микулинского межледникового на Северо-Западе Русской равнины / Ф. Е. Максимов [и др.] // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. – 2020. – Вып. 7. – С. 322–326.
9. Shackleton, N. J. The last interglacial in the marine and terrestrial Records / N. J. Shackleton // Proc. Royal Soc. London. – 1969. – В. 174. – P. 135–154.
10. Last Interglacial Climates / G. Kukla [et al.] // Quatern. Res. – 2002. Vol. 58. – P. 2–13.
11. Allen, J. R. M. Last Interglacial palaeovegetation, palaeoenvironments and chronology: a new record from Lago Grande di Monticchio, Southern Italy / J. R. M. Allen, B. Huntly // Quaternary Science Reviews. – 2009. – Vol. 28. – P. 1521–1538.
12. Helmens, K. F. The Last Interglacial-Glacial cycle (MIS 5e2) re-examined based on long proxy records from central and northern Europe / K. F. Helmens // Quatern. Sci. Rev. – 2014. – Vol. 86. – P. 115–143.
13. Болиховская, Н. С. Схема периодизации, корреляции и возраст климатических событий неоплейстоцена / Н. С. Болиховская, А. Н. Молодых // Фундаментальные проблемы квартара: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований : материалы VI Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – С. 75–78.
14. Еловичева, Я. К. Эволюция природной среды антропогена Беларуси / Я. К. Еловичева. – Минск : БелСЭНС, 2001. – 293 с.
15. Рылова, Т. Б. Растительность и климат межледниковых интервалов плейстоцена Беларуси по данным палинологических исследований / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Литосфера. – 2006. – № 1 (24). – С. 12–26.
16. Гричук, В. П. Ископаемая флора как палеонтологическая основа стратиграфии четвертичных отложений / В. П. Гричук // Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений северо-запада Русской равнины ; под ред. К. К. Маркова. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – С. 25–71.
17. Межрегиональная корреляция верхнеприпятских (upper wartanian), муравинских (eemian) и нижнепоозерских (lower vistulian) пыльцевых зон Беларуси и Польши / Т. Б. Рылова [и др.] // Литосфера. – 2008. – № 1 (28). – С. 64–75.
18. Рылова, Т. Б. Растительность и климат территории западной части Белорусского Полесья в муравинское межледниковье / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Литосфера. – 2018. – № 2 (49). – С. 17–33.
19. Рылова, Т. Б. Растительность и климат территории восточной части Белорусского Полесья в муравинское межледниковье / Т. Б. Рылова // Литосфера. – 2020. – № 1 (52). – С. 89–104.
20. Муравинское/мяркинское межледниковье на приграничной территории Беларуси и Литвы / Т. Б. Рылова [и др.] // Литосфера. – 2021. – № 1 (54). – С. 36–57.
21. Флора Беларуси. Сосудистые растения : в 6 т. – Минск : Беларус. навука, 2009. – Т. 1 : Lycopodiophyta. Equisetophyta. Polypodiophyta. Ginkgophyta. Pinophyta. Gnetophyta / Р. Ю. Блажевич [и др.] ; под общ. ред. В. И. Парфенова. – 199 с.
22. Кожаринов, А. В. Палеоареал дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на территории Восточной Европы за последние 12 500 лет / А. В. Кожаринов, П. В. Борисов, И. И. Горшкова // Динамика экосистем в голоцене : материалы II рос. науч. конф., Екатеринбург ; отв. ред. Н. Г. Смирнов. – Челябинск : Рифей, 2010. – С. 104–109.
23. Авдеева, Е. Ф. Динамика ареала граба обыкновенного (*Carpinus betulus* L.) в позднеледниковом голоцене на территории Восточной Европы / Е. Ф. Авдеева // Динамика экосистем в голоцене : материалы II рос. науч. конф., Екатеринбург ; отв. ред. Н. Г. Смирнов. – Челябинск : Рифей, 2010. – С. 25–29.
24. Гричук, В. П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене / В. П. Гричук. – М. : Наука, 1989. – 183 с.

25. Величко, А. А. Природные процессы в плейстоцене / А. А. Величко. – М. : Наука, 1973. – 256 с.

26. Новенко, Е. Ю. Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов / Е. Ю. Новенко. – М. : ГЕОС, 2016. – 228 с.

REFERENCES

1. Stratigrafichieskije skhiemy dokiembrijiskikh i fanierozojiskikh otlozhenij Bielarusi : objasn. zap. / S. A. Kruchiek [i dr.]. – Minsk: GP «BielNIGRI», 2010. – 282 s. : pril. iz 15 stratigraf. skhem.

2. International Chronostratigraphic Chart [Electronic resource]. – Mode of access: <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2022-02.pdf>. – Date of access: 04.10.2022.

3. Pisarchuk, N. M. Palinologichieskaja obiespiechiennost' i istorija izuchienija otlozhenij muravinskogo miezhlednikov'ja na tierritorii Bielarusi / N. M. Pisarchuk // Viestn. BGU. Ser. 2, Khimija. Biologija. Geografija. – 2012. – № 2. – S. 90–95.

4. Timing of the last interglacial in Northern Europe derived from Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of a terrestrial Saalian-Eemian-Weichselian sedimentary sequence in NE-Germany / C. Lüthgens [et al.] // Quatern. International. – 2011. – Vol. 241. – P. 79–96.

5. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record / J. Imbrie [et al.] // Milankovich and Climate ; eds.: A. Berger [et al.]. – Boston : Reidel, 1984. – P. 269–305.

6. Evidence for last interglacial chronology and environmental change from Southern Europe / A. Brauer [et al.] // PNAS. – 2007. – Vol. 104. – № 2. – P. 450–455.

7. Maksimov, F. Ye. Novaja viersija 230Th/U datirovanija vierkhne- i sriednieneopliejstocenovykh otlozhenij / F. Ye. Maksimov, V. Yu. Kuzniecov // Viestn. SPBGU. Ser. 7. – 2010. – Vyp. 4. – S. 94–107.

8. K voprosu o khronologii mikulinskogo miezhlednikov'ja na Sieviero-Zapadie Russkoj ravniny / F. Ye. Maksimov [i dr.] // Riel'jef i chietviertichnyje obrazovanija Arktiki, Subarkiki i Sieviero-Zapada Rossii. – 2020. – Vyp. 7. – S. 322–326.

9. Shackleton, N. J. The last interglacial in the marine and terrestrial Records / N. J. Shackleton // Proc. Royal Soc. London. – 1969. – B. 174. – P. 135–154.

10. Last Interglacial Climates / G. Kukla [et al.] // Quatern. Res. – 2002. Vol. 58. – P. 2–13.

11. Allen, J. R. M. Last Interglacial palaeovegetation, palaeoenvironments and chronology: a new record from Lago Grande di Monticchio, Southern Italy / J. R. M. Allen, B. Huntly // Quaternary Science Reviews. – 2009. – Vol. 28. – P. 1521–1538.

12. Helmens, K. F. The Last Interglacial cycle (MIS 5e2) re-examined based on long proxy records from central and northern Europe / K. F. Helmens // Quatern. Sci. Rev. – 2014. – Vol. 86. – P. 115–143.

13. Bolikhovskaja, N. S. Skhiema pieriodizacii, korrieliacii i vozrast klimatichieskikh sobytij nieopliejstocena / N. S. Bolikhovskaja, A. N. Molod'kov // Fundamental'nyje problemi kvartiera: itogi izuchienija i osnovnyje napravlienija dal'niejshikh issledovanij : materialy VI Vsieros. sovieshch. po izuchieniju chietviertichnogo pierioda. – Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2009. – S. 75–78.

14. Yelovichieva, Ya. K. Evoliucija prirodnoj sriedy antropogiena Bielarusi / Ya. K. Yelovichieva. – Minsk : BielSENS, 2001. – 293 s.

15. Rylova, T. B. Rastitel'nost' i klimat miezhlednikovovykh intervalov pliejstocena Bielarusi po dannym palinologichieskikh issledovanij / T. B. Rylova, I. Ye. Savchienko // Litosfiera. – 2006. – № 1 (24). – S. 12–26.

16. Grichuk, V. P. Iskopajemaja flora kak palieontologichieskaja osnova stratigrafii chietviertichnykh otlozhenij / V. P. Grichuk // Riel'ef i stratigrafija chietviertichnykh otlozhenij sieviero-zapada Russkoj ravniny ; pod ried. K. K. Markova. – M. : Izd-vo AN SSSR, 1961. – S. 25–71.
17. Miezhhriegoal'naja korreliacija vierkhniepripiatskiih (upper wartanian), muravinskikh (eemian) i nizhnepooziorskikh (lower vistulian) pyl'cevykh zon Bielarusi i Pol'shi / T. B. Rylova [i dr.] // Litosfiera. – 2008. – № 1 (28). – S. 64–75.
18. Rylova, T. B. Rastitel'nost' i klimat tierritorii zapadnoj chasti Bieloruskogo Polies'ja v muravinskoje miezhliednikov'je / T. B. Rylova, I. Ye. Savchienko // Litosfiera. – 2018. – № 2 (49). – S. 17–33.
19. Rylova, T. B. Rastitel'nost' i klimat tierritorii vostochnoj chasti Bieloruskogo Polies'ja v muravinskoje miezhliednikov'je / T. B. Rylova // Litosfiera. – 2020. – № 1 (52). – S. 89–104.
20. Rylova, T. B. Muravinskoje/miarkinskoje miezhliednikov'je na prigranichnoj tierritorii Bielarusi i Litvy / T. B. Rylova [i dr.] // Litosfiera. – 2021. – № 1 (54). – S. 36–57.
21. Flora Bielarusi. Sosudistyje rastienija : v 6 t. – Minsk : Bielarus. navuka, 2009. – T. 1 : Lycopodiophyta. Equisetophyta. Polypodiophyta. Ginkgophyta. Pinophyta. Gnetophyta / R. Yu. Blazhevich [i dr.] ; pod obshch. ried. V. I. Parfionova. – 199 s.
22. Kozharinov, A. V. Palieoarieleal duba chierieshchatogo (*Quercus robur* L.) na tierritorii Vostochnoj Yevropy za poslednije 12 500 liet / A. V. Kozharinov, P. V. Borisov, I. I. Gorshkova // Dinamika ekosistem v golocene : materialy II Ross. nauch. konf., Yekaterinburg ; otv. ried. N. G. Smirnov. – Cheliabinsk : Rifej, 2010. – S. 104–109.
23. Avdiejeva, Ye. F. Dinamika arieala graba obyknoviennogo (*Carpinus betulus* L.) v pozdnieliednikovom golocene na tierritorii Vostochnoj Yevropy / Ye. F. Avdiejeva // Dinamika ekosistem v golocene: materialy II ros. nauch. konf., Yekaterinburg ; otv. ried. N. G. Smirnov. – Cheliabinsk : Rifej, 2010. – S. 25–29.
24. Grichuk, V. P. Istorija flory i rastitel'nosti Russkoj ravniny v pliejstocenie. M. : Nauka, 1989. – 183 s.
25. Vielichko, A. A. Prirodnye processy v pliejstocene / A. A. Vielichko. – M. : Nauka, 1973. – 256 s.
26. Novienko, Ye. Yu. Izmienienija rastitel'nosti i klimata Central'noj i Vostochnoj Yevropy v pozdniem pliejstocenie i golocene v miezhliednikovyje i pieriekhodnyje etapy klimatichieskikh makrociklov / Ye. Yu. Novienko. – M. : GEOS, 2016. – 228 s.

