



ВЕСНИК

БРЭСЦКАГА ЎНІВЕРСІТЭТА

Рэдакцыйная калегія

галоўны рэдактар
Ю. П. Голубеў

намеснік галоўнага рэдактара
М. А. Багдасараў

адказны рэдактар
Н. С. Ступень

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

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

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

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

Серыя 5

БІЯЛОГІЯ

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

НАВУКОВА-ТЭАРЭТЫЧНЫ ЧАСОПІС

Выходзіць два разы на год

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

№ 2 / 2024

У адпаведнасці з Дадаткам да загада
Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь
ад 06.02.2024 № 30 (са змяненнямі, унесенымі загадам
ад 04.10.2024 № 233) часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта.
Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі»
ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь
для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў у 2024 г.
па біялагічных, географічных 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

Болсун И. М., Цуриков А. Г., Голубков В. В., Белый П. Н. Ревизия лишайников рода <i>Usnea</i> Беларуси. IV. <i>Usnea Glabrata</i> , <i>U. Glabrescens</i> , <i>U. Praetervisa</i>	5
Бульская И. В. Оценка влияния 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры колеуса Блюме на ранних этапах роста	15
Василевская А. В., Колбас Н. Ю. Влияние брассиностероидов на накопление фенольных соединений и антиоксидантную активность плодов <i>Vitis L.</i>	24
Вечёрко Р. В. К вопросу о наличии гибридов обыкновенного (<i>Coturnix coturnix</i>) и японского перепела (<i>Coturnix japonica</i>) в дикой популяции перепелов на территории Беларуси ...	33
Домась А. С., Шкуратова Н. В., Лукьянчик И. Д. Гумусовое состояние почв г. Бреста	41
Кароза С. Э., Швайко А. В. Влияние тетраэуксина 24-эпикастерона на морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов у гречихи посевной (<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench.)	50
Коваленко В. В. Влияние тетраэуксина 24-эпикастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимopheевки луговой (<i>Phleum Pratense L.</i>)	65
Мотыль М. М., Бакей С. К. Инвазионный потенциал распространения в Беларуси интродуцированных видов семейства астровые (<i>Asteraceae</i>)	73
Рой Ю. Ф. Анатомическое строение стебля льна-долгунца и реакция лубяных волокон на обработку некоторыми агрохимическими препаратами	85
Шималов В. В. Гельминтофауна мелких грызунов, населяющих берега каналов мелиоративных систем в Белорусском Полесье.....	93

НАВУКІ АБ ЗЬМЛІ

Волчек А. А., Кутаева Л. А. Биогенные элементы в малых реках белорусской части бассейна Западного Буга.....	104
Грядунова О. И., Абрамук М. Р. Природно-рекреационный потенциал Беларуси для развития лечебно-оздоровительного туризма.....	114
Костюченко Н. Н., Волчек А. А. Содержание подвижных соединений фосфора в почве при длительном хранении подстильного навоза в полевых условиях	125
Кухарик Е. А., Басалай Е. Н. Техноморфы коммунального типа территории юго-западной Беларуси: особенности формирования и влияния на геологическую среду	134
Маевская А. Н., Богдасаров М. А., Шешко Н. Н., Шелест Т. А. Структурно-геологическое гис-картографирование кайнозойских отложений территории Гродненской области Республики Беларусь	142
Сидорович А. А. Выполнение административных функций как фактор демографического развития поселений	149

Editorial Board

editor-in-chief
Yu. P. Golubeu

deputy editor-in-chief
M. A. Bahdasarau

managing editor
N. S. Stupen

I. V. Abramava (Belarus)
K. A. Ancipava (Belarus)
A. M. Vitchanka (Belarus)
B. P. Vlasau (Belarus)
A. A. Volchak (Belarus)
A. I. Hradunova (Belarus)
V. V. Hrychyk (Belarus)
S. V. Yemialianchyk (Belarus)
D. D. Zharnasekau (Belarus)
V. F. Kulesh (Belarus)
G. I. Licvinyuk (Belarus)
A. A. Makhnach (Belarus)
A. V. Matsveyeu (Belarus)
D. P. Plaks (Belarus)
U. U. Saltanau (Belarus)
A. A. Sidarovich (Belarus)
A. M. Tarasiuk (Belarus)

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

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

Published since December 1997

Series 5

BIOLOGY
SCIENCES ABOUT EARTH

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

Issued twice a year

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

№ 2 / 2024

According to the Supplement to the order of Supreme Certification
Commission of the Republic of Belarus from February 06, 2024 nr 30
(with the amendments made by the order of Supreme Certification
Commission from October 04, 2024 nr 223)
the journal «Vesnik of Brest University.

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

◇ ◇ ◇

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

CONTENTS

BIOLOGY

Iryna Bolsun, Andrei Tsuryskau, Vladimir Golubkov, Pavel Bely.

Revision of Lichens of the Genus *Usnea* in Belarus. IV. *Usnea glabrata*, *U. glabrescens*, *U. praetervisa*.... 5

Ina Bulskaya.

Evaluation of the Influence of 24-Epicasterone and 24-Epicasterone 2-Monosalicylate on the Morphometric and Physiological-Biochemical Parameters of *Coleus Blume* in the Early Stages of Growth15

Alyona Vasilevskaya Natallia Kolbas.

The Effect of Brassinosteroids on Accumulation Phenolic Compounds and Antioxidant Activity Fruits of *VITIS L.*.....24

Ruzana Viacorka.

To the Question of the Presence of Hybridization Between Common Quail (*Coturnix Coturnix*) and Japanese Quails (*Coturnix Japonica*) in the Wild Quail Population in Belarus.....33

Andrei Domas, Natalia Shkuratova, Irina Lukyanchik......41

Humus State of Soils in Brest

Sergey Karoza, Anastasia Shvaiko.

The Effect of Tetrasuccinate 24-Epicasterone on Morphometric Parameters and the Content of Photosynthetic Pigments in Buckwheat (*Fagopyrum Esculentum Moench.*).....50

Viktar Kavalenka.

The Effect of Tetrasuccinate of 24-Epicasterone on Morphometric and Physiological-Biochemical Parameters of Timothy (*Phleum Pratense L.*)65

Michail Motyl, Stanislav Bakei.

Invasive Potential for Spread in Belarus Introduced Species of the Aster Family (*Asteraceae*).....73

Yuri Roy.

The Anatomical Structure of the Flax Stem and the Reaction of bast Fibers to Treatment with Certain Agro-Chemical Preparations85

Vladimir Shimalov.

The Helminth Fauna of Small Rodents Living on Channel Banks of Reclamation Systems in Belorussian Polesie.....93

SCIENCES ABOUT EARTH

Alexander Volchek, Lilia Kutaeva.

Nutrients in Small Rivers of the Belarusian Part of the Zapadny Bug Basin.....104

Oksana Gryadunova, Maria Abramuk.

Natural and Recreational Potential of Belarus for the Development of Health Tourism.....114

Natalya Kostyuchenko, Alexander Volchek.

Content of Mobile Phosphorus Compounds in Soil During Long-Term Storage of Litter Manure in Field Conditions125

Evgeniy Kukharik, Katsiaryna Basalai.

Technomorphs of Public Utility Type of the Southwestern Belarus Area: Formation Features and Influence on the Geological Environment.....134

Anna Mayevskaya, Maksim Bahdasarau, Nikolay Sheshko, Tatiana Shelest.

Structural-Geological GIS-Mapping of the Cenozoic Sediments of the Territory of the Grodno region of the Republic of Belarus.....142

Alexandr Sidorovich. Performance of Administrative Functions

as a Factor of Demographic Development of Settlements149

БІАЛОГІЯ

УДК 57.063.7:582.29(476)

**Ирина Михайловна Болсун¹, Андрей Геннадьевич Цуриков^{2,3},
Владимир Владимирович Голубков⁴, Павел Николаевич Белый⁵**

¹студент 4-го курса биологического факультета

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

²д-р биол. наук, доц., проф. каф. биологии

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

³д-р биол. наук, доц., проф. каф. общей и биорганической химии

Гомельского государственного медицинского университета

⁴канд. биол. наук, доц.

⁵канд. биол. наук, доц., ученый секретарь

Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси

Iryna Bolsun¹, Andrei Tsurykau^{2,3}, Vladimir Golubkov⁴, Pavel Bely⁵

¹4th Year Student of the Faculty of Biology

of Francisk Skorina Gomel State University

²Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Biology
of Francisk Skorina Gomel State University

³Doctor of Biological Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department of General and Bioorganic Chemistry
of Gomel State Medical University

⁴Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

⁵Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,

Scientific Secretary of Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus

e-mail: ¹irisha.bolsun@gmail.com; ²tsurykau@gmail.com; ³vgolubkov@tut.by; ⁴belyj@cbg.org.by

РЕВИЗИЯ ЛИШАЙНИКОВ РОДА USNEA БЕЛАРУСИ. IV. USNEA GLABRATA, U. GLABRESCENS, U. PRAETERVISA

Проведена ревизия доступного гербарного материала лишайников рода *Usnea*, собранного на территории Беларуси в период 1924–2018 гг. Методом тонкослойной хроматографии было выявлено четыре таксона лишайников рода *Usnea*, содержащих норстиктовую кислоту в качестве основного вторичного метаболита сердцевины – *Usnea glabrata*, *U. glabrescens* var. *glabrescens*, *U. glabrescens* var. *fulvoreagens* и *U. praetervisa*, из которых *Usnea praetervisa* ранее не приводился для территории Беларуси. Представлено морфологическое описание данных видов, их химический состав, особенности экологии и данные по распространению на территории Беларуси.

Ключевые слова: биоразнообразие, вторичные метаболиты, норстиктовая кислота, распространение, экология.

Revision of Lichens of the Genus *Usnea* in Belarus. IV. *Usnea glabrata*, *U. glabrescens*, *U. praetervisa*

Revision of the available herbarium material of the lichen genus *Usnea* collected on the territory of Belarus in the period of 1924–2018 was carried out. Using thin-layer chromatography, four taxa of *Usnea* containing norstictic acid as the main secondary metabolite were identified, namely *Usnea glabrata*, *U. glabrescens* var. *glabrescens*, *U. glabrescens* var. *fulvoreagens* and *U. praetervisa*, of which *Usnea praetervisa* has not been previously reported for Belarus. Morphological descriptions of these species, their chemical composition, ecological features and data on distribution on the territory of Belarus are presented.

Key words: biodiversity, secondary metabolites, norstictic acid, distribution, ecology.

Введение

Род *Usnea* Dill. ex Adans. является одним из самых многочисленных в семействе Parmeliaceae [1]. Различать виды данного рода иногда достаточно сложно: многие имеют переходные формы, и значительная часть гербарного материала часто бывает

ошибочно идентифицирована или хранится в гербарных коллекциях с определением только до ранга рода. Род *Usnea* также известен из-за своей сложной таксономии – по всему миру опубликовано более 770 названий, и около половины из них можно считать синонимами [2].

В Беларуси определение гербарных образцов традиционно основывалось на морфолого-анатомических критериях и применении цветных точечных капельных химических реакций, что не всегда является надежным средством идентификации представителей рода *Usnea* и не позволяет достоверно определить гербарный материал в соответствии с современными видовыми концепциями изучаемого рода. В связи с этим ревизия доступного гербарного материала лишайников рода *Usnea*, собранного ранее на территории Беларуси, с применением современных методов идентификации представляется актуальной.

Материал и методы исследования

Материалом для данного исследования послужили образцы лишайников рода *Usnea*, хранящиеся в гербариях Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины (GSU), Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси (MSK-L), Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (MSKH), Белорусского государственного университета (MSKU) и Ботанического института имени В. Л. Комарова Российской академии наук (LE). Всего было проанализировано 462 гербарных образца сборов 1924–2018 гг. Дублетные сборы, хранящиеся в разных гербариях, принимали за один гербарный образец.

Морфологию образцов изучали с помощью стереомикроскопа Nikon SMZ-745, состав вторичных метаболитов – методом тонкослойной хроматографии в системе растворителей С [3]. Для этого фрагмент слоевища лишайника помещали в микроцентрифужную пробирку объемом 1,5 мл. Экстракцию вторичных метаболитов лишайника проводили ацетоном в течение 1 часа. После этого 30 мкл экстракта наносили на пластины для тонкослойной хроматографии со стандартным силикагелем и ультрафиолетовым индикатором Macherey-Nagel Alugram Sil G UV254. Элюирование пластины до оптимальной длины продвижения фронта (12 см) проводили в течение 40 мин. Визуализацию разделяемых веществ смеси проводили под ультрафиолетовым излучением с длинами волн 254 и 366 нм, а также химическим методом путем обработки пластины 10 % раствором серной кислоты (H_2SO_4) и последующим нагреванием пластины в сушильном шкафу до температуры 110 °C в течение 10 минут. В качестве контроля использовали лишайники *Platismatia glauca* (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb. и *Pleurosticta acetabulum* (Neck.) Elix & Lumbsch, содержащие атранорин, норстиктовую и каператовую кислоты.

Результаты и их обсуждение

Результаты наших исследований показали, что в Беларуси произрастают четыре таксона лишайников рода *Usnea*, содержащих норстиктовую кислоту в качестве основного вторичного метаболита сердцевины – *Usnea glabrata* (Ach.) Vain. (два образца, или 0,4 % от количества исследованных), *U. glabrescens* (Vain.) Räsänen var. *glabrescens* (12 образцов, или 2,6 %), *U. glabrescens* var. *fulvoreagens* Räsänen (20 образцов, или 4,3 %) и *U. praetervisa* (Asahina) P. Clerc (один образец, или 0,2 %). Из указанных видов *Usnea praetervisa* ранее не приводился для территории Республики Беларусь. Ниже приводим морфологические описания выявленных видов, а также их химический состав, экологию и данные по распространению на территории Беларуси.

Usnea glabrata (Ach.) Vain.

Морфологические особенности. Таллом до 5 см длиной, торчащий, зеленовато-го оттенка, ветвящийся анизотомически-дихотомически. Основание не черного цвета, с кольцевыми трещинами. Основные ветви несколько вздутые, ямчатые. Боковые ветви сужены в месте прикрепления, с кольцевыми трещинами. Сосочки многочисленны только на главных ветвях. Фибриллы обильные, шиповатые, неравномерно распределены по всем ветвям. Соралии округлой или неправильной формы, от глубоко вогнутых до выпукло-шаровидных, занимающие около половины диаметра ветви. Изидиоморфы отсутствуют. Апотециев в белорусском материале не обнаружено. От остальных лишайников рода *Usnea* Беларуси *U. glabrata* четко отличается суженными в местах прикрепления боковыми ветвями.

Состав вторичных метаболитов. В настоящее время известно три хемотипа этого вида. Образцы I хемотипа содержат норстиктовую и салациновую кислоты (иногда протоцеттаровая кислота может содержаться в качестве сопутствующего вещества); образцы II хемотипа – протоцеттаровую и фумарпротоцеттаровую кислоты; для образцов III хемотипа характерно отсутствие вторичных веществ сердцевины [4]. Нами было выявлено два образца данного вида, относящихся к I хемотипу. Для первого образца характерно наличие норстиктовой и салациновой кислот, для второго образца – только салациновой кислоты.

Химически вид идентичен *Usnea glabrescens* var. *glabrescens*, поскольку оба содержат норстиктовую и салациновую кислоты в качестве основных веществ. *Usnea glabrescens* var. *glabrescens* отличается длинным слоевищем, черным основанием, гладкой поверхностью основных ветвей, не суженными в месте прикрепления боковыми ветвями, редкими фибриллами, присутствием изидиоморфов.

В Беларуси встречается еще несколько видов, которые содержат салациновую кислоту в качестве основного вещества: *Usnea barbata* (L.) F. H. Wigg., *U. cavernosa* Tuck., *U. dasopoga* (Ach.) Nyl., *U. intermedia* (A. Massal.) Jatta, *U. perplexans* Stirt., *U. substerilis* Motyka и *U. wasmuthii* Räsänen. При этом все эти виды четко отличаются не суженными в местах прикрепления боковыми ветвями. Кроме этого, *U. barbata*, *U. cavernosa* и *U. dasopoga* отличаются длинным повисающим талломом, *U. intermedia* – присутствием апотециев и отсутствием соралий, *U. wasmuthii* – наличием продольно ориентированных трещин на основании таллома и присутствием изидиоморфов.

Условия местообитания и субстратная приуроченность. Один образец *Usnea glabrata* был собран в смешанном лесу, для второго образца информация об условиях произрастания отсутствовала. Образцы произрастали на сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ясене обыкновенном (*Fraxinus excelsior* L.).

Распространение. Встречается в Европе, Азии, Северной и Южной Америке [5]. На территории Республики Беларусь *Usnea glabrata* известен из двух локалитетов в Житковичском и Минском районах Гомельской и Минской областей соответственно (рисунок 1).

Исследованные образцы. ГОМЕЛЬСКАЯ ОБЛ., Житковичский р-н, НП «Припятский», Озеранское лесничество, окр. г. Туров, окр. Царь-сосны, в смешанном лесу на ясене, В. В. Голубков, 22.08.2010 (MSK-L, GSU); МИНСКАЯ ОБЛ., Минский р-н, окр. д. Лапичи, на сосне, 01.07.1939 (MSK-L, GSU).

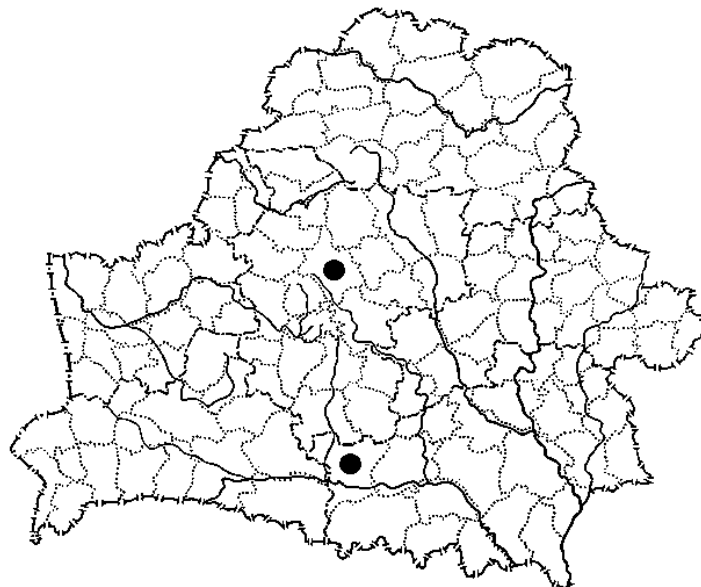


Рисунок 1 – Распространение *Usnea glabrata* на территории Беларуси

Usnea glabrescens* (Vain.) Räsänen var. *glabrescens

Морфологические особенности. Таллом до 20 см длиной, торчащий или полуповисающий, зеленоватого оттенка, ветвящийся преимущественно изотомически-дихотомически с расходящимися ветвями. Основание черного цвета, с кольцевыми трещинами. Основные ветви цилиндрические, сужающиеся, без ямок, с многочисленными ответвлениями вблизи базальной части. Боковые ветви не сужены в месте прикрепления. Сосочки редкие и почти незаметные. Фибриллы редкие и неравномерно распределенные. Соралии встречаются в основном на концевых ветвях, сначала точечные, позже становятся более заметными, обычно круглые и не выемчатые. Изидиоморфы встречаются крайне редко и небольших размеров. Апотеции в белорусских образцах отсутствуют.

По общему габитусу, экологии и по одному из хемотипов (отсутствие вторичных веществ сердцевины) *Usnea glabrescens* var. *glabrescens* похож на *U. glabrescens* var. *fulvoreaegens*. Отличаются таксоны рядом морфологических признаков: для *U. glabrescens* var. *glabrescens* характерно наличие редких и неравномерно распределенных фибрилл, округлых и не выемчатых соралий, а также изидиоморфов; для *U. glabrescens* var. *fulvoreaegens* характерно наличие многочисленных фибрилл, которые напоминают рыбы кости, глубоко выемчатых соралий неправильной формы, отсутствие изидиоморфов.

Состав вторичных метаболитов. В зависимости от сочетания вторичных метаболитов сердцевины в настоящее время выделяют четыре хемотипа *Usnea glabrescens* var. *glabrescens*. Для образцов I хемотипа характерно наличие норстиктовой и салациновой кислот (иногда протоцеттаровая и стиктовая кислоты могут содержаться в качестве сопутствующих веществ); для образцов II хемотипа – норстиктовой кислоты (иногда может содержаться стиктовая кислота в качестве сопутствующего вещества); у образцов III хемотипа вторичные вещества сердцевины отсутствуют; образцы IV хемотипа содержат псоромовую кислоту [4]. На территории Беларуси встречаются I, II и III хемотипы. Белорусские образцы I хемотипа содержали норстиктовую и салациновую кислоты (три образца, или 25 % от всех образцов), образцы II хемотипа – норстиктовую и стиктовую кислоты (пять образцов, или 41,7 %) и только норстиктовую кислоту (три

образца, или 25 %), образцы III хемотипа вторичных веществ сердцевины не содержали (один образец, или 8,3 %).

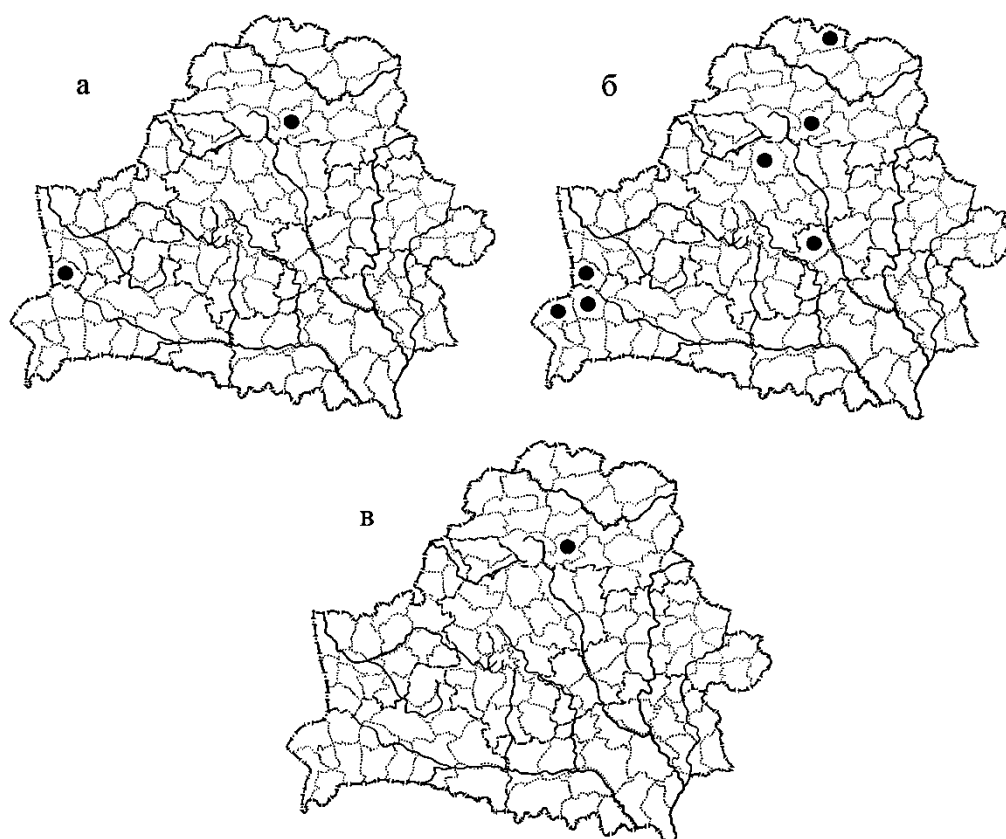
Из лишайников рода *Usnea* Беларуси норстиковую и салациновую кислоты содержит также *U. glabrata*, который отличается коротким слоевищем, темным, но не черным основанием, ямчатыми основными ветвями, суженными в месте прикрепления боковыми ветвями, обильными фибриллами и отсутствием изидиоморфов.

Образцы III хемотипа химически идентичны *U. hirta* (L.) F.H. Wigg. и *U. intermedia*, т. к. эти виды также могут не содержать вторичных метаболитов сердцевины. *Usnea hirta* отличается светлым основанием и ямчатыми ветвями, *U. intermedia* – отсутствием соралий и присутствием апотециев.

Условия местообитания и субстратная приуроченность. Образцы *U. glabrescens* var. *glabrescens* были собраны в дубравах (три образца (25 % от всех образцов)), сосняках (два образца (16,7 %)), ельнике, черноольшанике и на открытом местообитании у дороги (по одному образцу (по 8,3 %)). Для остальных четырех образцов (33,4 %) информация об условиях произрастания отсутствовала.

В качестве субстрата вид предпочитает кору березы повислой (*Betula pendula* Roth) (пять образцов (41,7 %)), дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) (пять образцов (41,7 %)), ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) (один образец (8,3 %)). Для одного образца (8,3 %) информация о субстрате отсутствовала.

Распространение. Вид широко распространен на территории Европы, Северной и Южной Америки (включая Арктические широты) [6]. Наши исследования показали, что вид *U. glabrescens* var. *glabrescens* редко встречается на территории Республики Беларусь (рисунок 2).



а – хемотип I; б – хемотип II; в – хемотип III

Рисунок 2 – Распространение *Usnea glabrescens* var. *glabrescens* на территории Беларуси

Исследованные образцы. Хемотип 1. НП «Беловежская пуца», на дубе, Н. В. Горбач, 10.06.1960 (MSK-L, GSU); ВИТЕБСКАЯ ОБЛ., Лепельский р-н, Березинский биосферный заповедник, урочище Куты, в сосняке-зеленомошнике на березе, Н. В. Горбач, 16.05.1968 (MSK-L, GSU); ГРОДНЕНСКАЯ ОБЛ., Свислочский р-н, Национальный парк «Беловежская пуца», Бровское лесничество, кв. 87, 0,5 км ЮЗ д. Бровск, в черноольшанике осоковом на ольхе черной, В. В. Голубков, 25.07.1984 (MSK-L, GSU).

Хемотип 2. БРЕСТСКАЯ ОБЛ., Каменецкий р-н, Пашуковское лесничество, кв. 589Б, в дубраве грабово-кисличной на дубе (MSK-L, GSU); Пружанский р-н, Национальный парк «Беловежская пуца», Переровское лесничество, кв. 590, окр. хут. Перерово, в дубраве чернично-кисличной на дубе, В. В. Голубков, 26.07.1988 (MSK-L, GSU); Переровское лесничество, кв. 591, 121, в дубраве чернично-кисличной на дубе, В. В. Голубков, 28.07.1983 (MSK-L, GSU); ВИТЕБСКАЯ ОБЛ., Лепельский р-н, Березинский биосферный заповедник, окр. д. Крайцы, В. В. Голубков, 03.11.1986 (MSK-L, GSU); Россонский р-н, у дороги на березе, Н. В. Горбач, 30.09.1984 (MSK-L, GSU); ГРОДНЕНСКАЯ ОБЛ., Свислочский р-н, Национальный парк «Беловежская пуца», Язвинское лесничество, кв. 113, в ельнике кисличном на дубе, В. В. Голубков, 26.09.1984 (MSK-L, GSU); МИНСКАЯ ОБЛ., Логойский р-н, окр. г. п. Плещеницы, между 63 и 64 км по Витебскому шоссе, в сосняке березово-разнотравном на березе, В. В. Голубков, 21.07.1975 (MSK-L, GSU); МОГИЛЕВСКАЯ ОБЛ., Осиповичский р-н, Осиповичский лесхоз, Цельское лесничество, кв. 23, на березе, Н. В. Горбач, 31.05.1968 (MSK-L, GSU).