УДК 325.1+911.3 (476)

Александр Александрович Сидоровичканд. геогр. наук, доц., декан факультета естествознания
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина**Alexandr Sidorovich**PhD in Geographical Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Natural Sciences
of the Brest State A. S. Pushkin Universitye-mail: brestsid@gmail.com**РЕГИОНАЛЬНАЯ МИГРАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В БЕЛАРУСИ
В РАЗРЕЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РАЙОНОВ***

Проведена оценка миграционной ситуации в разрезе функционально-планировочных типов районов Беларуси по данным смежных переписей населения 1989–2019 гг. Установлено, что роль миграции в снижении численности населения возрастает по мере усиления значения аграрного сектора экономики в обеспечении занятости и формировании добавленной стоимости. За период 1989–2019 гг. в многофункциональных районах численность населения увеличилась на 5,7 %. В районах с ведущей промышленной функцией, промышленно-аграрных, агропромышленных и аграрных районах наблюдалась миграционная убыль, которая составила 2,7, 6,5, 12,3 и 16,7 % соответственно. Вклад миграционной составляющей в динамику численности населения за данный период составил от 18,7 % в туристско-рекреационных районах до 50,0 % в научном типе районов. В самом многочисленном аграрном типе районов на миграцию пришлось 45,9 % общей убыли населения.

Ключевые слова: миграция, демографическая ситуация, регионы Беларуси, функциональные районы, территориальное планирование.

Regional Migration Situation in Belarus in the Context of Functional-Planning Areas

The article provides an assessment of the migration situation in the context of functional-planning types of regions of Belarus according to the data of related population censuses of 1989–2019. It was revealed that the role of migration in reducing the population increases as the importance of the agricultural sector of the economy in providing employment and generating added value increases. For the period 1989–2019 in multifunctional areas, the population increased by 5,7 %. In areas with a leading industrial function, industrial-agrarian, agro-industrial and agrarian regions, migration loss was observed, which amounted to 2,7, 6,5, 12,3 and 16,7 %, respectively. The contribution of the migration component to the population dynamics for this period ranged from 18,7 % in tourist and recreational areas to 50,0 % in the scientific type. In the most numerous agrarian type of districts, migration accounted for 45,9 % of the total population loss.

Key words: migration, demographic situation, regions of Belarus, functional areas, territorial planning.

Введение

Процессы глобализации, интеграции и постиндустриализации действуют дифференцированно на регионы, имеющие разную функциональную специализацию. С одной стороны, реструктуризация экономики в условиях интенсификации научно-технического прогресса стирает грань между городской и сельской местностью, между отдельными регионами. С другой стороны, сложившаяся экономическая структура отдельных административно-территориальных единиц определяет разные возможности приспособления к изменяющимся условиям социально-экономической трансформации общества. Регионы, имеющие экономическую структуру с высокой долей новых и новейших отраслей, имеют больше преимуществ в адаптации к рыночной конъюнктуре и общественным запросам. И, наоборот, регионы с доминированием традиционных от-

*Исследование выполнено в рамках задания ГПНИ на 2021–2025 гг. при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь, № госрегистрации 20211332.

раслей характеризуются депрессивным состоянием, обусловленным низкой финансовой устойчивостью градообразующих предприятий, высоким уровнем безработицы и трудностями в поиске сфер приложения труда. Как итог, одним из ключевых способов разрешения данного противоречия выступает миграционная установка населения на переезд в другую местность либо страну. Следствием миграционных процессов, вызванных отмеченными причинами, является дальнейшее ухудшение демографической ситуации в регионах выбытия мигрантов, обостряя тем самым комплекс региональных проблем и социально-экономических противоречий. Хозяйственная база районов создает предпосылки формирования вектора демографического развития, определяя территориальную, половозрастную и социальную структуры населения. Наличие в пределах района крупных и успешно действующих предприятий сдерживает миграционный отток населения, а при расширении деятельности и так называемом масштабировании бизнеса способствует миграционным прибытиям из других регионов.

Цель работы – оценить степень влияния миграционного фактора на демографический потенциал различных функциональных типов административно-территориальных районов Беларуси за межпереписные периоды 1989–2019 гг.

Материалы и методика исследования

Миграционное сальдо как разность между численностью прибывшего и выбывшего населения в данном исследовании рассчитано на основе уравнения демографического баланса. В качестве исходных значений использована, во-первых, численность населения по данным переписей. Разность показателей смежных переписей позволяет установить общий прирост либо убыль. Во-вторых, естественный прирост, который рассчитывается путем вычитания числа умерших от числа родившихся. Соответствующие значения корректируются с учетом расхождений в датах переписей населения и их несоответствие кратности календарным годам. Результат вычитания из общего прироста естественного представляет собой миграционный прирост. Предложенный подход обоснован тем, что полнота учета рождений и смертей в целом в отличие от миграционных перемещений составляет 100 % [1]. Таким образом, образуемая разница (расхождение) между смежными переписями населения относится на неучтенные миграционные потоки, которые объективно менее контролируемые как с точки зрения возможностей органов государственной власти, осуществляющих соответствующий учет, так и с позиций самих мигрантов, которые могут не иметь мотивации к регистрации по месту проживания либо пребывания, равно как и к ее смене.

Информационную основу проведенного исследования составляют статистические данные о численности населения административно-территориальных районов по результатам переписей 1989, 1999, 2009 и 2019 гг., а также данные о ежегодном числе родившихся и умерших за период 1989–2019 гг. на основе данных текущего учета [2–4].

Одним из элементов научного обоснования территориального планирования выступает функционально-планировочная классификация административно-территориальных районов, разработанная в рамках Государственной схемы территориальной организации Республики Беларусь (ГСКТО). Указанная схема определяет общее направление и приоритеты градостроительного развития страны, государственную политику в области расселения и организации территорий на национальном и региональных уровнях с учетом общих политических и социально-экономических целей государства.

Действующая схема территориальной организации Беларуси разработана УП «БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА» в 2011 г., в соответствии с которой выделяются следующие функциональные типы районов: многофункциональный, с ведущей промышленной функцией, промышленно-аграрный, агропромышленный, аграрный, научный, туристско-рекреационный [5]. В основе выделения типов лежит соотношение

между видами экономической деятельности по трем укрупненным секторам экономики: аграрным, индустриальным и сервисным (услуг).

В целом вектор демографического развития и относительная динамика численности населения различных функциональных типов районов может быть охарактеризована посредством анализа динамики их удельных весов в структуре населения за отдельные межпереписные периоды. При таком подходе принадлежность районов к тому или иному типу определяется на начальный момент анализируемого периода либо на его конец. Наибольший практический смысл имеет анализ на основе типологической принадлежности по состоянию на конечный период, что позволяет использовать результаты исследования в прогностических целях. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что в пределах района достаточно создания даже одного крупного предприятия для смены социально-экономического профиля и функционального типа. В этом отношении показательным выступает пример Островецкого района, который по классификации ГСКТ0-2011 отнесен к аграрному типу, хотя фактически с вводом в промышленную эксплуатацию Белорусской АЭС он стал соответствовать типу с ведущей промышленной функцией.

Самым многочисленным функционально-планировочным типом административно-территориальных районов Беларуси выступает аграрный (рисунок 1). Данный тип включает 52 района, в которых занятость населения и производство практически полностью обеспечивается сельским хозяйством (Дрогичинский, Ивьевский, Кировский, Любанский, Россонский, Чечерский и др.).

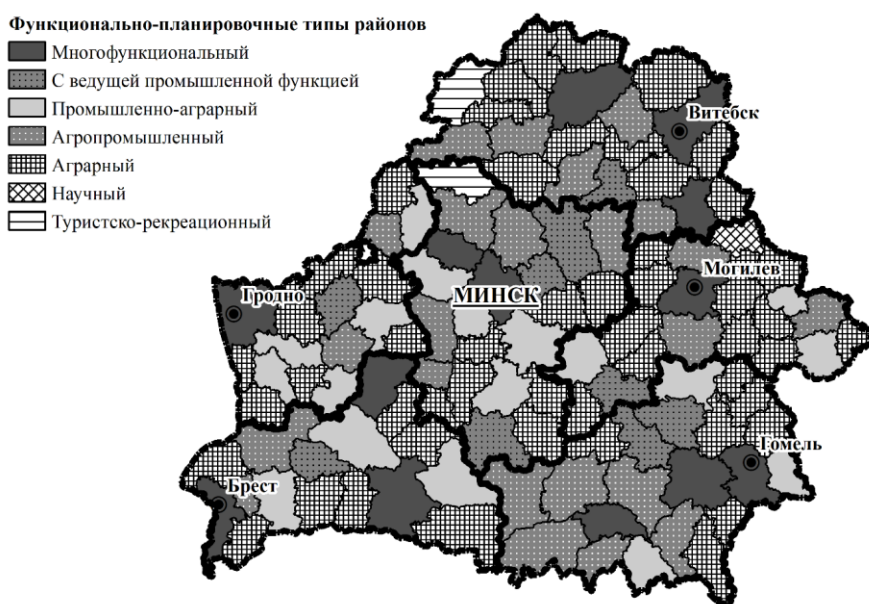


Рисунок 1. – Функционально-планировочные районы Беларуси

Многофункциональный тип включает 13 районов, которые обладают наиболее диверсифицированной структурой экономики и, как правило, находятся в сфере влияния городов областного подчинения или столицы (Барановичский, Гродненский, Минский, Могилевский, Оршанский, Речицкий и др.). Существенную роль в обеспечении занятости населения и формировании добавленной стоимости в них принадлежит не только промышленности, но и строительству и различным видам экономической деятельности, относящимся к сфере услуг. При этом сфера услуг в них представлена не только стандартным набором видов экономической деятельности, таких как торговля, транспортная деятельность, образование, здравоохранение и социальные услуги,

но и информация и связь, государственное управление, профессиональная, научная и техническая деятельность, творчество, спорт, развлечения и отдых, операции с недвижимым имуществом.

В административно-территориальных районах с ведущей промышленной функцией доминируют виды экономической деятельности, представленные промышленностью. Последние значительно превосходят остальные и по формированию добавленной стоимости, и по обеспечению занятости. К данному типу относятся девять районов (Березовский, Бобруйский, Борисовский, Жлобинский, Лидский, Светлогорский, Смоленский, Солигорский, Чашникский). В промышленно-аграрных районах при первоочередном значении индустриального сектора значительная роль в структуре экономики принадлежит сельскохозяйственному производству. К этому типу относятся 18 районов (Волковысский, Кобринский, Осиповичский, Рогачевский, Слуцкий и др.). Противоположное соотношение характерно для агропромышленного типа административно-территориальных районов, в которых первоочередная роль принадлежит сельскому хозяйству, в то время как промышленность играет второстепенное значение. Данный тип объединяет 23 района (Воложинский, Глубокский, Ошмянский, Петриковский, Пружанский, Шкловский и др.). Научный тип районов представлен только Горечким районом, в административном центре которого располагается учреждение высшего образования – Белорусская сельскохозяйственная академия. Туристско-рекреационные районы специализируются на предоставлении услуг в сфере отдыха и развлечений. Данный тип представлен Браславским и Мядельским районами.