Хемотип 3. ВИТЕБСКАЯ ОБЛ., Лепельский р-н, Березинский биосферный заповедник, Савский бор, на березе, Н. В. Горбач, июнь 1963 г. (MSK-L, GSU).

***Usnea glabrescens* var. *fulvoreagens* Räsänen**

Морфологические особенности. Таллом до 10 см длиной, торчащий или полуповисающий, зеленоватого оттенка, ветвящийся преимущественно изотомически-дихотомически с расходящимися ветвями. Основание черного цвета, без кольцевых трещин. Основные ветви цилиндрические, с множеством ответвлений по всей длине. Боковые ветви не сужены в месте прикрепления. Сосочки от редких до многочисленных, наиболее частые на главных ветвях. Фибриллы обычно многочисленные и длинные, напоминают рыбы кости. Соралии в основном неправильной формы, реже округлые, глубоко выемчатые, занимающие более половины диаметра ветви. Изидиоморфы отсутствуют. Апотеции в белорусских образцах не встречались.

От схожего по общему габитусу, экологии и по одному из хемотипов (отсутствие вторичных веществ сердцевин) *U. glabrescens* var. *glabrescens* отличается многочисленными фибриллами, напоминающими рыбы кости, глубоко выемчатыми соралиями неправильной формы и отсутствием изидиоморфов.

Состав вторичных метаболитов. В настоящее время выявлено три хемотипа *Usnea glabrescens* var. *fulvoreagens* [7], все из которых были обнаружены на территории Беларуси. Образцы I хемотипа содержали норстиктовую и диффрактаевую кислоты (три образца, или 15 % от всех образцов) или только норстиктовую кислоту (13 образцов, или 65 %); образцы II хемотипа вторичных веществ сердцевин не содержали (три образца, или 15%); образцы III хемотипа содержали только стиктовую кислоту (один образец, или 5 %).

Образцы I хемотипа химически идентичны *Usnea praetervisa*, также содержащему только норстиктовую кислоту в качестве основного вторичного метаболита. Вид *Usnea praetervisa* отличается присутствием кольцевых трещин у основания, сужающимися в местах разветвления основными ветвями, неравномерно расположенными фибриллами и присутствием изидиоморфов.

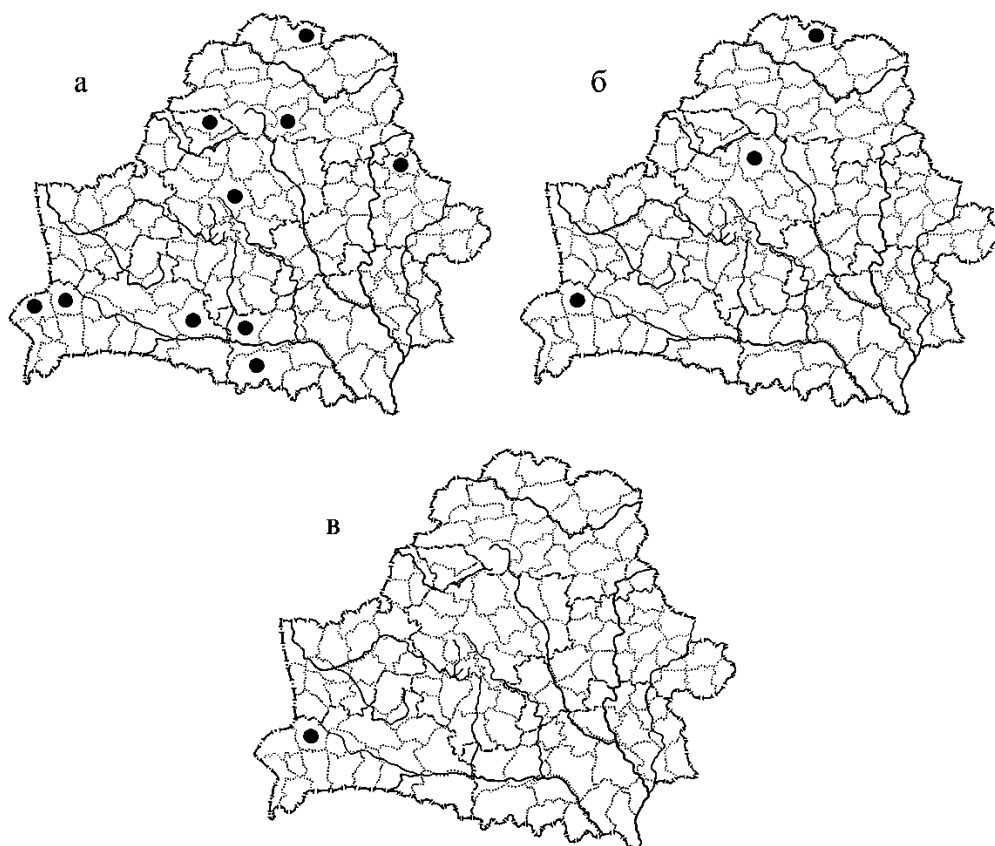
Среди лишайников рода *Usnea* Беларуси норстиковую кислоту содержат еще *U. glabrata* и *U. glabrescens* var. *glabrescens*, однако кроме нее данные таксоны в качестве основного вторичного метаболита также содержат салациновую кислоту, что позволяет отличить *Usnea glabrescens* var. *fulvoreagens* методом тонкослойной хроматографии.

Вторичные вещества сердцевинки могут отсутствовать у *U. hirta* и *U. intermedia*. *Usnea hirta* отличается светлым основанием и ямчатой поверхностью ветвей, *U. intermedia* – отсутствием соралий и наличием апотециев.

Условия местообитания и субстратная приуроченность. Образцы *U. glabrescens* var. *fulvoreagens* были собраны в сосняках (четыре образца (20 % от всех образцов)), ельниках (три образца (15 %)), на опушке верхового болота (два образца (10 %)), в березняке, лесном массиве, черноольшанике и на открытом месте (по одному образцу (20 %)). Для семи образцов (35 %) информация об условиях произрастания отсутствовала.

Исследованные образцы произрастали на березе повислой (*Betula pendula*) (11 образцов (55 %)), иве белой (*Salix alba* L.) и ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) (по два образца (20 % от всех образцов)), дубе черешчатом (*Quercus robur*), ольхе черной (*Alnus glutinosa*) и осине обыкновенной (*Populus tremula* L.) (по одному образцу (15 % от всех образцов)).

Распространение. Вид широко распространен на территории Европы, Азии, Северной Америки [6; 8]. Наши исследования показали, что *U. glabrescens* var. *fulvoreagens* является достаточно редким видом, спорадически встречающимся на территории Республики Беларусь (рисунок 3).



а – хемотип I; б – хемотип II; в – хемотип III

Рисунок 3 – Распространение *Usnea glabrescens* var. *fulvoreagens* на территории Беларуси

Исследованные образцы. Хемотип 1. БРЕСТСКАЯ ОБЛ., Каменецкий р-н, Национальный парк «Беловежская пуца», Королево-Мостовское лесничество, кв. 806, 3 км СВ д. Каменюки, на дубе, В. В. Голубков, 12.07.1983 (MSK-L, GSU); Лунинецкий р-н, г. п. Микашевичи, в березняке папоротниковом на березе, Е. П. Скаун, август 1967 г. (MSKU, GSU); Пружанский р-н, Национальный парк «Беловежская пуца», Переровское лесничество, кв. 588, окр. хут. Перерово, у дороги, на опушке верхового болота на иве, В. В. Голубков, 22.06.1984 (MSK-L, GSU); Национальный парк «Беловежская пуца», Ощепское лесничество, кв. 165, в сосняке вересково-мшистом на березе, В. В. Голубков, 27.09.1984 (MSK-L, GSU); ВИТЕБСКАЯ ОБЛ., Лепельский р-н, Березинский биосферный заповедник (ББЗ), окр. д. Домжерицы, в черноольшанике, Н. В. Горбач, 03.11.1968 (MSK-L, GSU); ББЗ, по дороге из д. Крайцы в д. Броды, на березе, Н. В. Горбач, 20-21.10.1961 (MSK-L, GSU); ББЗ, урочище «Великая река», на березе, Д. К. Гесь, 20.05.1960 (MSK-L, GSU); ББЗ, урочище «Нешково», на березе, Н. В. Горбач, 12.10.1962 (MSK-L, GSU); ББЗ, урочище «Увязок», на березе, Н. В. Горбач, июнь 1963 г. (MSK-L, GSU); Россонский р-н, окр. д. Юховичи, у дороги, в ельнике осиново-березово-черничном на березе, В. В. Голубков, 30.03.1987 (MSK-L, GSU); ГОМЕЛЬСКАЯ ОБЛ., Житковичский р-н, Национальный парк «Припятский», Переровское лесничество, кв. 23, в сосняке орляковом на березе, Л. Н. Парукова, 16.05.1973 (GSU); Лельчицкий р-н, Млынокское лесничество, кв. 7, в сосняке лишайниковом на березе, 18.07.1974 (MSK-L, GSU); МИНСКАЯ ОБЛ., Минский р-н, Прилепская лесная дача, 3 км СВ д. Слободщина, в лесном массиве на березе, Г. Н. Антонов, О. М. Масловский, 15.10.1976 (MSKU, GSU); Мядельский р-н, ГЛЗ «Голубые озера», окр. оз. Свинок, на ели, 10.08.1984 (MSKU, GSU); МОГИЛЕВСКАЯ ОБЛ., Горецкий р-н, г. Горки, в сосняке на осине, 03.06.1929 (MSK-L, GSU); г. Горки, в посадках деревьев, Н. О. Цеттерман, 03.06.1929 (MSKU, GSU).

Хемотип 2. БРЕСТСКАЯ ОБЛ., Пружанский р-н, Национальный парк «Беловежская пуца», Переровское лесничество, кв. 588, окр. хут. Перерово, на опушке верхового болота на иве, В. В. Голубков, 22.06.1983 (MSK-L, GSU); ВИТЕБСКАЯ ОБЛ., Россонский р-н, болото «Большой Мох», 13 км СЗ д. Юховичи, в ельнике сфагновом на ольхе черной, В. В. Голубков, 01.09.1988 (MSK-L, GSU); МИНСКАЯ ОБЛ., Логойский р-н, 3 км З д. Швабы, в ельнике черничном на березе, В. В. Голубков, 03.07.1987 (MSK-L, GSU).

Хемотип 3. БРЕСТСКАЯ ОБЛ., Пружанский р-н, Национальный парк «Беловежская пуца», окр. д. Переров, на ели, Н. В. Горбач, 09.06.1960 (MSK-L, GSU).

Usnea praetervisa (Asahina) P. Clerc

Морфологические особенности. Таллом до 5 см длиной, торчащий, кустикообразный, зеленоватого оттенка, ветвящийся анизотомически-дихотомически. Основание коричневатого-черного цвета, с кольцевыми трещинами. Основные ветви сужающиеся, боковые ветви не сужены в месте прикрепления. Сосочки немногочисленные, бородавчато-цилиндрические, в основном на главных ветвях. Фибриллы распределены неравномерно. Соралий немного, мелкие, неправильной формы, меньше половины диаметра ветви, иногда несколько соралий срастаются и формируют консоралии. Изидиоморфы шиповатые, развивающиеся внутри соралий. Апотециев в белорусском материале не отмечено. По морфологическим признакам вид напоминает *U. subfloridana*, который отличается от *U. praetervisa* длинным полуповисающим слоевищем, смоляно-черным основанием, многочисленными изидиоморфами, часто сформированными в виде звездчатых структур.

Состав вторичных метаболитов. *Usnea praetervisa* характеризуется наличием норстиктовой кислоты в качестве основного вторичного метаболита сердцевины. В ка-

честве дополнительного вещества может присутствовать стиктовая кислота [4]. Единственный белорусский образец содержал только норстиктовую кислоту.

Химически вид идентичен *U. glabrescens* var. *fulvoreagens* (оба таксона содержат только норстиктовую кислоту в качестве основного вторичного метаболита). Морфологически *U. glabrescens* var. *fulvoreagens* отличается отсутствием кольцевых трещин у основания, многочисленными фибриллами и отсутствием изидиоморфов.

Среди лишайников рода *Usnea* Беларуси норстиктовую кислоту содержат еще *U. glabrata* и *U. glabrescens* var. *glabrescens*, однако данные таксоны в качестве основного вещества содержат также салациновую кислоту, что позволяет отличить их методом тонкослойной хроматографии.

Условия местообитания и субстратная приуроченность. Единственный образец был собран на коре березы повислой (*Betula pendula*). Информация об условиях произрастания отсутствовала.

Распространение. Широко распространен по всему миру, включая Европу, Азию и Северную Америку [6]. Вид *Usnea praetervisa* ранее не встречался на территории Республики Беларусь. Нами выявлено единственное место произрастания в Мядельском р-не Минской обл. (рисунок 4). С учетом даты сбора образца (1946 г.) данный вид, по-видимому, следует считать вероятно исчезнувшим с территории Беларуси.