Результаты исследования и их обсуждение

На протяжении 1989–2019 гг. происходило перераспределение населения между различными типами районов. Если в 1989 г. благодаря наибольшей представленности (44 % всех районов) аграрный тип районов концентрировал больше населения, чем какой-либо иной функциональный тип районов, то к 2019 г. данный тип районов уступил лидирующие позиции многофункциональным, в которых проживает 1/4 населения всех административно-территориальных районов Беларуси (рисунок 2). При этом тенденция снижения доли аграрных районов в общей структуре населения имела место в течение каждого из межпереписных периодов, а в целом за анализируемый период их удельный вес сократился на пять процентных пунктов.

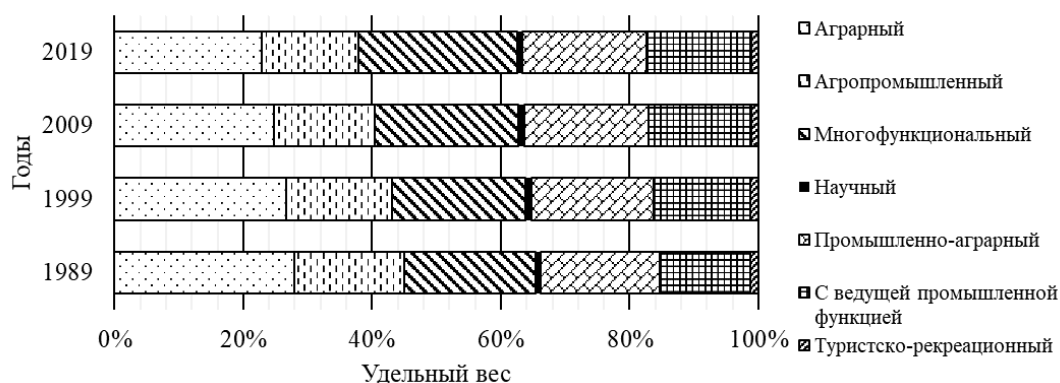


Рисунок 2. – Динамика удельного веса районов различных функционально-планировочных типов в структуре численности населения Беларуси (без учета городов областного подчинения и г. Минска) за период 1989–2019 гг., %

Снижение удельного веса в общей численности населения также имело место и в отношении агропромышленных районов. В то же время районы со значительной

ролью індустрыяльнага сектара эканомікі (многофункцыйнага, с вядучай прамысловай функцыяй і прамыслова-аграрнага), напроці, характэрызаваліся ростам удельнага вага ў агульнай лічбынасці насельніцтва раёнаў Беларусі. Прыблізна па 1 % ўсяго насельніцтва прыходзіцца на турысцка-рэкрэацыйны і навучны тыпы раёнаў. У ўмовах агульнага зніжэння лічбынасці насельніцтва дынаміка яго структуры і перадыстрыбуцыі удельных вагаў між раёнамі розных функцыйных тыпаў следуе інтэрпрэтаваць як меншую інтэнсіўнасць зніжэння лічбынасці насельніцтва ў многофункцыйных, прамыслова-аграрных раёнах і раёнах с вядучай прамысловай функцыяй. Адносна меншы ўзровень дэпапуляцыі ў іх звязан с стабільнай работай ключевых прамысловых прадпрыемстваў, займаючых устойлівыя пазіцыі на нацыянальным і дажэ міравых таварных рынках.

Вместе с тем суммарная убыль населения всех функциональных типов районов составила 1,36 млн человек. При этом абсолютные масштабы убыли в целом коррелируют с числом районов в каждом из типов, т. е. ранги типов районов по их числу совпадают с позицией по величине общей убыли населения (максимум – 625,4 тыс. человек в аграрных районах, минимум – 12,6 тыс. человек в Горецком районе, относящемся к научному типу). Примечательно, что и наибольшая относительная убыль всего населения за период 1989–2019 гг. также характерна для аграрных районов (–36,3 %). Около 1/3 населения потеряли также агропромышленные и туристско-рекреационные районы. Благодаря более высокому уровню социально-экономического развития, инфраструктурного обеспечения и широкому спектру сфер приложения труда и досуга демографические потери многофункциональных районов составили 6,1 %. Менее существенным оказалось и сокращение численности населения районов с ведущей промышленной функцией (–9,2 %). Для промышленно-аграрных районов убыль населения составила 19,0 %, а для Горецкого района – 23,7 % (рисунок 3).

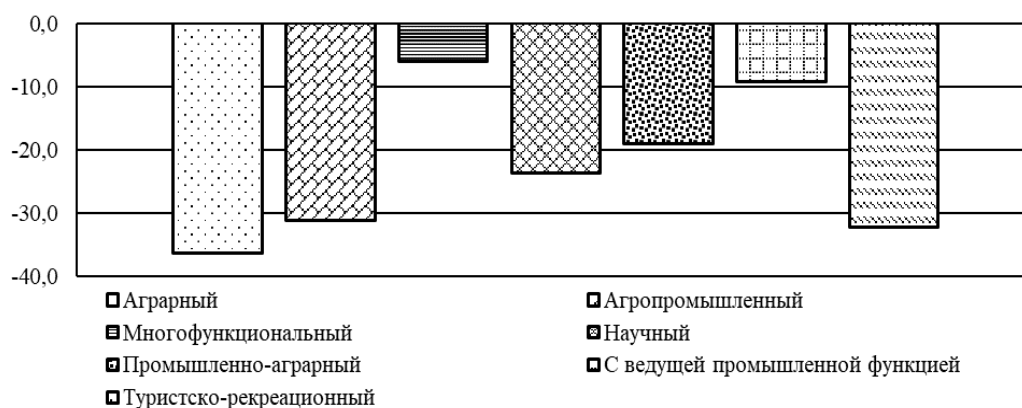


Рисунок 3. – Относительная убыль населения районов Беларуси различных функционально-планировочных типов за период 1989–2019 гг., %

Для всех типов районов наибольшая убыль населения имела место в межпереписной период 1999–2009 гг. В аграрных, агропромышленных и туристско-рекреационных районах потери населения за данный период превысили 15 % (рисунок 4). Исключением является научный тип районов, в котором наблюдается устойчивая тенденция ускорения дэпопуляцыі. По этой причине для данного типа районов пик демографического кризиса пришелся на последний межпереписной период 2009–2019 гг. Вместе с тем в 2010-е гг. наблюдался рост численности населения в многофункциональных районах (+2,8 %). За весь анализируемый период 1989–2019 гг. увеличение численности населе-

ния происходило также лишь в 1990-е гг. в научном типе районов (Горечкий район) и районах с ведущей промышленной функцией.

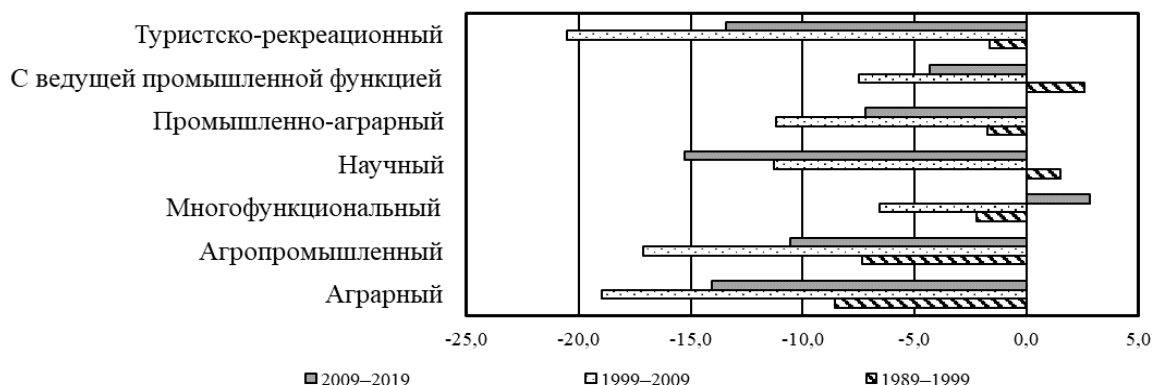


Рисунок 4. – Относительная убыль населения районов Беларуси различных функционально-планировочных типов за межпереписные периоды 1989–2019 гг., %

В целом за межпереписной период 1989–1999 гг. общая убыль населения не превышала 9 % при относительно небольшой вариации между различными типами районов – от 1,7 % в промышленно-аграрных и туристско-рекреационных до 8,6 % в аграрных. За период 2009–2019 гг. темпы снижения численности населения хотя и снизились по сравнению с межпереписным периодом 1999–2009 гг., но оказались в несколько раз выше, чем в 1990-е гг.

За период 1989–2019 гг. для всех типов районов отмечено отрицательное миграционное сальдо. Исключение составляют многофункциональные районы, численность населения которых за счет положительного миграционного сальдо увеличилась на 71,4 тыс. человек за весь анализируемый период. Наибольший миграционный отток характерен для аграрных районов – 287,1 тыс. человек, или 5,5 тыс. в среднем на один район (рисунок 5). Однако наибольшая средняя миграционная убыль отмечена в Горечком районе – 6,3 тыс. человек. Минимальная средняя миграционная убыль имела место в туристско-рекреационных районах (2,3 тыс. человек) и районах с ведущей промышленной функцией (2,6 тыс.).

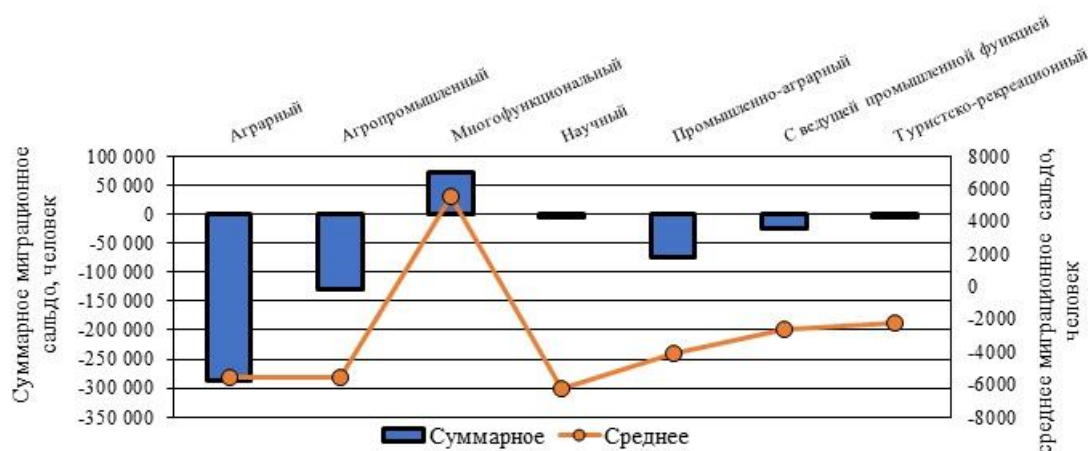


Рисунок 5. – Миграционное сальдо районов Беларуси различных функционально-планировочных типов за период 1989–2019 гг., человек

Между тем за счет миграционного фактора значительные демографические потери понесли аграрные, агропромышленные и научный районы: 16,7, 12,3 и 11,8 % соответственно за период 1989–2019 гг. (рисунок 6).