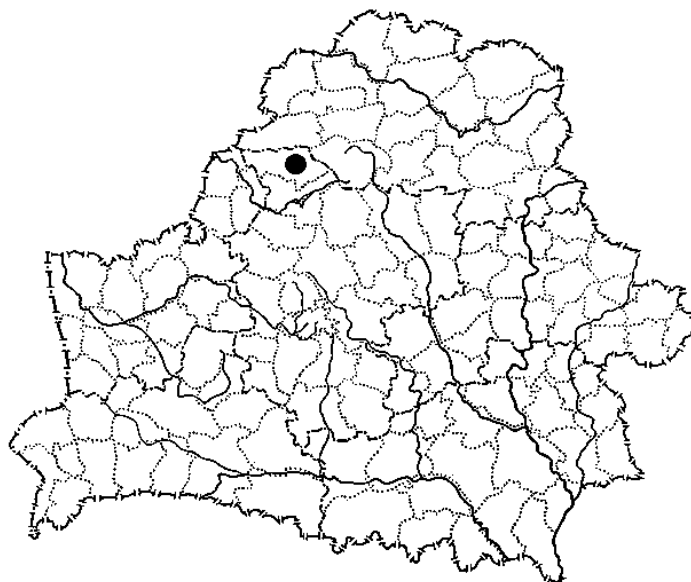


Рисунок 4 – Распространение *Usnea praetervisa* на территории Беларуси

Исследованные образцы. МИНСКАЯ ОБЛ., Мядельский р-н, берег оз. Нарочь, на березе, Н. О. Цеттерман, 07.07.1946 (MSKU, GSU).

Заключение

В результате ревизии 462 образцов лишайников рода *Usnea* с использованием метода тонкослойной хроматографии было выявлено четыре таксона лишайников рода *Usnea*, содержащих норстиктовую кислоту в качестве основного вещества – *Usnea glabrata* (два образца, или 0,4 % от количества исследованных), *U. glabrescens* var. *glabrescens* (12 образцов, или 2,6 %), *U. glabrescens* var. *fulvoreagens* (20 образцов, или 4,3 %) и *U. praetervisa* (один образец, или 0,2 %). *Usnea glabrescens* является редким для Беларуси видом, который следует рекомендовать включить в список растений и грибов, нуждающихся в профилактической охране, следующего издания Красной книги Рес-

публики Беларусь как таксон, близкий к исчезновению, с последующим его мониторингом по всей территории страны. *Usnea glabrata* следует включить в очередное издание Красной книги Республики Беларусь с присвоением природоохранной категории МСОП CR, соответствующей I категории национального природоохранного статуса. *Usnea praetervisa*, по-видимому, следует считать вероятно исчезнувшим с территории Беларуси видом.

Выражаем глубокую благодарность заведующему лабораторией микологии Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидату биологических наук Татьяне Гарьевне Шабашовой за предоставленную возможность работы с гербарными образцами рода *Usnea* в гербарии MSK-L, а также Dr. Philippe Clerc (Ботанический сад и консерватория города Женева, Швейцария) за уточнение видовой принадлежности некоторых гербарных образцов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

1. Outline of Fungi and fungus-like taxa / N. N. Wijayawardene [et al.] // Mycosphere. – 2020. – Vol. 11, nr 1. – P. 1060–1456.
2. Clerc, P. Species concepts in the genus *Usnea* (lichenized Ascomycetes) / P. Clerc // The Lichenologist. – 1998. – Vol. 30, nr 4–5. – P. 321–340.
3. Orange, A. Microchemical methods for the identification of lichens / A. Orange, P. W. James, F. J. White. – London : British Lichen Society, 2001. – 101 p.
4. Nimis, P. L. ITALIC – The Information System on Italian Lichens. Version 7.0. [Electronic resource] / P. L. Nimis, S. Martellos // University of Trieste, Dept. of Biology. – 2022. – Mode of access: <https://italic.units.it/index.php>. – Date of access: 23.04.2024.
5. The lichens of Great Britain and Ireland / C. W. Smith [et al.]. – London : The British Lichen Society, 2009. – 1046 p.
6. Clerc, P. *Usnea* / P. Clerc // Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region. – Tempe : Arizona State University, 2007. – Vol. 3. – P. 302–335.
7. Clerc, P. *Usnea viktoriana* (Ascomycota, Parmeliaceae), a new European taxon of the *Usnea barbata-dasopoga* group, with a key to the shrubby-subpendulous sorediate *Usnea* species in Europe / P. Clerc, V. Otte // The Lichenologist. – 2018. – Vol. 50, nr 5. – P. 513–527.
8. Urbanavichus, G. P. Spisok lichienoflory Rossii / G. P. Urbanavichus. – SPb. : Nauka, 2010. – 194 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 03.06.2024

УДК 57.044

Инна Валерьевна Бульская*канд. биол. наук, доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина***Ina Bulskaya***Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: inabulskaya@gmail.com*

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ 24-ЭПИКАСТЕРОНА И 2-МОНОСАЛИЦИЛАТА
24-ЭПИКАСТЕРОНА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ
И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
КОЛЕУСА БЛЮМЕ НА РАННИХ ЭТАПАХ РОСТА***

Впервые изучено влияние 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на развитие растений колеуса Блюме (сорта Вечерняя заря и Мозаика) на ранних этапах в лабораторных условиях. Показано влияние данных гормонов на некоторые морфометрические (всхожесть, длина вегетативных органов, масса) и физиолого-биохимические (содержание фотосинтетических пигментов и активность каталазы) параметры проростков в условиях вегетационного опыта.

Ключевые слова: брассиностероиды, колеус, регуляторы роста.

***Evaluation of the Influence of 24-Epicasterone and 24-Epicasterone 2-Monosalicylate
on the Morphometric and Physiological-Biochemical Parameters of Coleus Blume
in the Early Stages of Growth***

In this article for the first time the effect of 24-epicasterone and 2-monosalicylate 24-epicasterone on the development of coleus Blume plants (Evening Dawn and Mosaics varieties) at the initial stage in laboratory conditions were studied. The influence of these hormones on some morphometric (germination, length of vegetative organs, weight) and physiological-biochemical (content of photosynthetic pigments and catalase activity) parameters of seedlings under conditions of vegetation experiment has been shown.

Key words: brassinosteroids, coleus, growth regulators.

Введение

Среди наиболее распространенных проблем при выращивании декоративных растений можно назвать низкую всхожесть семян, плохую приживаемость рассады, подверженность воздействию стресс-факторов и различным заболеваниям. Для решения этих проблем успешно применяются регуляторы роста. Действие регуляторов роста разнообразно и выражается в различных аспектах: регуляторы роста влияют на обмен веществ, ускоряют прорастание семян и развитие корней, наступление фазы цветения, повышают адаптационные способности, снижают поступления чужеродных веществ, повышают продуктивность. Важное место среди регуляторов роста занимают природные и искусственно синтезированные растительные гормоны [1].

Примером таких гормонов служат брассиностероиды – широко распространенные нетоксичные фитогормоны, которые относятся к классу стероидов. Они выполняют весьма разнообразные функции: поддерживают нормальное функционирование иммунной системы растения, участвуют в репродуктивном развитии и сосудистой диффе-

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

ренциации, обладают сильной ростостимулирующей активностью и являются стрессовыми адаптогенами. Брассиностероиды содержатся в растительных клетках в очень малом количестве, на практике применяются в крайне низких дозах и способны улучшить рост сельскохозяйственных или декоративных культур без использования традиционных химических удобрений, в т. ч. в условиях неблагоприятного климата. Они также влияют на важные аспекты развития, такие как прорастание семян, ризогенез, цветение, старение, опадение и созревание [2]. Разработка новых, более простых методов синтеза этих гормонов, а также накопление знаний о способах, дозах, периодичности их использования являются необходимыми условиями для успешного применения данного вида растительных гормонов в сельском хозяйстве и зеленом строительстве [3–5].

Целью данного исследования стало изучение влияния эпикастастерона и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастастерона – на рост и развитие колеуса в лабораторных условиях.

В качестве тест-объекта в данном исследовании был выбран колеус Блюме (*Plectranthus scutellarioides* (L.)), сорт Вечерняя заря и сорт Мозаика. Колеус – род травянистых многолетних растений из семейства яснотковые (Lamiaceae). Семена яснотковых, как правило, отличаются быстрым прорастанием, однако характер прорастания различный, лабораторная всхожесть семян значительно варьирует [6].

Колеус Блюме (*Plectranthus scutellarioides*, или *Coleus blumei*) относится к роду Колеус (*Coleus*). Это популярное декоративное растение, пригодное для выращивания открытом грунте, в качестве комнатного растения, для внешнего оформления балконов и окон. Колеус Блюме – полукустарник высотой до 80 см, имеет ребристые, четырехгранные стебли, заостренные на вершине листья яйцевидной формы, соцветия *сложный колос*. Окраска листьев колеуса весьма разнообразна. Цветки лилово-сиреневого цвета. Колеус Блюме – исходная форма для большинства современных сортов, и он хорошо подходит для исследования влияния брассиностероидов на род Колеус [7].

Материалы и методы исследования

Гормоны, использованные для проведения эксперимента, получены в Институте биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси. Для выбора оптимальной концентрации 24-эпикастастерона (ЭК) и 2-моносалицилата 24-эпикастастерона (S23), оказывающей стимулирующее действие на развитие проростков колеуса, для каждого из гормонов был выбран диапазон концентраций 10^{-11} – 10^{-7} М. Семена колеуса предварительно замачивали в течение пяти часов в растворах гормонов ЭК и S23. В качестве контроля использовали воду. Семена проращивали по стандартной методике [6; 8] на фильтровальной бумаге в чашках Петри при температуре 17–23 °С на свету.

Для проведения вегетационного опыта после предварительного замачивания семян в течение пяти часов в растворах ЭК и S23 семена колеуса высевали в горшки в почву. Горшки помещали в климатизированное помещение, расставляли в случайном порядке и поливали ежедневно (50 % полевой влажности почвы). В качестве контроля использовали растения, семена которых замачивали в воде.

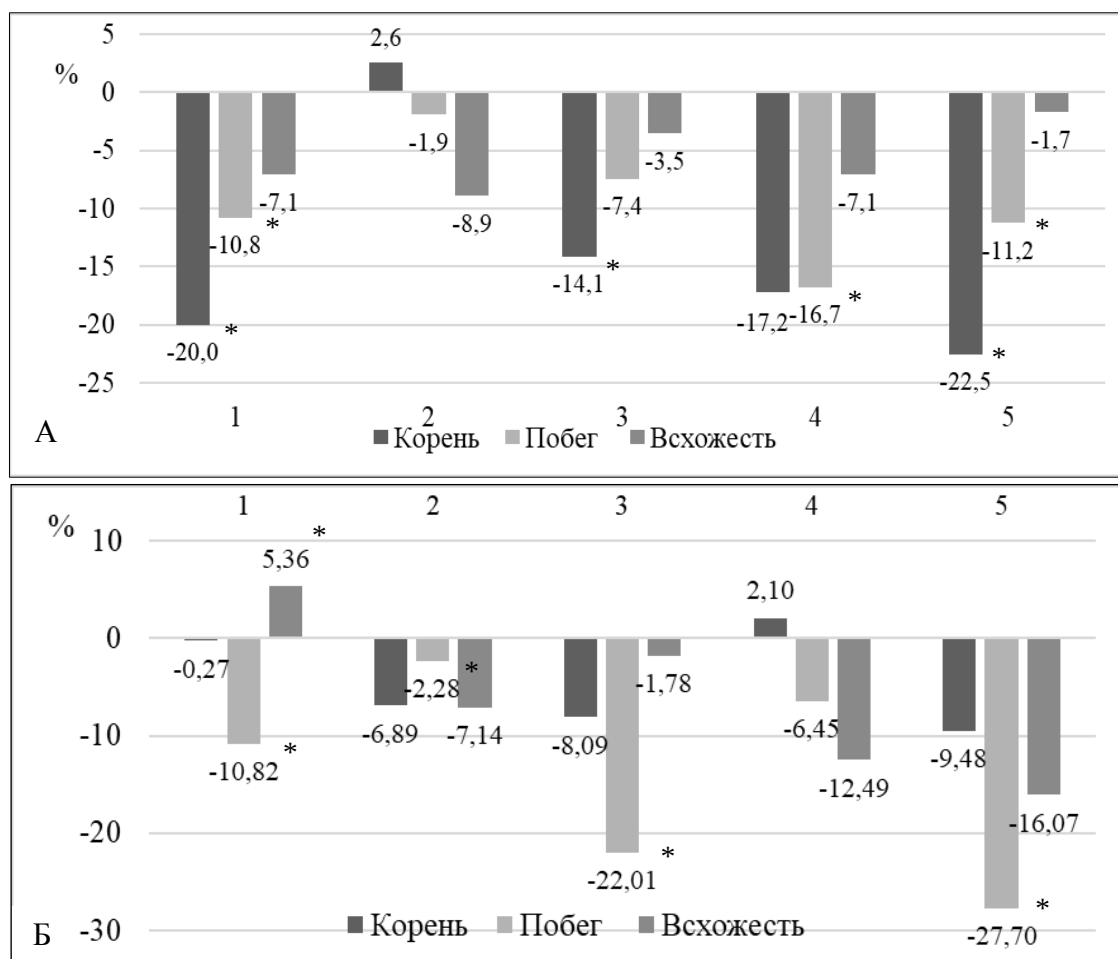
Растения собирали на стадии двух-трех настоящих листьев. Определяли сырую массу, длину побега и корня и биохимические показатели растений: содержание фотосинтетических пигментов и активность каталазы. Определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов) проводилось по общепринятой методике [9], спектрофотометрически (спектрофотометр Proscan MC 122, «Проскан специальные инструменты», Республика Беларусь) в кварцевой кювете, при длине пути светового монохромного луча в 1 см и длинах волн 663, 646 и 470 нм. Извлечение каталазы из растительных тканей и анализ активности фермента проводились согласно мето-

дике [10]. Интенсивность окраски реакционной смеси определялась на спектрофотометре Proscan MC 122 при длине волны 410 нм и длине оптического пути 1 см.

Статистический анализ был проведен с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Результаты воздействия ЭК на морфометрические параметры проростков колеуса Блюме (сорт Вечерняя заря и сорт Мозаика) в лабораторном опыте представлены на рисунке 1.