В промышленно-аграрных и туристско-рекреационных районах миграционная убыль населения составила соответственно 6,5 и 6,1 %. Наименьший миграционный отток отмечен в районах с ведущей промышленной функцией (–2,7 %), которые по своему социально-экономическому профилю наиболее близки к многофункциональному типу, отличающемуся самой диверсифицированной структурой и наибольшим уровнем экономического развития. В многофункциональных районах численность населения увеличилась на 5,7 %.

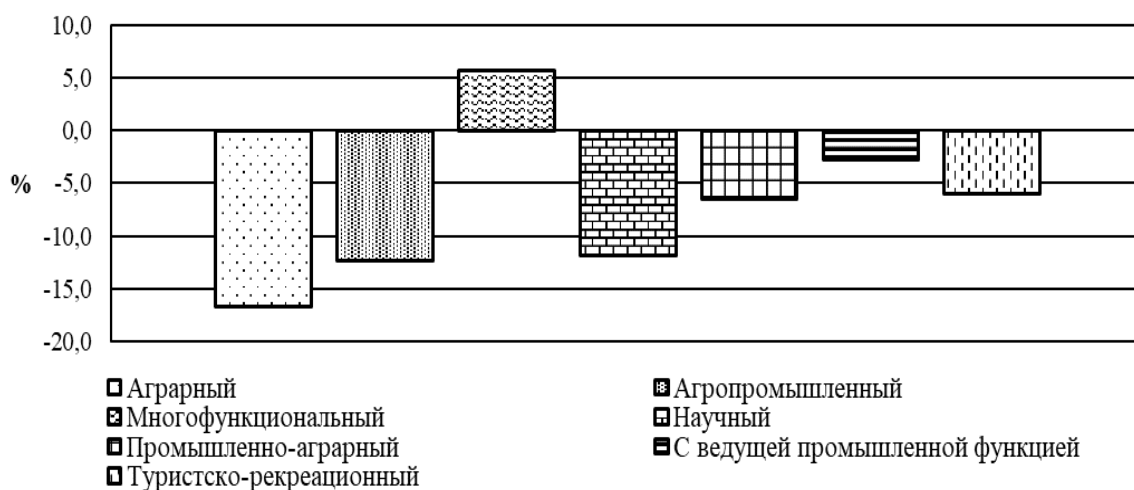


Рисунок 6. – Относительный миграционный прирост районов Беларуси различных функционально-планировочных типов за период 1989–2019 гг., %

В отличие от общей демографической ситуации миграционные процессы отличаются большей динамичностью и меньшей инерционностью. На протяжении межпереписных периодов 1989–2019 гг. кардинально менялась миграционная ситуация во всех типах районов. В целом наиболее благоприятная миграционная ситуация сложилась в 1990-е гг., когда положительное миграционное сальдо имело место во всех типах районов, за исключением агропромышленного и аграрного. В последних двух типах районов за межпереписной период 1989–1999 гг. миграционная убыль населения составила 2,4 и 3,5 % соответственно (таблица).

Таблица. – Динамика относительного миграционного сальдо районов Беларуси различных функционально-планировочных типов за межпереписные периоды 1989–2019 гг., %

Функционально-планировочный тип районов	Годы		
	1989–1999	1999–2009	2009–2019
Многофункциональный	1,1	–0,1	5,2
С ведущей промышленной функцией	2,7	–3,0	–2,5
Промышленно-аграрный	0,9	–4,4	–3,5
Агропромышленный	–2,4	–7,2	–4,2
Аграрный	–3,5	–8,9	–6,8
Научный	4,2	–5,1	–12,2
Туристско-рекреационный	5,6	–8,7	–4,1

Положительная разность между числом прибывших и выбывших мигрантов в 1990-е гг. обеспечила прирост населения в научном (4,2 %) и туристско-рекреационном типах районов (5,6 %). В 2000-е гг. миграционная убыль населения имела место уже во всех типах районов, масштабы которой возрастали от многофункциональных районов к аграрным, т. е. по мере снижения роли промышленности и роста значения сельского хозяйства.

В межпереписной период 2009–2019 гг. неблагоприятная миграционная ситуация в целом сохранилась, однако в большинстве районов значительно сократился миграционный отток. В районах многофункционального типа установилось положительное миграционное сальдо, обеспечившее прирост населения на 5,2 %. В Горецком районе миграционный отток обусловил сокращение численности населения на 12,2 %.

Вклад миграционной составляющей в динамику численности населения за весь анализируемый период 1989–2019 гг. составил от 18,7 % в туристско-рекреационных районах до 50,0 % в научном типе (рисунок 7).

Для самого представительного аграрного типа районов на миграцию пришлось 45,9 % общей убыли населения. Но и в других типах районов значение миграции как фактора динамики численности населения весьма значительно.

В агропромышленных районах доля миграции в убыли населения составила 39,3 %, в промышленно-аграрных – 34,1 % и в районах с ведущей промышленной функцией – 29,5 %. При этом во многофункциональных районах миграционный прирост населения частично компенсировал естественную убыль населения.

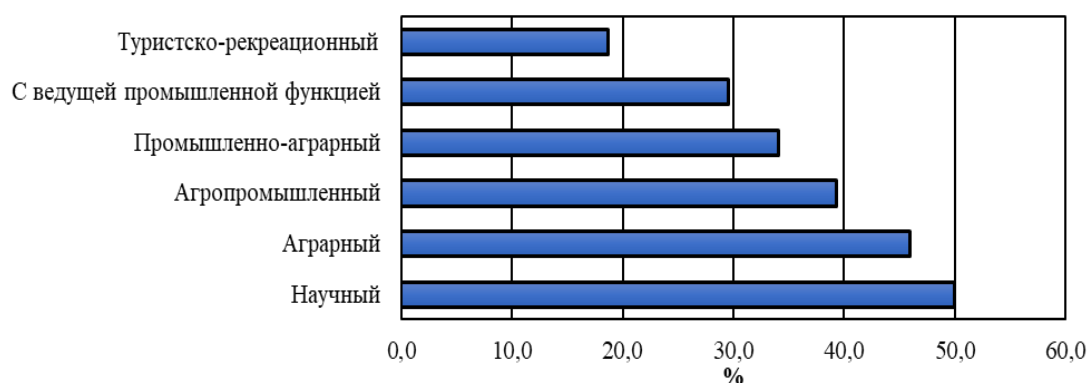


Рисунок 7. – Удельный вес миграции в общей убыли населения районов Беларуси различных функционально-планировочных типов за период 1989–2019 гг., %

В межпереписной период 1989–1999 гг. миграционная убыль отмечалась в аграрных и агропромышленных районах, в которых вклад миграционного фактора в общую убыль населения составил соответственно 40,4 и 32,7 %.

В многофункциональных, промышленно-аграрных и туристско-рекреационных районах за счет миграционного прироста частично была покрыта естественная убыль.

В то же время в районах с ведущей промышленной функцией, а также в Горецком районе положительное миграционное сальдо не только полностью компенсировало естественную убыль, но и обеспечило общий прирост населения (рисунок 8).

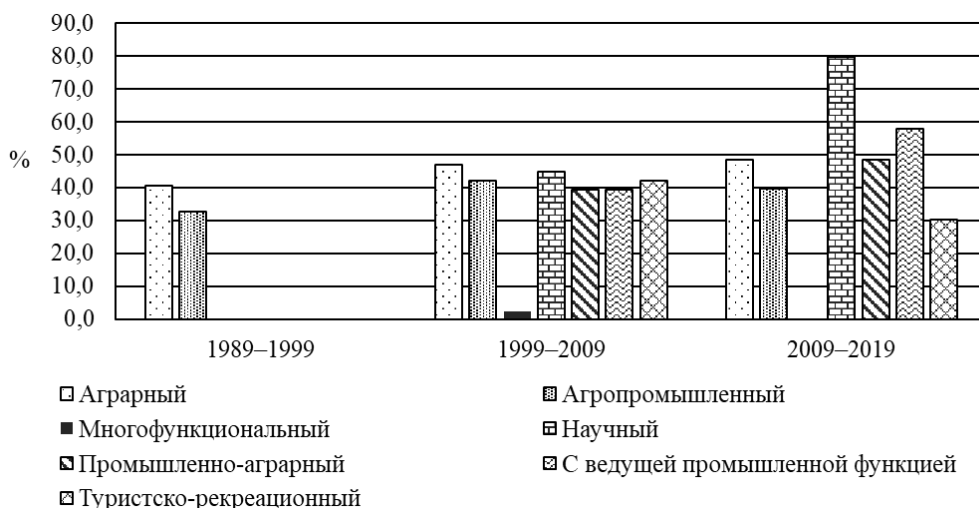


Рисунок 8. – Удельный вес миграции в общей убыли населения районов Беларуси различных функционально-планировочных типов за межпереписные периоды 1989–2019 гг., %

За период 1999–2009 гг. во всех типах районов усилился миграционный отток, удельный вес которого в общей убыли населения варьировал от 39,3 % в промышленно-аграрных районах до 47,0 % в аграрных. В многофункциональных районах наблюдалась менее интенсивная миграционная убыль, что обусловило незначительный удельный вес миграции в общей убыли населения (2,2 %). В межпереписной период 2009–2019 гг. благодаря принятым мерам демографической политики по стимулированию рождаемости снизились масштабы естественной убыли, что определило увеличение роли миграции в формировании общей убыли населения.

Удельный вес миграционного оттока в общей убыли населения варьировал от 30,4 % в туристско-рекреационных районах до 58,0 % в районах с ведущей промышленной функцией. В Горецком районе миграционный фактор определил 80 % общей убыли населения. При этом в многофункциональном типе районов сложились благоприятные условия для привлечения мигрантов, в результате чего сформировалось положительное миграционное сальдо, обеспечившее таким образом общий прирост населения и компенсацию естественной убыли населения.

Заклучение

Роль миграции в снижении численности населения возрастает по мере усиления значения аграрного сектора экономики в обеспечении занятости и формировании добавленной стоимости. За период 1989–2019 гг. в многофункциональных районах численность населения увеличилась на 5,7 %. В районах с ведущей промышленной функцией, промышленно-аграрных, агропромышленных и аграрных районах наблюдалась миграционная убыль, которая составила 2,7, 6,5, 12,3 и 16,7 % соответственно. Вклад миграционной составляющей в динамику численности населения за данный период составил от 18,7 % в туристско-рекреационных районах до 50,0 % в научном типе. В самом многочисленном аграрном типе районов на миграцию пришлось 45,9 % общей убыли населения. В целом наиболее благоприятная миграционная ситуация сложилась в 1990-е гг., когда положительное миграционное сальдо имело место во всех типах районов, за исключением агропромышленного и аграрного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидорович, А. А. Миграционная обстановка в регионах Беларуси по данным смежных переписей 1989–2019 гг. / А. А. Сидорович // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 1. – С. 78–88.
2. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации [Электронный ресурс] / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search>. – Дата доступа: 14.12.2021.
3. Общая численность населения, численность населения по возрасту и полу, состоянию в браке, уровню образования, национальностям, языку, источникам средств к существованию по Республике Беларусь, 2019 : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2020. – 55 с.
4. Перепись населения, 2009 : в 7 т. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: В. И. Зиновский (пред.) [и др.]. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2010–2011. – Т. 2 : Население Республики Беларусь: его численность и состав, 2010. – 414 с.
5. Власюк, Н. Н. Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь. Основные направления и приоритеты развития / Н. Н. Власюк // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2012. – № 1. – С. 3–5.