Примечание – * – достоверно по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

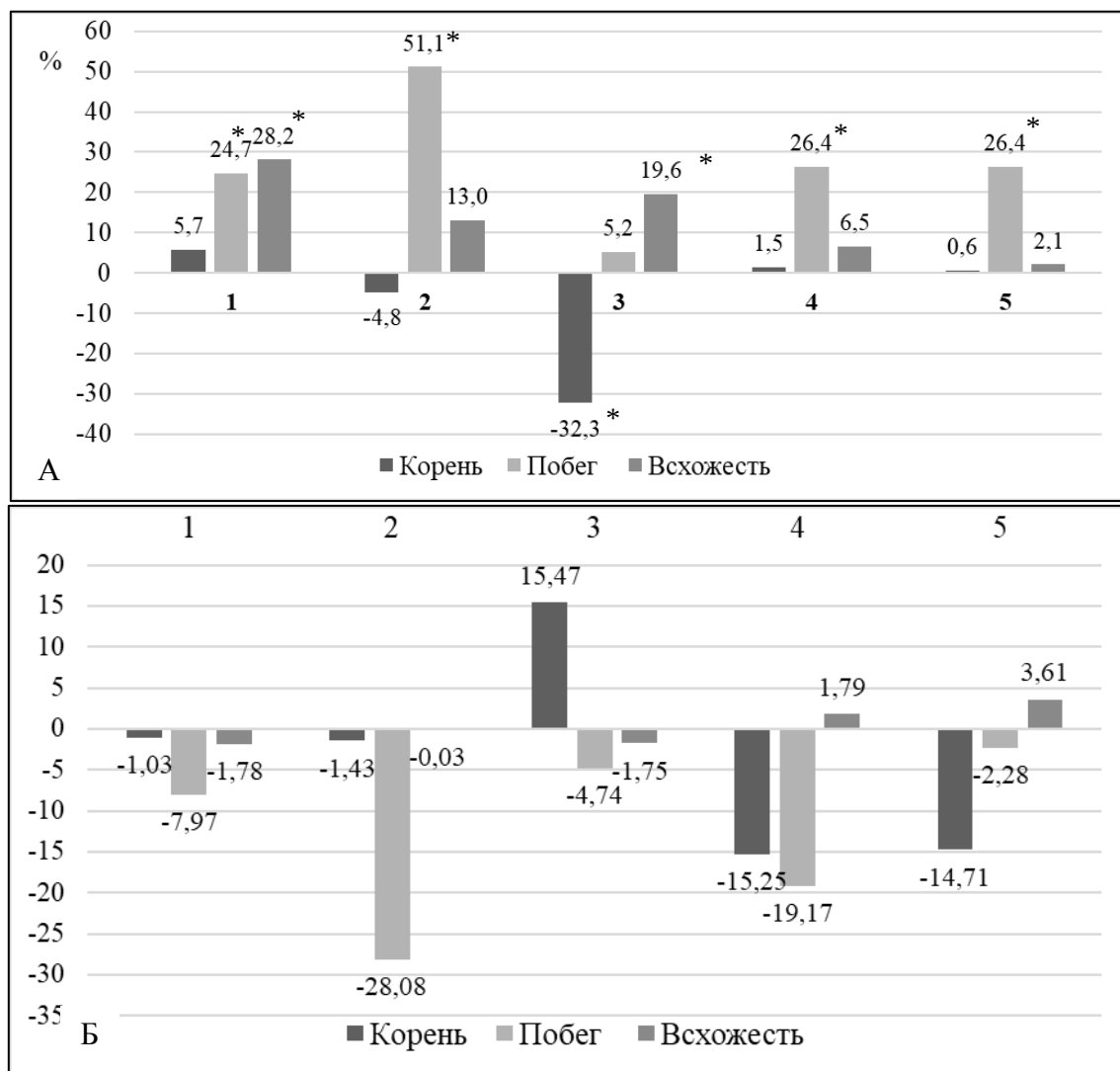
Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастестерона на морфометрические параметры колеуса (А – сорт Вечерняя заря, Б – сорт Мозаика), % к контролю: 1 – 10^{-11} М; 2 – 10^{-10} М; 3 – 10^{-9} М; 4 – 10^{-8} М; 5 – 10^{-7} М

Для сорта Вечерняя заря всхожесть варьировала в пределах 85–93,3 % и незначительно различалась между вариантами опыта. Длина корня проростков и побегов после обработки семян ЭК была ниже, чем в контроле, во всех вариантах опыта, кроме концентрации 10^{-10} М (длина корня незначительно выше).

Для сорта Мозаика всхожесть варьировала от 78,33 до 98,33 %. При наименьшей концентрации (10^{-11} М) всхожесть была выше контрольной, при концентрациях 10^{-10} – 10^{-7} М – ниже контрольного опыта на 1,78 – 16,07 %. Длина корня варьировала от 20,24 до 22,83 мм, в опытных вариантах длина корня ниже контрольной на 0,28 – 9,48 %, за исключением концентрации 10^{-10} М, при которой отмечен незначительный прирост.

Длина побега составляла от 3,81 до 5,27 мм и во всех вариантах опыта была ниже контрольной на 2,27 – 27,7 %.

Результаты воздействия S23 на морфометрические параметры проростков колеуса в лабораторном опыте представлены на рисунке 2. Для сорта Вечерняя заря всхожесть варьировала в пределах 77–98 % и во всех вариантах опыта была выше контроля.



Примечание – * – достоверно по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

Рисунок 2 – Влияние 2-моносалицилата 24-эпикастестерона на морфо-метрические параметры колеуса (А – сорт Вечерняя заря, Б – сорт Мозаика), % к контролю: 1 – 10^{-11} М; 2 – 10^{-10} М; 3 – 10^{-9} М; 4 – 10^{-8} М; 5 – 10^{-7} М

Длина корня проростков после обработки семян S23 значительно варьировала для разных концентраций. Так, для концентраций 10^{-9} М и 10^{-10} М средняя длина корня была ниже, для концентрации 10^{-7} М практически не отличалась, а для концентраций 10^{-8} М и 10^{-11} М была выше длины в контрольном опыте. Длина побегов для всех исследованных концентраций превосходила длину побега в контрольном опыте.

Для сорта Мозаика всхожесть варьировала от 91,7 до 97,7 %. При концентрации 10^{-7} и 10^{-8} М всхожесть была немного выше контрольной, при более низкой концентрации – ниже контрольного опыта. Длина корня варьировала от 18,95 до 22,36 мм, в опытных вариантах длина корня была ниже контрольной на 1,03 – 15,25 %, за исклю-

чением концентрации 10^{-9} М, при которой отмечен прирост в 15,47 %. Длина побега варьировала от 3,79 до 5,27 мм и во всех вариантах опыта была ниже контрольной на 2,27 – 28,08 %.

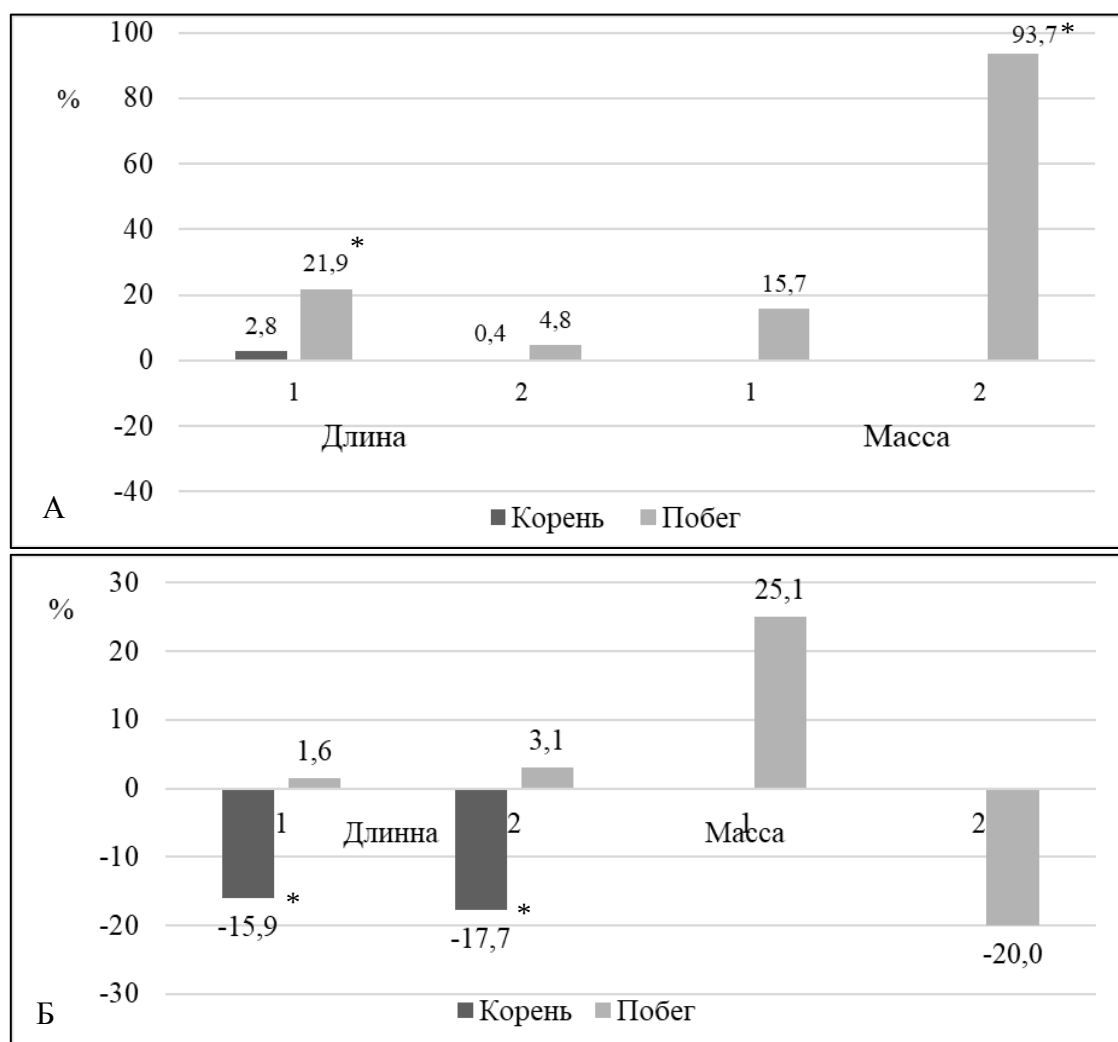
По результатам лабораторного опыта для проведения вегетационного опыта были выбраны следующие концентрации брассиностероидов для сорта Вечерняя заря:

1) для ЭК – 10^{-10} М, т. к. при обработке семян колеуса ЭК в данной концентрации длина корня несколько увеличивается, а длина побега и всхожесть снижаются незначительно;

2) для S23 – 10^{-11} М, т. к. при обработке семян колеуса S23 в данной концентрации отмечено достоверное увеличение длины корня и всхожести, длина побега также демонстрирует прибавку.

Для сорта Мозаика были выбраны концентрации ЭК 10^{-10} М, S23 10^{-9} М, т. к. при их воздействии угнетающий эффект наименее выражен.

Результаты воздействия ЭК и S23 на морфометрические параметры проростков колеуса Блюме (сортов Вечерняя заря и Мозаика) в вегетационном опыте представлены на рисунке 3.



Примечание – * – достоверно по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

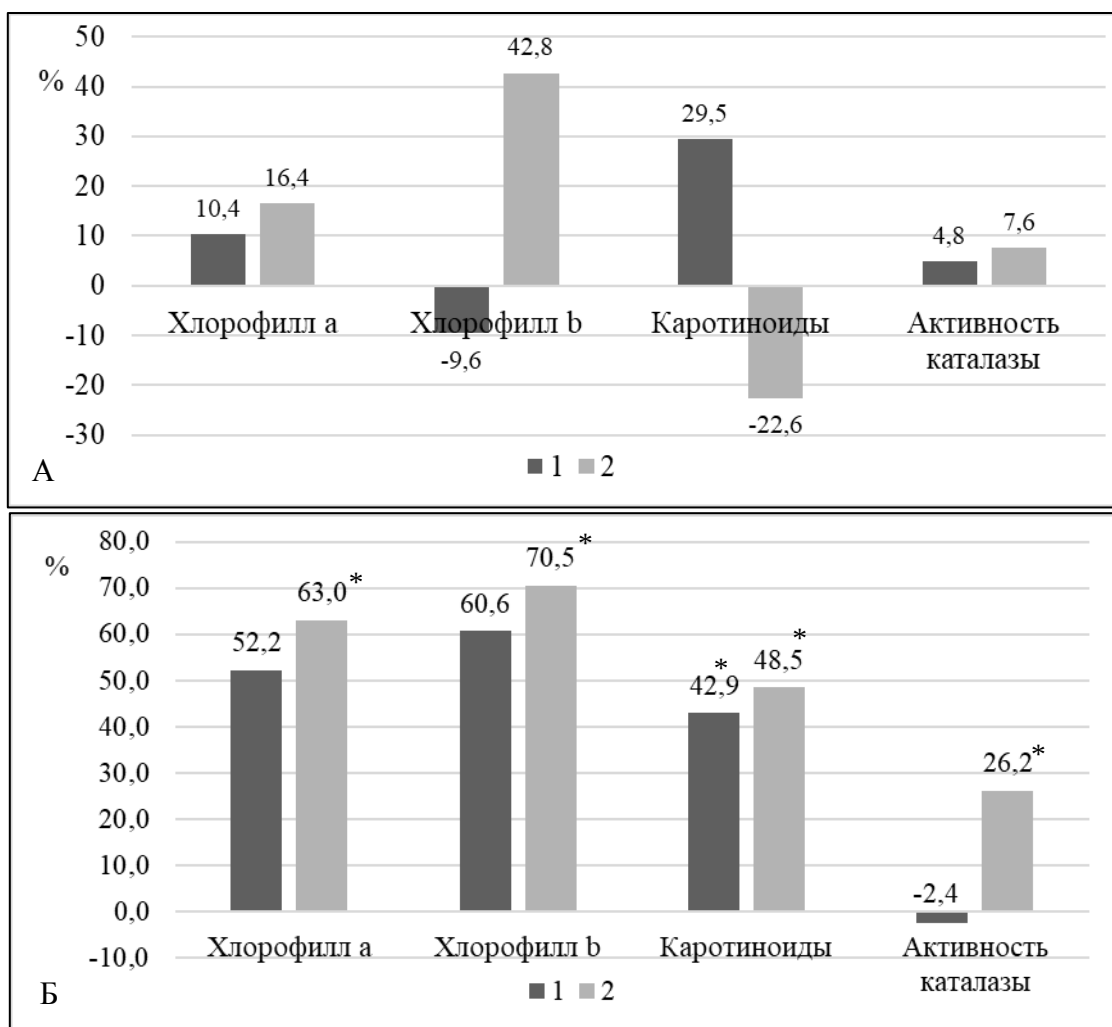
Рисунок 3 – Влияние ЭК и S23 на морфометрические параметры колеуса (А – сорт Вечерняя заря, Б – сорт Мозаика), % к контролю: 1 – ЭК, 2 – S23

Для сорта Вечерняя заря средняя длина корней и побегов после обработки семян изученными гормонами была незначительно выше контрольного опыта. Массы корня после обработки ЭК и S23 ниже контрольного опыта, а массы побегов в опытных вариантах выше контроля.

Для сорта Мозаика длина корня как при обработке ЭК, так и при обработке семян S23 была ниже контрольной, длина побега в двух вариантах опыта практически не отличалась от контроля. Масса побегов при обработке ЭК превысила контрольный опыт на 25 %, а при обработке S23 снизилась на 20 %.

В научной литературе для ЭК отмечается стимулирующее воздействие на рост вегетативных органов (для сельскохозяйственных культур – клевера лугового, льна масличного, а также декоративных – петунии), в первую очередь корней [11–13]. В некоторых источниках отмечают также ингибирование роста корней [14; 15].

Результаты воздействия ЭК и S23 на биохимические параметры проростков колеуса представлены на рисунке 4.



Примечание – * – достоверно по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

Рисунок 4 – Действие эпикастестерона и 2-моносалицилата 24-эпикастестерона на содержание пигментов в листьях колеуса (А – сорт Вечерняя заря, Б – сорт Мозаика) и активность каталазы, % к контролю: 1 – ЭК, 2 – S23

Так, для сорта Вечерняя заря активность каталазы была выше в опытных образцах по сравнению с контролем. Для сорта Мозаика активность каталазы повысилась только при обработке S23. Показано, что для растений разных видов в физиологических концентрациях брассиностероиды могут способствовать повышению активности антиоксидантных ферментов [16].

Для сорта Вечерняя заря содержание пигментов в опытных и контрольных образцах отличалось следующим образом: содержание хлорофилла *a* повысилось при обработке ЭК и S23; содержание хлорофилла *b* снизилось при обработке ЭК и повысилось при обработке S23; содержание каротиноидов повысилось при обработке ЭК и снизилось при обработке S23.

Во всех вариантах опыта для сорта Мозаика наблюдалось возрастание концентрации пигментов по сравнению с контролем при обработке. Наиболее выраженный прирост наблюдался для хлорофилла *b* (концентрация возросла на 61 % для ЭК и на 71 % для S23).

Неоднородность полученных в вегетационном опыте ответов, а также небольшое число достоверных значений в опыте с сортом Вечерняя заря могут быть связаны с тем, что для многих декоративных растений более эффективной является внекорневая обработка брассиностероидами [13; 17].

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что для сорта Вечерняя заря обработка ЭК более выраженно сказалась на длине побега и содержании каротиноидов, а обработка S23 на массе побега и содержании хлорофиллов. Обработка семян колеуса Блюме (сорт Вечерняя заря) протестированными гормонами привела к некоторому улучшению ростовых и биохимических показателей в условиях вегетационного опыта, однако невысокое количество достоверных отличий от контрольных опытов говорит о недостаточной степени влияния протестированных гормонов методом предпосевной обработки семян.

Для сорта Мозаика действие ЭК и S23 наиболее выраженно сказалось на длине корня и массе побега. При этом в вегетационном опыте оба гормона вызвали угнетение роста корня, а для массы побега действие двух гормонов было противоположным: обработка ЭК привела к увеличению, а обработка S23 – к снижению массы. Для обоих гормонов в вегетационном опыте отмечен рост содержания пигментов, а для S23 также возрастание активности каталазы. Сопоставление результатов воздействия на морфометрические и биохимические параметры указывает, что предпосевная обработка протестированными гормонами не ведет к улучшению роста колеуса Блюме сорта Мозаика, а в случае с S23 является стресс-фактором.

Таким образом, предпосевная обработка семян колеуса Блюме 24-эпикастастероном и 2-моносалицилатом 24-эпикастастерона может быть признана неэффективной. Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлениях изучения видовой специфичности ответов других видов декоративных растений и внекорневой обработки растений колеуса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Усова, К. А. Экологически безопасные высокоэффективные регуляторы роста растений для цветочно-декоративных культур (обзор российской литературы) / К. А. Усова, С. Л. Белопухов, И. Г. Шайхиев // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2016. – Т. 19, № 21. – С. 193–198.

2. Bajguz, A. Review. Metabolism of brassinosteroids in plants / A. Bajguz // Plant Physiology and Biochemistry. – 2007. – Nr 45. – P. 95–107.
3. Brosa, C. Biological Effects of Brassinosteroids / C. Brosa // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. – 1999. – Nr 34:5. – P. 339–358.
4. Ботиров, Э. Х. Химический состав и биологическая активность метаболитов растений рода *Equisetum* L. / Э. Х. Ботиров, В. М. Боначева, Н. Э. Коломиец // Химия раст. сырья. – 2021. – № 1. – С. 5–26.
5. Ali, B. Review. Practical applications of brassinosteroids in horticulture – some field perspectives / B. Ali // Scientia Horticulturae. – 2017. – Vol. 225. – P. 15–21.
6. Фомина, Т. И. Особенности прорастания семян декоративных многолетников семейства (*Lamiaceae* Martinov) / Т. И. Фомина // Изв. Уфим. науч. центра РАН. – 2018. – № 4. – С. 60–64.
7. Колеус Блюме [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1443594#cite_ref-autogenerated1_2-1. – Дата доступа: 02.12.2023.
8. Deno, N. C. Second supplement to seed germination theory and practice / N. C. Deno. – State College PA, 1998. – 101 p.
9. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2006. – 256 с.
10. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк [и др.] // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
11. Хомюк, Я. В. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры *Trifolium pratense* L. / Я. В. Хомюк, Е. Г. Артемук, Р. П. Литвиновская // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 2. – С. 52–62.
12. Ходянков, А. А. Эпикастастерон – новый отечественный регулятор роста для льна масличного [Электронный ресурс] / А. А. Ходянков // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2019. – № 2. – С. 154–157. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/epikastasteron-novyy-otechestvennyy-regulyator-rosta-dlya-lina-maslichnogo>. – Дата доступа: 25.10.2023.
13. Ясюкович, Т. В. Влияние брассиностероидов на рост и развитие цветочно-декоративной культуры петунии (*Petunia*) / Т. В. Ясюкович, Т. В. Каленчук, А. Г. Чернецкая // Вестн. Полес. гос. ун-та. Сер. природоведч. наук. – 2016. – № 2. – С. 19–23.
14. Liu, J. Review. Structure-activity relationship of brassinosteroids and their agricultural practical usages / J. Liu // Steroids. – 2017. – Vol. 124. – P. 1–17.
15. Bajguz, A. The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants / A. Bajguz, A. Tretyn // Phytochemistry. – 2003. – Vol. 62 (7). – P. 1027–1046.
16. Афк-зависимое стресс-протекторное действие 24-эпикастастерона и его моносалицилата на проростки пшеницы при гипертермии / Р. П. Литвиновская [и др.] // Приклад. биохимия и микробиология – 2021. – Т. 57, № 6. – С. 605–612.
17. Чернецкая, А. Г. Изучение отдельных морфометрических параметров роста и развития крупноцветковых сортов *Chrysanthemum indicum* (L.) в условиях закрытого грунта / А. Г. Чернецкая, Т. В. Каленчук // Вестн. Полес. гос. ун-та. Сер. природоведч. наук. – 2013. – № 1. – С. 45–53.

REFERENCES

1. Usova, K. A. Ekologichieski biezopasnyje vysokoeffiektivnyje riegulatory rosta rastenij dlja cvietочно-diekorativnykh kul'tur (obzor rossijskoj literatury) / K. A. Usova, S. L. Bielopukhov, I. G. Shajkhijev // Viestn. Kazan. tiehnol. un-ta. – 2016. – Т. 19, № 21. – С. 193–198.

2. Bajguz, A. Review. Metabolism of brassinosteroids in plants / A. Bajguz // Plant Physiology and Biochemistry. – 2007. – Nr 45. – P. 95–107.
3. Brosa, C. Biological Effects of Brassinosteroids / C. Brosa // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. – 1999. – Nr 34:5. – P. 339–358.
4. Botirov, E. Kh. Khimichieskij sostav i biologichieskaja aktivnost' mietabolitov rastenij roda *Equisetum* L. / E. Kh. Botirov, V. M. Bonachieva, N. E. Kolomijec // Khimija rast. syr'ja. – 2021. – № 1. – S. 5–26.
5. Ali, B. Review. Practical applications of brassinosteroids in horticulture – some field perspectives / B. Ali // Scientia Horticulturae. – 2017. – Vol. 225. – P. 15–21.
6. Fomina, T. I. Osobiennosti prorastanija siemian diekorativnykh mnogolietnikov siemiejstva (*Lamiaceae* Martinov) / T. I. Fomina // Izv. Ufim. nauch. centra RAN. – 2018. – № 4. – S. 60–64.
7. Kolieus Bliume [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1443594#cite_ref-autogenerated1_2-1. – Data dostupa: 02.12.2023.
8. Deno, N. C. Second supplement to seed germination theory and practice / N. C. Deno. – State College PA, 1998. – 101 p.
9. Gavrilienko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilienko, T. V. Zhihalova. – M. : Akadiemija, 2006. – 256 s.
10. Mietod opriedielienija aktivnosti / M. A. Koroliuk [i dr.] // Lab. delo. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
11. Khomiuk, Ya. V. Vlijanije epikastasterona i jego konjugatov s kislotami na morfometricheskije i fiziologo-biokhimichieskije paramietry *Trifolium pratense* L. / Ya. V. Khomiuk, E. G. Artiemuk, R. P. Litvinovskaja // Viesn. Bresc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2022. – № 2. – S. 52–62.
12. Khodiankov, A. A. Epikastasteron – novyj otiechiestviennyj riegulator rosta dlja l'na maslichnogo [Elektronnyj riesurs] / A. A. Khodiankov // Viestn. Bielorus. gos. s.-kh. akad. – 2019. – № 2. – S. 154–157. – Riezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/-epikastasteron-novyy-otechestven-nyy-regulyator-rosta-dlya-lna-maslichnogo>. – Data dostupa: 25.10.2023.
13. Jasyukovich, T. V. Vlijanije brassinosteroidov na rost i razvitije cvietochno-diekorativnoj kul'tury pietunii (*Petunia*) / T. V. Jasyukovich, T. V. Kalienchuk, A. G. Chiernieckaja // Viestn. Polies. gos. un-ta. Sier. prirodoviedch. nauk. – 2016. – № 2. – S. 19–23.
14. Liu, J. Review. Structure-activity relationship of brassinosteroids and their agricultural practical usages / J. Liu // Steroids. – 2017. – Vol. 124. – P. 1–17.
15. Bajguz, A. The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants / A. Bajguz, A. Tretyn // Phytochemistry. – 2003. – Vol. 62 (7). – P. 1027–1046.
16. Afk-zavisimoje stress-protektornoje diejstvije 24-epikastasterona i jego mono-salicilata na prorostki pshenicy pri gipiertermii / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Priklad. biokhimija i mikrobiologija. – 2021. – T. 57, № 6. – S. 605–612.
17. Chiernieckaja, A. G. Izuchienije otdiel'nykh morfometricheskikh paramietrov rosta i razvitija krupnocvietkovykh sortov *Chrysanthemum indicum* (L.) v uslovijah zakrytogo grunta / A. G. Chiernieckaja, T. V. Kalienchuk // Viestn. Polies. gos. un-ta. Sier. prirodoviedch. nauk. – 2013. – № 1. – S. 45–53.

УДК 634.8.07:577.175.19:581.19

Алёна Владимировна Василевская¹, Наталья Юрьевна Колбас²¹преподаватель-стажер каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина²канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина,
науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

Alyona Vasilevskaya¹, Natallia Kolbas²¹Lecturer-Trainee of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University²Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor
of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University,Researcher of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus
e-mail: alyonakhovrekova@gmail.com, n.kolbas@gmail.com**ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ И АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ ПЛОДОВ VITIS L.***

Представлены результаты двухлетних исследований общего содержания фенольных соединений (в т. ч. антоцианов) и антиоксидантной активности (оцененной методом ABTS) плодов *Vitis* двух сортов винограда Альфа и Минский розовый, сортообразца V-1 при экзогенной обработке брассиностероидами: эпибрасинолидом, эпикастастероном и тетрасукцинатом 24-эпикастастерона. Установлено, что изменение данных параметров носит сортоспецифичный характер. Наиболее отзывчивым тест-объектом был сорт Альфа: при действии эпикастастерона в концентрации 10^{-8} моль/л общее содержание фенольных соединений в среднем возрастает на 25,25 %, общее количество антоцианов – в 5 раз, и, как следствие, отмечается рост антиоксидантной активности в среднем на 86 %.