REFERENCES

1. Sidorovich, A. A. Migracionnaja obstanovka v riegionakh Bielarusi po dannym smiezhykh pieriepisiej 1989–2019 gg. / A. A. Sidorovich // Viesn. Bresc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2022. – № 1. – S. 78–88.
2. Interaktyvnaja informacionno-analitichieskaja sistiema rasprostranienija oficial'noj statistichieskoj informacii [Elektronnyj riesurs] / Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus'. – Riezhim dostupa: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search>. – Data dostupa: 11.12.2020.
3. Obshchaja chisliennost' nasielienija, chisliennost' nasielienija po vozrastu i polu, sostojaniju v brakie, urovniu obrazovanija, nacional'nostiam, jazyku, istochnikam sriedstv k sushchiestvovaniju po Rieszpublikie Bielarus', 2019 : stat. biul. / Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus'. – Minsk : Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus', 2020. – 55 s.
4. Pieriepis' nasielienija, 2009 : v 7 t. / Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus' ; riedkol.: V. I. Zinovskij (pried.) [i dr.]. – Minsk : Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus', 2010–2011. – T. 2. : Nasielienije Rieszpubliki Bielarus': jego chisliennost' i sostav, 2010. – 414 s.
5. Vlasiuk, N. N. Gosudarstviennaja skhiema komplieksnoj tierritorial'noj organizacii Rieszpubliki Bielarus'. Osnovnyje napravlienija i prioritieti razvitija / N. N. Vlasiuk // Viestn. Brest. gos. tiekhn. un-ta. – 2012. – № 1. – S. 3–5.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 26.09.2022

УДК 626.871(476)

Татьяна Анатольевна Шелест¹, Андрей Николаевич Полюхович²¹канд. геогр. наук, доц., доц. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина²студент IV курса факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Tatsiana Shelest¹, Andrei Paliukhovich²¹PhD in Geographical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Geography and Nature Management
of the Brest State A. S. Pushkin University²4th Year Student of the Faculty of Natural Sciences

of the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: ¹tashelest@mail.ru; ²napikm@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БОЛОТ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ)

Представлены данные о типологии болот Припятского Полесья, установлены современные границы разных типов болот, рассчитана их площадь. Построены картосхемы расположения болот и торфяных месторождений в пределах Припятского Полесья, определено место региона в структуре природоохранных территорий страны, дана оценка обеспеченности территории природоохранным режимом, определены категории рекультивации выработанных торфяных месторождений, оценена нарушенность болот. Построенная карта распространения ООПТ отражает их категорию, статус охраны и приуроченность к разным типам болот. Обоснованы основные направления по охране и рациональному использованию болот Припятского Полесья.

Ключевые слова: Припятское Полесье, болота, мелиорация, охрана болот, особо охраняемые природные территории, нарушенность болот, рекультивация, экологическая реабилитация болот.

Current State of the Swamps of the Belarusian Polesie (by the Example of Pripjat Polesie)

Data on the typology of swamps of the Pripjat Polissya are presented, the modern boundaries of different types of swamps are established, and their area is calculated. Maps of the location of swamps and peat deposits within the Pripjat Polissya were built, the place of the region in the structure of nature protection territories was determined, an assessment was made of the provision of the territory with a nature protection regime, the categories of reclamation of depleted peat deposits were determined, and the unresolved swamps were assessed. The constructed map of the distribution of protected areas reflects their category, protection status, and confinement to different types of swamps. The main directions for the protection and rational use of the swamps of the Pripjat Polissya are substantiated.

Key words: Pripjat Polissya, swamps, land reclamation, protection of swamps, specially protected natural areas, disturbance of swamps, reclamation, ecological rehabilitation of swamps.

Введение

Территория Беларуси характеризуется широким распространением болот и заболоченных земель, большая часть которых сконцентрирована на Полесье. Торфяные почвы различных типов и с различной мощностью торфа до начала их интенсивного хозяйственного использования занимали свыше 14 % от общей площади республики.

Высокая заболоченность территории препятствовала ее освоению, что обусловило необходимость проведения осушительной мелиорации, предусматривающей улучшение дренированности территории, изменение природных особенностей Полесья и превращение его в зону высокопродуктивного сельского хозяйства, чему способствовали плодородные торфяно-болотные и торфяные почвы и наличие водных источников.

Осушение болот в пределах Припятского Полесья началось еще в XVI в. Первые крупные работы, позволившие осушить часть территории путем строительства сети искусственных водотоков, были выполнены Западной экспедицией под руководством инженера-геодезиста И. И. Жилинского в 1873–1898 гг. По окончании Великой Отече-

ственной войны проблеме осушения Полесья начало уделяться особое внимание. Пик широкомасштабной мелиорации пришелся на 60–70-е гг. XX в. В ходе мелиорации было осушено более 60 % болот страны. К 1990-м гг. работы по масштабной мелиорации прекратились.

Цель мелиорации была достигнута – на месте переувлажненных земель выросли площади сельскохозяйственных угодий, улучшились условия труда и проживания людей. Однако вскоре начали проявляться и нежелательные последствия. В наибольшей степени мелиорация затронула Белорусское Полесье, где преобладают мелкозалежные торфяники, что обусловило региональный характер геоэкологических проблем.

Произошло снижение уровня грунтовых вод, было нарушено питание малых рек, изменился их водный режим, сократились или почти полностью исчезли многие виды растений и животных, повысилась пожароопасность территории, произошло изменение микро- и мезорельефа, интенсивнее стала проявляться эрозия почв, увеличилась вероятность заморозков, засух [1; 2]. Особенностью торфяных залежей была их небольшая глубина, большое количество осоковых остатков в торфе, сравнительно низкая степень разложения, что способствовало их быстрому переходу к антропогенно преобразованным в процессе сельскохозяйственного использования. В результате на месте торфяных почв с высоким естественным плодородием образовались антропогенные минеральные, преимущественно песчаные почвы с низким плодородием и экологической устойчивостью. Таким образом, в результате добычи торфа, осушения болот и интенсивного сельскохозяйственного освоения осушенных земель образовались значительные площади нарушенных торфяников, дальнейшее эффективное использование которых экономически нецелесообразно. Осушенные торфяники и нарушенные болота из поглотителей углерода превращаются в его источник, что приводит к потере накопленного в почве углерода и снижению плодородия почв.

Сохранение белорусских болот в естественном состоянии – весьма актуальная задача, решение которой позволит получить целый ряд экосистемных выгод, включая сохранение запасов пресной воды, обеспечение устойчивого водного питания рек и озер, ежегодное выведение из атмосферы диоксида углерода, сохранение мест обитания, произрастания редких видов растений и животных, воспроизводство ресурсов клюквы и развитие экологического туризма [3].

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью обеспечения сохранности болот как естественных экосистем. Болота являются частью водно-болотных угодий, важность сохранения которых на международном уровне подтверждена еще в 1971 г. подписанием Рамсарской конвенции. Ухудшение экологического состояния водно-болотных угодий в целом особенно характерно для регионов с наибольшей их площадью [4].

Цель исследования – дать оценку современного состояния болот Белорусского Полесья (на примере Припятского Полесья).

Материалы и методы

Объектом исследования выбран регион Припятское Полесье как наиболее подверженный мелиорации и в полной мере ощутивший ее последствия. Несмотря на значительную трансформацию природных комплексов вследствие гидротехнической мелиорации, Припятское Полесье характеризуется богатыми ресурсами биологического и ландшафтного разнообразия общеевропейского значения. Особенностью региона является высокая заболоченность, высокая степень залесенности, относительно низкая сельскохозяйственная освоенность и др., что и предопределило высокую степень распространения естественных экосистем, главным образом лесных и болотных.

Исходными данными для исследования послужили картографические материалы, представленные в Национальном атласе Беларуси, информация Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, база данных «Торфяники Беларуси», данные дистанционного зондирования Земли.

Представленная в Национальном атласе Республики Беларусь карта болот не отражает в полной мере современную ситуацию. Созданная НПЦ по биоресурсам и Институтом природопользования НАН Беларуси в рамках выполнения международного проекта ПРООН-ГЭФ «Управление торфяниками на основе ландшафтных подходов с целью получения многосторонних экологических выгод» база данных «Торфяники Беларуси», которая была разработана на основе данных инвентаризации торфяников, содержит информацию о границах естественных и нарушенных болот, выработанных торфяных месторождений, но не отражает их типы.

Для отображения пространственного распространения болот в пределах исследуемой территории использовались данные дистанционного зондирования Земли (цифровая модель рельефа SRTM, спутниковые снимки). Космические снимки взяты со спутника Landsat-8, которые находятся в открытом доступе на сайте геологической службы США. Проведенное дешифрирование болот по космическим снимкам позволило создать картографическую базу данных болот, в которой отображены площадь, современные границы болот с учетом их типов, а также статус их охраны. Обработка космических снимков, ручное дешифрирование и создание картографических произведений было осуществлено в QGIS.

Деление болот на естественные и нарушенные осуществлялось на основании базы данных «Торфяники Беларуси» [5], а также путем дешифрирования космических снимков по фактическому состоянию и виду использования в хозяйственной и иной деятельности [6]. Анализ рекультивированных после выработки торфяных месторождений путем дешифрирования спутниковых снимков позволил разделить их на следующие категории:

- 1) обводненные земли;
- 2) земли сельскохозяйственного назначения;
- 3) земли лесохозяйственного назначения;
- 4) земли с водными объектами в границах торфяного месторождения.

Результаты и их обсуждение

Из 2 939 тыс. га торфяных болот Беларуси, которые занимали около 14 % площади страны, после осушения в естественном или близком к нему состоянии сохранилось 863 тыс. га (29,3 % от первоначальной площади), из которых 630 тыс. га находятся в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ), около 313 тыс. га нуждаются в установлении режима специальной охраны. Международный статус охраны имеют 314 тыс. га болот Беларуси [7].

На территории Припятского Полесья болота (как естественные, так и нарушенные) занимают около 894 тыс. га, или 41 % площади региона. В зависимости от положения в рельефе, характера водно-минерального питания, преобладающей растительности выделяются низинный, переходный и верховой типы болот (рисунок 1). Наибольшую площадь здесь занимают низинные болота – 29 % территории (или 71 % от площади болот). Они распространены повсеместно, формируются в понижениях рельефа, в условиях богатого водно-минерального питания грунтовыми или речными водами и атмосферными осадками. Многие из них осушены. Переходные болота занимают около 6 % от площади Припятского Полесья и встречаются среди низинных и верховых, образуя с ними комплексы. Чаше они формируются по периферии верховых болот, при зарастании и заболачивании водоемов или представляют собой эволюционную

стадию развития болот от низинных к верховым. Верховые болота, как и переходные, занимают около 6 % площади региона и сконцентрированы в основном в юго-восточной части.