Ключевые слова: фенольные соединения, антиоксидантная активность, антоцианы, виноград, брассиностероиды.

**The Effect of Brassinosteroids on Accumulation Phenolic Compounds
and Antioxidant Activity Fruits of VITIS L.**

The article presents the results of two-year studies of the total content of phenolic compounds (including anthocyanins) and antioxidant activity (estimated by the ABTS method) of *Vitis* fruits of two grape varieties Alpha and Minskiy rozovyy, varietal V-1 under exogenous treatment with brassinosteroids: epibrassinolide, epicastasterone and tetrasuccinate 24-epicastasterone. It was found that the change in these parameters is of a variety-specific nature: the most responsive test object was the Alpha variety: with the action of epicastasterone at a concentration of 10^{-8} mol/l, the total content of phenolic compounds increases by an average of 25,25 %, the total number of anthocyanins increases by 5 times and, as a result, there is an increase in antioxidant activity on average by 86 %.

Key words: phenolic compounds, antioxidant activity, anthocyanins, grapes, brassinosteroids.

Введение

Фенольные соединения (ФС) – это широко распространенный класс вторичных метаболитов растения, которые в ягодах *Vitis* L. представлены главным образом антоцианами в виде гликозидов и ацилгликозидов, катехинами, флавонами (кверцетин, морин), стильбенами (ресвератрол и др.), а также фенольными кислотами (кофейная, галловая, гентизиновая, ванилиновая, феруловая, *m*- и *p*-кумаровая, бензойная) [1]. Все они проявляют синергизм между собой и с антоцианами, а также оказывают влияние на органолептические

*Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ № B22M-054, подзадания «Исследование влияния и разработка на его основе практических рекомендаций по применению методов обработки подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.) и винограда (*Vitis* L.) брассиностероидами и их конъюгатами» (№ госрегистрации 20221039 от 01.07.2022 г.).

свойства (вкус, цвет) антоцианосодержащей продукции. Кроме того, природные ФС оказывают комплексное стимулирующее влияние на формирование плодов и семян [2].

Для сочных плодов пищевого назначения содержание ФС в процессе созревания снижается, что было показано на примере пяти сортов винограда (*Vitis vinifera* L., Merlot, Cabernet Sauvignon, Sauvignon Blanc, Semillon) [3] и Kishmish Chornyi [4]. В то же время регистрация так называемой фенольной спелости является важным показателем, т. к. эти соединения определяютнутрицевтическую ценность винограда, а также качество произведенной впоследствии продукции [4; 5]. В климатических условиях Республики Беларусь плоды винограда не всегда успевают достичь своей фенольной спелости, однако регулирование данного параметра возможно за счет экзогенной обработки фитогормонами: брассиностероидами (БС) и их конъюгатами с органическими кислотами. БС являются естественными соединениями, т. к. впервые были выделены из растений, что обуславливает их безопасность для экосистем [6].

Цель данного исследования – оценить изменение общего содержания фенольных соединений, в т. ч. антоцианов, а также антиоксидантную активность плодов *Vitis* L. при экзогенной обработке брассиностероидами.

Материалы и методы исследования

В качестве тест-объектов были использованы два сорта винограда, включенные в Государственный реестр: Минский розовый – сорт универсального использования, Альфа – технический сорт. Для выполнения исследования также был выбран сортообразец винограда (V-1), который более 30 лет произрастает на территории отдела «Агробиология» Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина. Сортообразец характеризуется хорошей степенью вызреваемости лозы, высокой урожайностью, устойчивостью к болезням и вредителям, повышенной зимостойкостью. Почва и водный режим стационара благоприятны для плантационного выращивания винограда.

Выбор БС, а также подбор концентраций осуществляли после анализа литературных данных [6–8] и собственных лабораторных экспериментов [9]. Таким образом, для обработки были выбраны эпибрассинолид (ЭБ) в концентрации 10^{-5} и 10^{-6} моль/л, эпикастастерон (ЭК) и его конъюгат с янтарной кислотой – тетраэуксикат 24-эпикастастерона (СК), имеющие концентрацию активного вещества 10^{-8} и 10^{-10} моль/л. Используемые в работе БС были синтезированы в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

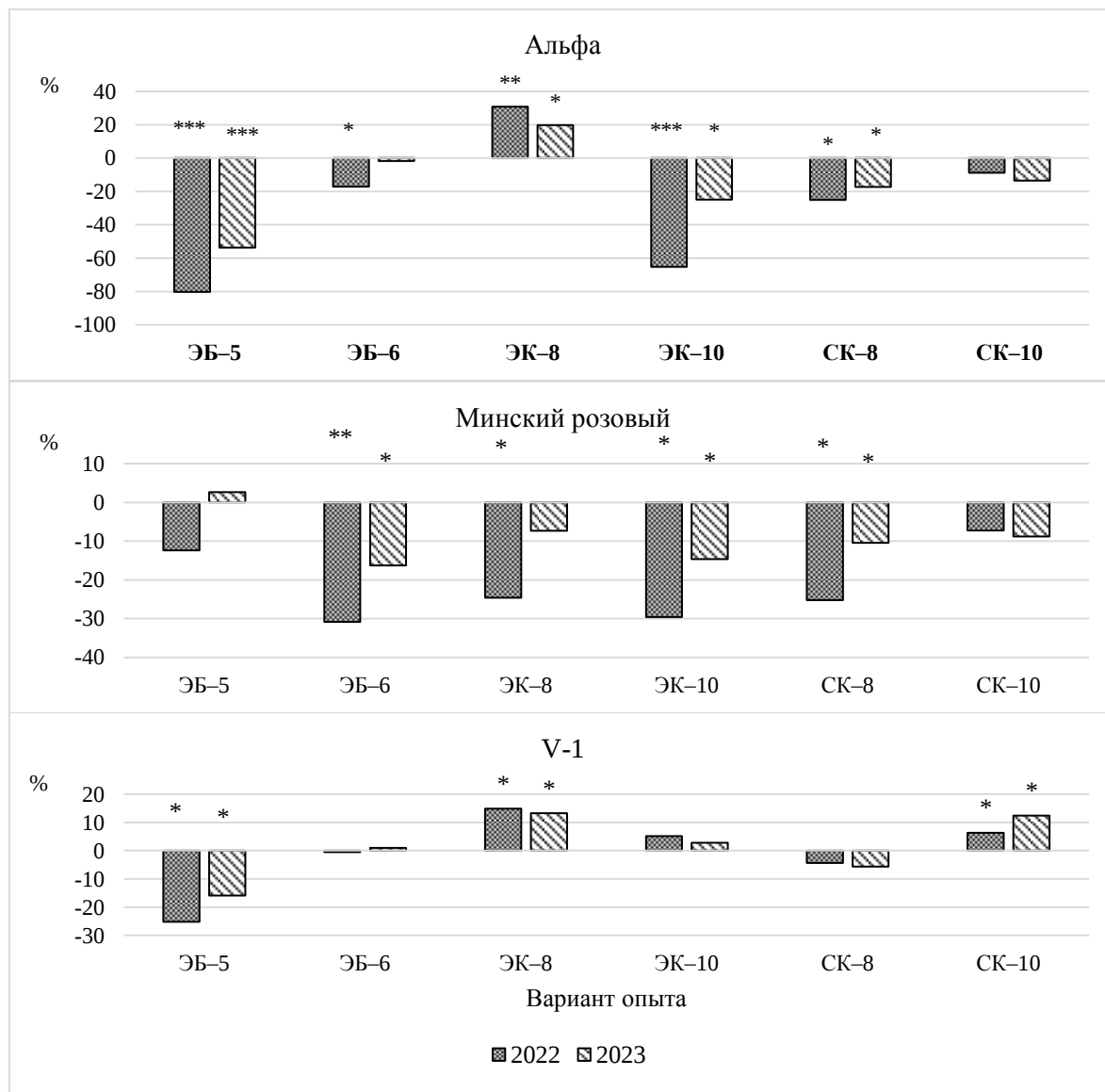
Согласно имеющимся литературным данным [10], обработку плодов винограда путем их опрыскивания ведут на последней стадии созревания (на стадии V (англ. *veraison*) до наступления стадии N (плоды достигли технической спелости и готовы к съему). Таким образом, для каждого тест-объекта были определены индивидуальные сроки обработки и сбора. Фенологические стадии созревания плодов винограда определяли по классификации, предложенной Institut Francais de la Vigne et du Vin (Франция) [11]. Сбор обработанных гроздей винограда, а также контрольных образцов (обработаны дистиллированной водой) проводили до первых заморозков. В день сбора ягоды винограда сепарировали, получали сок, который далее использовали для биохимического анализа. Пробоподготовку каждого из сортообразцов проводили в трехкратной повторности.

Определение общего содержания фенольных соединений (ОСФС) проводили методом микроанализа, разработанного на основе классического метода *Folin-Ciocalteu*, который в настоящее время является стандартным и входит в перечень системы ISO [12]. Определение общего количества антоцианов (ОКА) в виноградном соке проводили по методу, описанному М. М. Giusti и Р. Е. Wrolstad [13] и основанному на особенности антоцианов влиять на батохромный эффект в зависимости от pH среды, который позволяет измерить количество антоцианов даже при наличии как деградированных полимерных пигментов, так и других экранирующих соединений. Антиоксидантную

активность (АОА) определяли по методу ABTS [14]. Данный метод основан на блокировке долгоживущего окрашенного катион-радикала 2,2'-азинобис(3-этил-2,3-дигидро-6-бензотиазолин)-сульфо кислоты, который обесцвечивается (блокируется) при добавлении исследуемого образца. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программы Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение

В нашем исследовании ОСФС в контрольных сортобразцах винограда варьировало от 431,157 до 797,017 мг ГК/л (2022 г.) и от 465,569 до 778,018 мг ГК/л (2023 г.) и снижалось в следующей последовательности: Минский розовый > V-1 > Альфа (рисунок 1).



* – уровень значимости относительно контроля (P) $0,001 \leq P < 0,05$;

** – $0,001 \leq P < 0,01$; *** – $P < 0,001$

ЭБ-5, ЭБ-6 – эпибрасинолид в концентрациях 10^{-5} моль/л и 10^{-6} моль/л соответственно;
 ЭК-8, ЭК-10 – эпикастастерон в концентрациях 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно;
 СК-8, СК-10 – тетрасукуцинат 24-эпикастастерона в концентрациях 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно

Рисунок 1 – Изменение общего содержания фенольных соединений в плодах винограда под действием брассиностероидов (относительно контроля)

Для плодов винограда сортов Альфа при действии ЭБ в оба года исследования отмечено снижение ОСФС: в 2022 г. в среднем на 48,68 %, в 2023 г. – на 53,6 % (только при обработке ЭБ в концентрации 10^{-5} моль/л). Также закономерное снижение ОСФС отмечено при экзогенном действии 10^{-10} М (в 2022 г. на 65,3 % по сравнению с контрольным образцом, а в 2023 г. – на 24,9 %) и его конъюгата в концентрации 10^{-8} моль/л (в 2022 г. отмечено снижение параметра на 25,14 %, а в 2023 г. – на 17,4 %). Положительный отклик плодов винограда сорта Альфа при экзогенном действии БС отмечен только для 10^{-8} М ЭК: в первый год наблюдений повышение параметра составило 30,7 % относительно контроля, во второй год – 19,8 %.

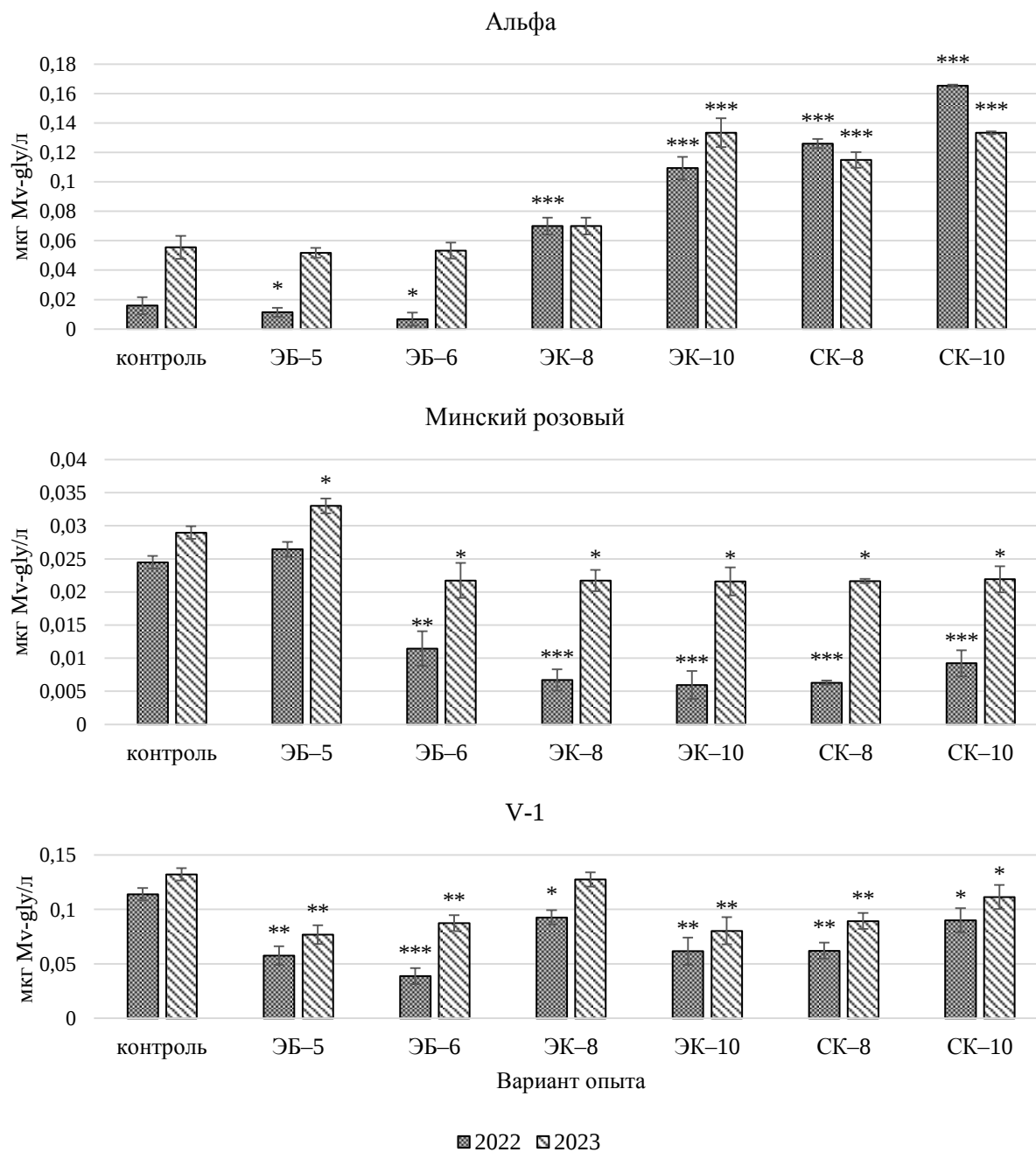
По результатам проведенных исследований выявлено только снижение ОСФС в плодах винограда сорта Минский розовый при действии БС. Так, обработка ЭБ в концентрации 10^{-6} моль/л снижает значение содержания ФС на 30,8 % в первый год исследования и 16,3 % во второй год. ЭК в 2022 г. в среднем снижает ОСФС на 27,1 %, в 2023 г. снижение параметра составило 14,6 % при действии раствора с концентрацией ЭК 10^{-10} моль/л. Обработка конъюгатом ЭК с янтарной кислотой с концентрацией действующего вещества 10^{-8} моль/л показала снижение параметра на 25,2 % (2022 г.) и 10,5 % (2023 г.).