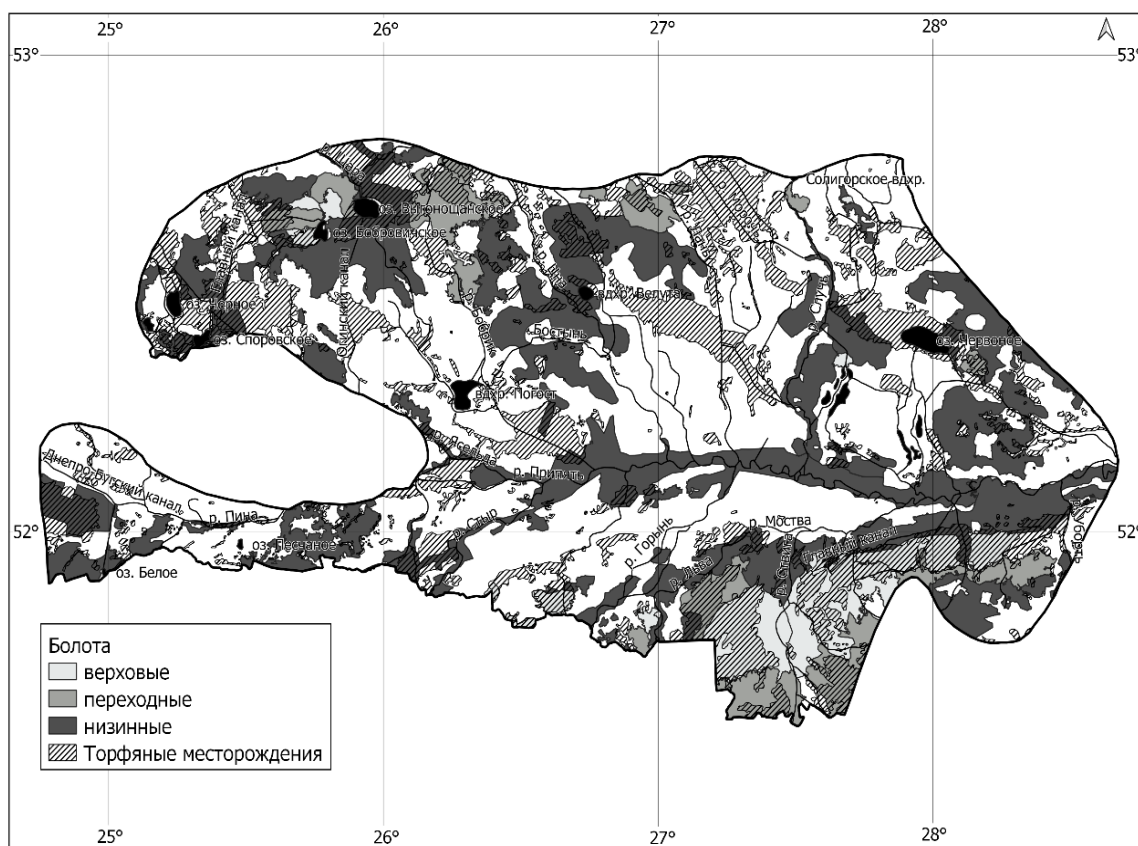


Рисунок 1. – Болота и торфяные месторождения Припятского Полесья

Природопользование в пределах болотных массивов связано прежде всего с торфодобычей. Общая площадь торфяных месторождений в нулевых границах в пределах Припятского Полесья оценивается в 521 тыс. га, что составляет около 22 % от показателей по стране. В земельном фонде – 276 тыс. га. В фонд особо ценных видов торфа включены 143 га. Разрабатываемый фонд – 20,9 тыс. га, который концентрируется в основном в малых по площади месторождениях. Из промышленной эксплуатации выбыло 30,5 тыс. га [5]. Прогнозные запасы торфа в Припятском Полесье составляют порядка 340 млн т при условной 40 % влажности. Наибольшие запасы торфа сосредоточены на территории Столинского и Житковичского районов. Торфяные месторождения в естественном состоянии сохранились преимущественно в пределах ООПТ.

Анализ площадей торфяных месторождений Припятского Полесья показал, что на месторождения площадью менее 100 га приходится около 22 % от их общего количества. Около половины всех торфяных месторождений имеют площадь от 101 до 1 000 га, 65 месторождений (или 23 %) – от 1 001 до 10 000 га. На месторождения площадью более 10 000 га приходится около 5 % от их общего числа. Самым крупным из них является месторождение Поддубиче (площадь в нулевых границах 38 222 га) в Столинском районе. Среди месторождений, включенных в разрабатываемый фонд, наибольшими запасами торфа отличается месторождение Хворощанское (более 26 млн т), располо-

женное в Пинском районе. Большинство разрабатываемых месторождений имеют запасы торфа от 1 до 5 млн т.

Средняя глубина торфяной залежи по всем торфяным месторождениям Припятского Полесья составляет 1,23 м, среди месторождений разрабатываемого фонда – 2,06 м. Наиболее распространенными являются мелкозалежные месторождения: с глубиной залежи менее 1 м – 31,6 %, с глубиной залежи 1–2 м – 60,7 %. На средnezалежные (более 2 м) приходится менее 8 %. Наибольшая глубина залежи (2,75 м) – на месторождении Морочно в Столинском районе. Глубокозалежные месторождения (более 4 м) в пределах Припятского Полесья отсутствуют.

На рисунке 1 представлена картосхема, отражающая распространение болот и торфяных месторождений в пределах Припятского Полесья.

Охрана болот – одно из приоритетных направлений природоохранной деятельности в Республике Беларусь, что определяется важнейшим значением болотных экосистем для сохранения животного и растительного мира. Еще в 1960-е гг. одновременно с проведением широкомасштабной осушительной мелиорации болот была организована кампания по сохранению самых крупных болотных массивов. В Полесье для сохранения крупных болот и пойменных лесов был создан Припятский государственный ландшафтно-гидрологический заповедник, который в 1996 г. реорганизован в Национальный парк «Припятский». В этот же период для сохранения одного из крупнейших болотных массивов Европы был создан гидрологический заказник «Выгонощанское».

Начало планомерного развития системы ООПТ относится к первой половине 1980-х гг., когда была разработана и в 1983 г. утверждена правительством первая «Схема рационального размещения охраняемых природных территорий БССР на период до 1990 г.».

В 1991 г. группой специалистов под руководством И. Г. Тановицкого разработана «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 г.».

В октябре 1994 г. издан Закон Республики Беларусь «Об особо охраняемых территориях и объектах». Дальнейшее развитие системы ООПТ реализуется путем разработки периодических Схем рационального размещения ООПТ Республики Беларусь (1994–2005, 2006–2015 гг.). В рамках реализации Схем на базе болот были объявлены республиканские заказники «Морочно», «Старый Жаден» и др.

Период с 2007 по 2015 г. ознаменовался активизацией деятельности по упорядочению системы ООПТ местного значения.

К настоящему времени в пределах Припятского Полесья сложилась сложная природоохранная сеть, статус охраны имеет 20,9 % территории округа, что в 2 раза выше, чем средний показатель по Беларуси.

Система ООПТ Припятского Полесья включает 77 объектов, в т. ч. один национальный парк, 15 заказников республиканского значения (6 ландшафтных, 6 биологических, один гидрологический, два водно-болотных), 22 заказника местного значения (1 ландшафтный, 11 биологических, 8 гидрологических, два водно-болотных), четыре памятника природы республиканского и 35 местного значения. 13 ООПТ региона имеют международный природоохранный статус [8].

В состав ООПТ входят значительные площади болот (47 %), из них 61 % – низинных, 21 % – верховых и 18 % – переходных. При этом наибольшую площадь болота занимают в составе заказников (37 %) (рисунок 2).

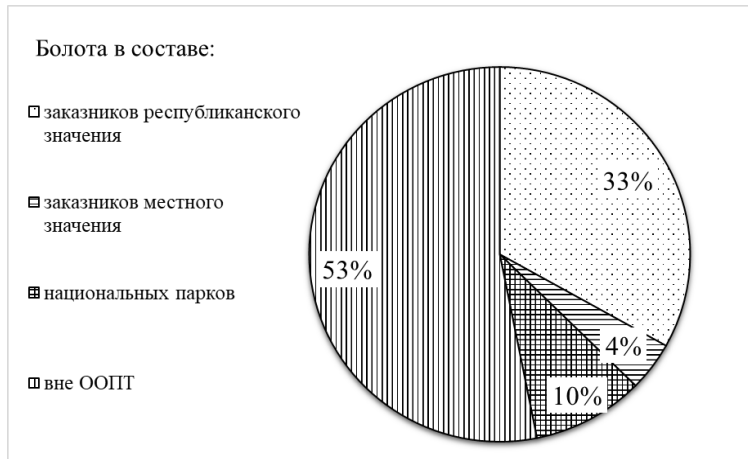


Рисунок 2. – Обеспеченность болот Припятского Полесья природоохранным статусом

Значительная часть природных территорий, расположенных в пойме р. Припять и на прилегающих землях, включена в различные международные природоохранные списки в связи с их исключительной ценностью. Так, 10 ООПТ Припятского Полесья включено в список водно-болотных угодий международного значения в соответствии с Рамсарской конвенцией, они занимают 17,8 % площади региона (рисунок 3). Это национальный парк «Припятский» и 9 республиканских заказников («Споровский», «Подвеликий мох», «Выгонощанский», «Званец», «Средняя Припять», «Простырь», «Морочно», «Ольманские болота», «Старый Жаден»).

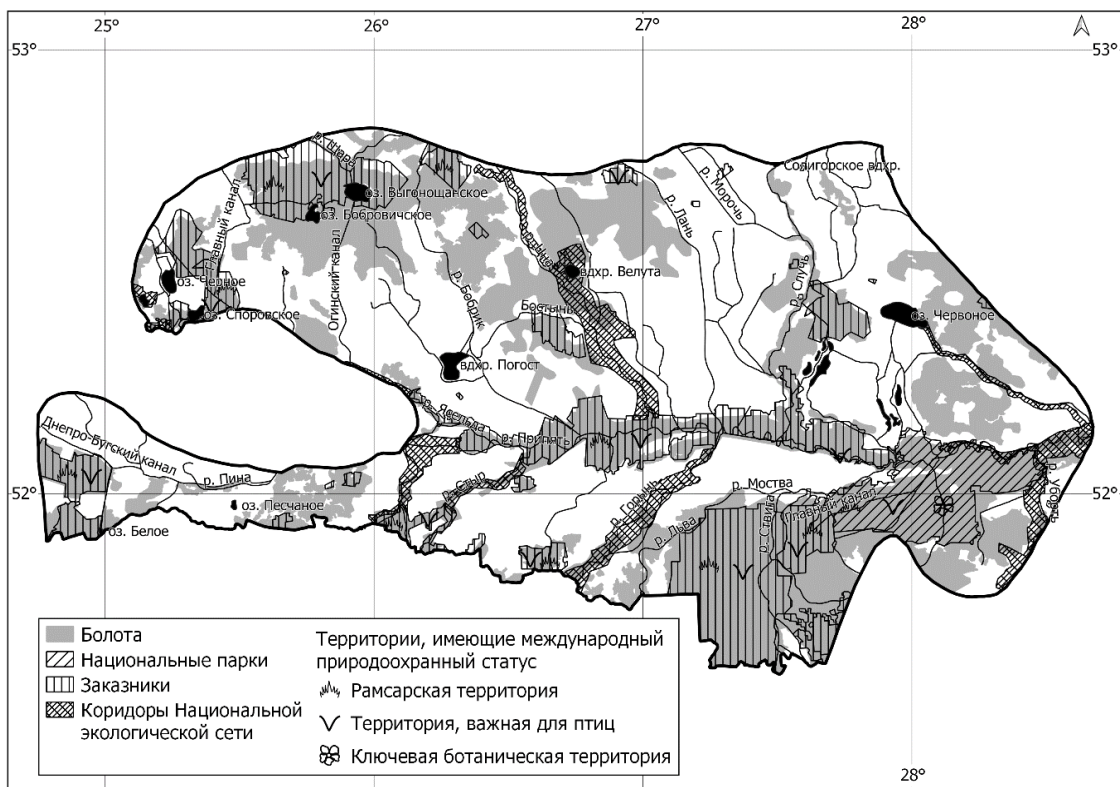


Рисунок 3. – Болота Припятского Полесья в системе природоохранных территорий

Кроме того, в Припятском Полесье расположены два из четырех водно-болотных угодий Беларуси, которые признаны Секретариатом Рамсарской конвенции частями трансграничных водно-болотных угодий международного значения (занимают 4,7 % территории): «Простырь – Припять – Стоход» и «Ольманские болота – торфяной массив «Переброды» (Беларусь – Украина). Статус территорий, важных для птиц (ключевые орнитологические территории), имеют 9 республиканских заказников (всего в Беларуси 17) и два заказника местного значения (всего в Беларуси пять). Они занимают 17,7 % площади. Одна ООПТ Припятского Полесья имеет статус ключевой ботанической территории – национальный парк «Припятский», который отличается исключительным богатством растительности.

На рисунке 3 представлена схема расположения природоохранных территорий Припятского Полесья с элементами национальной экологической сети.

Около 27 % территории Припятского Полесья (6 000 км²) входит в национальную экологическую сеть, которая представлена 9 ядрами и 7 коридорами. Ядра экологической сети занимают площадь около 4 800 км², а коридоры экологической сети – 1 200 км². Среди ядер экологической сети четыре относятся к ядрам европейского уровня (Морочно, Простырь, Припятское, Полесские болота), три ядра национального уровня (Выгоношанское, Званец, Споровское) и два регионального уровня (Лунино, Червоное). На территории Припятского Полесья один коридор экологической сети имеет международный уровень (Припятский), пять являются коридорами национального уровня (Горынский, Стырский, Уборть, Цна, Ясельда) и один регионального уровня (Бобрин). Экологические коридоры проходят по таким рекам, как Припять, Уборть, Горынь, Стырь, Ясельда, Цна, Бобрин [9].

Важнейшими документами, определяющими направления охраны и использования торфяного фонда страны, являются «Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников» [10] и Схема распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 г. [11].

Болота играют важную роль в предупреждении потепления климата, поэтому повторное заболачивание осушенных торфяников рассматривается РКИК ООН в качестве меры, направленной на сокращение выбросов по всем предусмотренным Киотским протоколом видам земле- и лесопользования. В 2019 г. в Беларуси принят закон «Об охране и использовании торфяников» [12].

В результате мелиорации и добычи торфа актуальной для Беларуси стала проблема деградации болот. Осушенные болота на территории Припятского Полесья были переданы в сельскохозяйственный и лесной фонды. На ряде торфяных месторождений осуществляется добыча торфа, некоторые выбыли из промышленной эксплуатации. Согласно ТПК 17.12-01-2008 (02120) «Правила и порядок определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот» рекультивация выработанных торфяных месторождений может осуществляться по следующим направлениям: природоохранное (повторное заболачивание), водохозяйственное, лесохозяйственное, сельскохозяйственное, рекреационное использование.

Материалы космической съемки [13] показали, что из общей площади выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Припятского Полесья 83 % занимают обводненные земли (77 выделов общей площадью около 25 200 га), к которым отнесены также участки, подверженные повторному заболачиванию в рамках реализации международных проектов (рисунок 4). 31 выдел площадью 2 800 га и 16 выделов площадью 1 400 га относятся к землям сельскохозяйственного и лесохозяйственного назначения соответственно. Для лесохозяйственных земель характерны заросли древесно-кустарниковой растительности, что свидетельствует о том, что начал-

ся процесс постепенной трансформации луговых угодий в лугово-кустарниковые. Постепенное зарастание луговых угодий кустарником связано с многолетними периодами времени, в течение которых не производилось выкашивание или сведение кустарника другими способами. В перспективе эти участки постепенно трансформируются в лесные угодья, если кустарник не будет сведен, а луговые угодья не будут улучшены [14]. Еще 11 выделов площадью 1 100 га относятся к землям с водными объектами в границах торфяного месторождения.

Беларусь – один из лидеров в мире по сохранению и восстановлению нарушенных торфяных болот путем их повторного заболачивания. На территории Припятского Полесья повторному заболачиванию были подвергнуты три территории площадью 12 700 га. Проекты реализовывались в 2009 г. Сегодня эти территории соответствуют здоровым заболоченным экосистемам. Также наблюдается положительный эффект от заболачивания на прилегающих сельскохозяйственных угодьях.

Кроме того, проводятся работы по экологической реабилитации болот, которые включают восстановление гидрологического режима, кошение болота и управляемое выжигание (рисунок 4). Так, на территории болота Великий Лес в 2003 г. проведено строительство гидротехнических сооружений. В пределах заказника Споровский в 2003 и 2004 гг. проведено регулирование уровня воды в р. Ясельда. Выбор данных объектов для восстановления гидрологического режима обусловлен их важной ролью в сохранении популяции вертялой камышевки. В начале февраля 2019 г. сложились благоприятные условия для управляемого выжигания на одной из проектных территорий – болоте Званец. Выжигание проводилось структурой управления заказником «Званец», с участием сотрудников НПЦ по биоресурсам. А летом 2019 г. в рамках проекта ПРООН-ГЭФ Ветландс на болоте Званец выполнялись работы по регулярному кошению болота с целью удаления кустарников, тростника и формирования открытых осоковых болот.

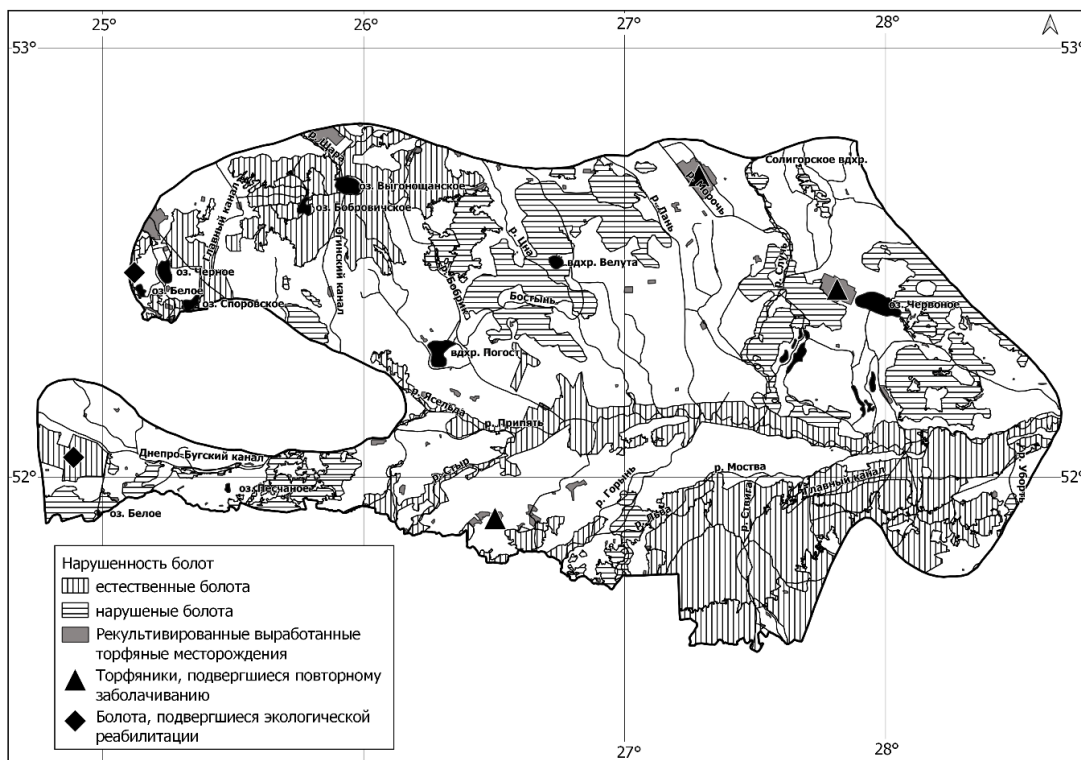


Рисунок 4. – Современное состояние болот Припятского Полесья

На территории Припятского Полесья 64 % болот относятся к естественным болотам, соответственно, 36 % – нарушенные болота. Значительный процент естественных болот свидетельствует о значимости природоохранных мер для сохранения данных экосистем. Среди естественных болот под охраной находится 372 тыс. га, или 65 %, среди нарушенных – 44 тыс. га, или 14 %.

Для нарушенных болот разрабатывается национальная программа их экологической реабилитации до 2040 г. Составлен предварительный список болот и торфяников, подлежащих экологической реабилитации в долгосрочной перспективе. В качестве критерия отбора выступают площадь объекта (не менее 50 га) и территориальная приуроченность и экологическая связь с важными объектами (естественные объекты, ООПТ национального и/или международного значения).

Принимаемые меры по восстановлению деградированных и неэффективно осушенных болот будут способствовать сокращению выбросов в атмосферу диоксида углерода, что является одним из шагов в решении проблемы по борьбе с изменением климата. Также реабилитация нарушенных болот поможет стабилизировать уровень грунтовых вод, предотвратить минерализацию торфа и высыхание почв, окажет положительное влияние на сохранение биоразнообразия.

Полесские болота являются мощным средообразующим фактором не только для территории нашей страны, но и для всей европейской части континента. Целью национальной экологической политики признается улучшение качества окружающей среды, обеспечение экологической безопасности, эффективное использование природных ресурсов при сохранении целостности природных комплексов, в т. ч. уникальных.

Заключение

Припятское Полесье – наиболее заболоченный округ Белорусского Полесья. Болота здесь занимают 893 800 га, или 41 % площади. Наибольшую территорию занимают низинные болота (29 % территории, или 71 % от общей площади болот). На переходные и верховые приходится по 6 % площади региона.

Припятское Полесье отличается высокой долей охраняемых территорий: ООПТ занимают 20,9 % площади, что в два раза выше, чем средний показатель по Беларуси. В состав ООПТ входят значительные площади болот (47 %), среди них 61 % низинных, 21 % верховых и 18 % переходных. При этом наибольшую площадь болота занимают в составе заказников (37 %). Многие болота Припятского Полесья входят в состав ООПТ международного значения. Здесь расположено 10 Рамсарских угодий, одна ООПТ имеет статус ключевой ботанической территории, 12 территорий имеют важное значение для сохранения диких птиц Европы. Два водно-болотных угодья признаны частями трансграничных водно-болотных угодий международного значения.

В регионе проводятся мероприятия, направленные на решение возникших в результате осушительной мелиорации экологических проблем. Выработанные торфяные месторождения подвергаются рекультивации. Повторному заболачиванию было подвергнуто три территории площадью 12 700 га. Два болотных комплекса, входящих в состав заказников, в 2003–2004 гг. подверглись экологической реабилитации, включающей восстановление гидрологического режима, кошение и управляемое выжигание.

На территории Припятского Полесья 64 % болот относятся к естественным болотам, соответственно, 36 % – нарушенные. Значительный процент естественных болот свидетельствует о значимости природоохранных мер для сохранения данных экосистем. Среди естественных болот под охраной находится 372 тыс. га, или 65 %, а среди нарушенных – 44 тыс. га, или 14 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Природообустройство Полесья : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского [и др.]. – Рязань : Мещер. фил. ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2018. – Кн. 1 : Белорусское Полесье : в 2 т. – Т. 1 : Природно-ресурсный потенциал. – 408 с.
2. Природообустройство Полесья : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского [и др.]. – Рязань : Мещер. фил. ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2019. – Кн. 1 : Белорусское Полесье : в 2 т. – Т. 2 : Преобразование и использование природных ресурсов. – 503 с.
3. Козулин, А. В. Болота Беларуси / А. В. Козулин, Н. И. Тановицкая, Н. Н. Бамбалов. – Минск, 2017. – 105 с.
4. Trends in the ecological character of the world's wetlands [Electronic resource] / N. C. Davidson [et al.] // Marine and Freshwater Research. – 2019. – № 71. – P. 127–138. – doi.org/10.1071/MF18329.
5. База данных «Торфяники Беларуси» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peatlands.by>. – Дата доступа: 23.02.2020.
6. Навоша, Ю. Ю. Оценка состояния торфяных месторождений на основе дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения (на примере Брестской области) / Ю. Ю. Навоша, Н. И. Тановицкая // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 168–176.
7. Болота Беларуси: разнообразие и изменения за последние 50 лет / Д. Г. Груммо [и др.] // XI Галкинские чтения : материалы всерос. науч. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 21 апр. 2021 г. ; редкол.: О. В. Галанина, В. А. Смагин, Г. А. Тюсов. – СПб. : БИН РАН, 2021. – С. 11–13.
8. Особо охраняемые природные территории Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.minpriroda.gov.by/ru/osob_ohran-ru/. – Дата доступа: 03.03.2020.
9. Национальная экологическая сеть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/ru/national-ecological-network-ru/>. – Дата доступа: 03.04.2022.
10. Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 дек. 2015 г., № 1111. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Strategija-torfjaniki.docx>. – Дата доступа: 22.09.2021.
11. Схема распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 дек. 2015 г., № 1111. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C21501111_1452114000.pdf. – Дата доступа: 22.03.2021.
12. Об охране и использовании торфяников [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 18 дек. 2019 г., № 272-З. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/-N11900272_1577394000.pdf. – Дата доступа: 22.08.2021.
13. Геологическая служба США [Электронный ресурс] // EarthExplorer. – Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. – Дата доступа: 26.03.2022.
14. Ракович, В. А. Направления рационального использования выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Гомельской области с учетом их воздействия на окружающую среду / В. А. Ракович, Н. Н. Бамбалов // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 91–97.

REFERENCES

1. Prirodoustrojstvo Polies'ja : monografija : v 4 kn. / pod obshch. nauch ried. Yu. A. Mozhajskogo [i dr.]. – Riazan' : Mieshchiersk. fil. FGBNU «VNIIGiM im. A. N. Kostiakova», 2018. – Kn. 1 : Bieloruskoje Polie'je : v 2 t. – T. 1 : Prirodno-riesursnyj potencial. – 408 s.
2. Prirodoustrojstvo Polies'ja : monografija : v 4 kn. / pod obshch. nauch ried. Yu. A. Mozhajskogo [i dr.]. – Riazan' : Mieshchiersk. fil. FGBNU «VNIIGiM im. A. N. Kostiakova», 2019. – Kn. 1 : Bieloruskoje Polies'je : v 2 t. – T. 2 : Prieobrazovanije i ispol'zovanije prirodnykh riesurov. – 503 s.
3. Kozulin, A. V. Bolota Bielarusi / A. V. Kozulin, N. I. Tanovickaja, N. N. Bambalov. – Minsk, 2017. – 105 s.
4. Trends in the ecological character of the world's wetlands [Electronic resource] / N. C. Davidson [et al.] // Marine and Freshwater Research. – 2019. – № 71. – P. 127–138. – doi.org/10.1071/MF18329.
5. Baza dannyxh «Torfianiki Bielarusi» [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <http://peatlands.by>. – Data dostupa: 23.02.2020.
6. Navosha, Yu. Yu. Ocenka sostojanija torfianykh miestorozhdenij na osnovie deshifrovaniya sputnikovyx snimkov svierkhvysokogo razrieshenija (na primerie Briestskoj oblasti) / Yu. Yu. Navosha, N. I. Tanovickaja // Prirodopol'zovanije. – 2019. – № 2. – S. 168–176.
7. Bolota Bielarusi: raznoobrazije i izmienienija za poslednije 50 liet / D. G. Grummo [i dr.] // XI Galkinskije chtienija : materialy vsieros. nauch konf. s miezhdunar. uchastijem, Sankt-Pietierburg, 21 apr. 2021 g. ; riedkol.: O. V. Galanina, V. A. Smagin, G. A. Tiusov. – SPb. : BIN RAN, 2021. – S. 11–13.
8. Osobo okhraniajemyje prirodnyje tierritorii Riespubliki Bielarus' [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: http://www.minpriroda.gov.by/ru/osob_ohran-ru/. – Data dostupa: 03.03.2020.
9. Nacional'naja ekologichieskaja siet' [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <https://minpriroda.gov.by/ru/national-ecological-network-ru/>. – Data dostupa: 03.04.2022.
10. Strategija sokhranienija i racional'nogo (ustojchivogo) ispol'zovanija torfianikov [Elektronnyj riesurs] : postanovlienije Sovieta Ministrov Riesp. Bielarus', 30 diek. 2015 g., № 1111. – Riezhim dostupa: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Strategija-torfjaniki.docx>. – Data dostupa: 22.09.2021.
11. Skhiema raspriedielienija torfianikov po napravlienijam ispol'zovanija na period do 2030 goda [Elektronnyj riesurs] : postanovlienije Sovieta Ministrov Riesp. Bielarus', 30 diek. 2015 g., № 1111. – Riezhim dostupa: https://pravo.by/upload/docs/op/C21501111_1452114000.pdf. – Data dostupa: 22.03.2021.
12. Ob okhranie i ispol'zovanii torfianikov [Elektronnyj riesurs] : Zakon Riesp. Bielarus', 18 diek. 2019 g., № 272-3. – Riezhim dostupa: https://pravo.by/upload/docs/op/H11-900272_1577394000.pdf. – Data dostupa: 22.08.2021.
13. Geologichieskaja sluzhba SShA [Elektronnyj riesurs] // EarthExplorer. – Riezhim dostupa: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. – Data dostupa: 26.03.2022.
14. Rakovich, V. A. Napravlienija racional'nogo ispol'zovanija vybyvshikh iz promyshliennoj ekspluatacii torfianykh miestorozhdenij Gomial'skoj oblasti s uchiotom ikh vozdiejstvija na okruzhajushchuju sriedu / V. A. Rakovich, N. N. Bambalov // Prirodopol'zovanije. – 2019. – № 1. – S. 91–97.

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 (не меней за 14 000 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 спасылак падаюцца ў квадратных дужках ([1–4], [1; 3], [1, с. 32], [2, с. 52–54], [3, л. 5], [4, л. боб.]). Не дапускаецца выкарыстанне канцавых зносака.

Матэрыял уключае наступныя элементы па парадку:

- індэкс УДК;
- імя, імя па бацьку, прозвішча аўтара/аўтараў (аўтараў не больш, чым 5) на мове артыкула;
- звесткі пра аўтара/аўтараў (навуковая ступень, званне, пасада, месца працы/вучобы) на мове артыкула;
- імя, імя па бацьку, прозвішча аўтара/аўтараў на англійскай мове;
- звесткі пра аўтара/аўтараў на англійскай мове;
- e-mail аўтара/аўтараў;
- назва артыкула на мове артыкула;
- анатацыя ў аб'ёме 100–150 слоў і ключавыя словы на мове артыкула (курсіў, кегль – 10 pt.);
- назва артыкула на англійскай мове;
- анатацыя і ключавыя словы на англійскай мове.

Звесткі аб навуковым кіраўніку (для аспірантаў і саіскальнікаў) указваюцца на першай старонцы ўнізе.

Асноўны тэкст структуравецца ў адпаведнасці з патрабаваннямі Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь да навуковых артыкулаў, якія друкуюцца ў выданнях, уключаных у Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў:

- Уводзіны (пастаноўка мэты і задач даследавання).
- Асноўная частка (матэрыялы і метады даследавання; вынікі і іх абмеркаванне).
- Заклучэнне (фармулююцца асноўныя вынікі даследавання, указваецца іх навізна, магчымасці выкарыстання).
- Спіс выкарыстанай літаратуры; спіс літаратуры павінен уключаць не больш за 20–22 крыніцы і абавязкова ўтрымліваць публікацыі, у тым ліку замежныя, па тэме даследавання за апошнія 10 гадоў.
- References – спіс выкарыстанай літаратуры, які прадубліраваны лацінскім алфавітам (колькасць крыніц, прыведзеных у спісе і ў References, павінна супадаць).

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- выліска з пратакола пасяджэння кафедры, навуковай лабараторыі ці ўстановы адукацыі, дзе працуе (вучыцца) аўтар, завераная пячаткаю, з рэкамендацый артыкула да друку;
- рэцэнзія знешняга ў адносінах да аўтара профільнага спецыяліста з вучонай ступенню, завераная пячаткаю;
- экспертнае заключэнне (для аспірантаў і дактарантаў).

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 *С. М. Мініч, Г. Ю. Пархац*

Падпісана ў друк 18.11.2022. Фармат 60×84/8. Папера афсетная. Гарнітура Таймс. Рызаграфія.

Ум. друк. арк. 13,95. Ул.-выд. арк. 8,63. Тыраж 100 экз. Заказ № 374.

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.