Для сортообразца V-1 при действии ЭБ в концентрации 10^{-5} моль/л отмечается снижение значения ОСФС на 25,2 % (2022 г.) и 15,8 % (2023 г.). Повышение параметра для данного тест-объекта отмечается при действии раствора ЭК 10^{-8} М: в первый год исследования плюс к контролю составляет 14,9 %, во второй год – 13,3 %. Также незначительный рост ОСФС зафиксирован при действии СК в концентрации 10^{-10} моль/л: в 2022 г. параметр возрастает на 6,37 %, в 2023 г. – на 12,4 %. Стоит отметить, что данные результаты согласуются с результатами изменения общего содержания растворимых сахаров [15], так как при обработке винограда сортов Альфа и сортообразца V-1 фитогормонами закономерно возрастает содержание (накопление) сахаров, которые более не расходуются в шикиматном пути биосинтеза ФС [1], что приводит к их естественному снижению.

Таким образом, влияние исследуемых гормонов на ОСФС в плодах винограда носит сортоспецифичный характер. Установлено, что обработка ЭК в концентрации 10^{-8} М достоверно повышает ОСФС для плодов винограда сорта Альфа (в среднем на 25,25 %) и сортообразца V-1 (в среднем на 14,1 %), для сорта Минский розовый отмечено только снижение исследуемого параметра.

Все исследуемые сорта относятся к группе антоцианосодержащих сортов, и для них было оценено общее количество антоцианов (ОКА), результаты представлены на рисунке 2. Антоцианы относятся к тем компонентам винограда, которые больше всего подвержены влиянию климатических условий года [5], а особенно зависят от продолжительности светового дня. Согласно литературным данным, чем больше освещенность, тем большее содержание антоцианов выявлено в ягодах винограда. С другой стороны, самые высокие дневные температуры (порядка 35 °C) препятствуют образованию антоцианов. Важное значение имеют ночные температуры. При постоянной дневной температуре (25 °C) виноград оказывается тем больше богат антоцианами, чем ниже температуры ночью [5]. Таким образом, ягоды винограда не всегда успевают накопить необходимое их количество.

Содержание антоцианов в мкг мальвидин-3-О-глюкозида на л в 2022 г. варьировало от 0,016 до 0,114, в 2023 г. – от 0,0058 до 0,132 (рисунок 2). Обработка плодов БС имела очень видоспецифичный ответ, который также значительно отличался по годам. Так, при обработке плодов винограда сорта Альфа фитогормонами ЭК и его конъюгатом отмечена яркая динамика возрастания ОКА. В первый год исследования действие ЭК в двух исследуемых концентрациях вызывает возрастание параметра в среднем в 5,5 раза по сравнению с контролем, а для конъюгата – в среднем в 9 раз. Во второй год исследования возрастание параметра отмечено только при обработке ЭК в концентрации 10^{-10} моль/л, а его конъюгат опять продемонстрировал отличный результат в двух исследуемых концентрациях.



* – уровень значимости относительно контроля (P) $0,001 \leq P < 0,05$;

** – $0,001 \leq P < 0,01$; *** – $P < 0,001$

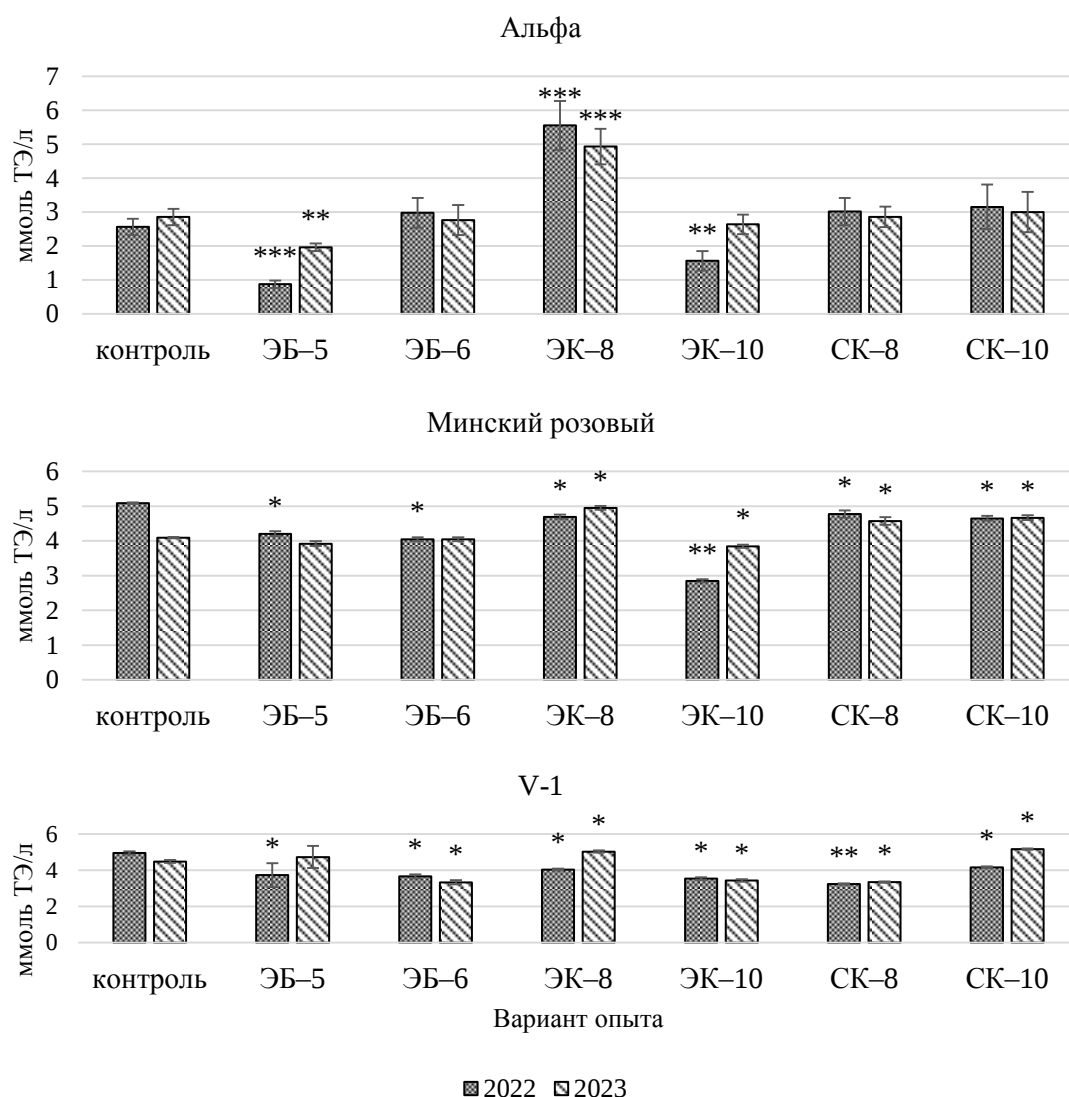
ЭБ-5, ЭБ-6 – эибрассинолид в концентрации 10^{-5} моль/л и 10^{-6} моль/л соответственно;
 ЭК-8, ЭК-10 – эпикастастерон в концентрации 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно;
 СК-8, СК-10 – тетрасуцинат 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-8} моль/л
 и 10^{-10} моль/л соответственно; Mv-gly – мальвидин-3-О-глюкозид

Рисунок 2 – Изменение общего количества антоцианов при обработке brassinosterоидами

Для других тест-объектов V-1 и винограда сорта Минский розовый действие ЭК и СК вызывает только снижение ОКА. Так, для сортообразца V-1 снижение параметра при обработке ЭБ в среднем составляет 57,65 % (2022 г.) и 37,89 % (2023 г.), при действии ЭК показатели ОКА снижаются по сравнению с контролем в среднем на 32,23 % (2022 г.) и 39,23 % (2023 г.), а обработка СК снижает значение в среднем на 33,2 %

(2022 г.) и 24,1 % (2023 г.). При обработке плодов винограда сорта Минский розовый наблюдается сходная тенденция: обработка БС приводит только к снижению параметра относительно контроля. Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о положительном ответе вследствие действия фитогормонов только со стороны сорта Альфа. Для сорта Минский розовый и сортообразца V-1 отмечено только существенное снижение ОКА. Предполагаем, что ингибирующее действие фитогормонов на данный параметр связано с необходимостью корректировки сроков обработки для каждого тест-объекта с целью получения положительного отклика от исследуемого параметра.

АОА плодов винограда находится в корреляционной зависимости от ОСФС [1]. АОА, оцененная методом АВТС, в первый год исследования составила 2,56–5,09 мм ТЭ/л и 2,85–4,09 мм ТЭ/л во второй год исследования для контрольных тест-объектов и снижалась в последовательности: Минский розовый > V-1 > Альфа (рисунок 3).



* – уровень значимости относительно контроля (P) $0,001 \leq P < 0,05$;

** – $0,001 \leq P < 0,01$; *** – $P < 0,001$

ЭБ-5, ЭБ-6 – эпибрасинолид в концентрации 10^{-5} моль/л и 10^{-6} моль/л соответственно;
 ЭК-8, ЭК-10 – эпикастастерон в концентрации 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно;
 СК-8, СК-10 – тетрасукцинат 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-8} моль/л
 и 10^{-10} моль/л соответственно

Рисунок 3 – Изменение активности плодов винограда под действием брассиностероидов

При анализе результатов мы наблюдаем согласованность в действии фитогормонов: ЭК в концентрации 10^{-8} моль/л оказывает положительное действие на ОСФС для сорта Альфа, что также сказалось на возрастании АОА, которая возрастает в 2 раза по сравнению с контролем в первый год исследования, а во второй год регистрации результатов параметр возрастает на 72,82 % по сравнению с контролем.

Для остальных исследуемых веществ в отношении сорта Альфа отмечено только снижение параметра.

Заметное уменьшение АОА отмечено для сортообразца V-1 при действии всех исследуемых веществ: снижение АОА при действии ЭБ в среднем составляет 25,5 % (в первый и второй год исследования), ЭК – 23,6 % (2022 г.), а его конъюгата с янтарной кислотой – 25,35 % (2022 г.). Во второй год исследования отмечается рост АОА для данного тест-объекта.

Схожая тенденция наблюдается и для сорта Минский розовый: АОА при обработке ЭБ снижается в среднем на 19 %, значительное снижение параметра отмечено при действии ЭК в концентрации 10^{-10} М – на 44 % по отношению к контролю, при действии СК параметр снижается, но незначительно, достоверных различий с контролем не выявлено.

Данная закономерность, вероятно, вызвана тем, что обработка исследуемыми фитогормонами снижает ОСФС, что, как следствие, уменьшает АОА сока плодов сорта Минский розовый.

Таким образом, положительное действие фитогормонов на параметр АОА выявлено только для сорта Альфа. Для остальных объектов выявлено только уменьшение АОА сока плодов исследуемых сортов.

Заключение

В результате сравнительного исследования влияния экзогенной обработки ЭБ, ЭК, СК плодов винограда на некоторые биохимические параметры спелости установлен сортоспецифичный характер ответа со стороны выбранных тест-объектов. Так, ЭК в концентрации 10^{-8} моль/л достоверно повышает ОСФС для плодов винограда сорта Альфа (в среднем на 25,25 %) и сортообразца V-1 (в среднем на 14,1 %), для сорта Минский розовый отмечено только снижение исследуемого параметра. ОКА при действии БС для тест-объектов Минский розовый и сортообразца V-1 существенно снижается в оба года исследования, а для сорта Альфа отмечается существенный рост параметра при действии ЭК и его конъюгата с янтарной кислотой: в среднем параметр возрастает в 5 раз. АОА для сорта Альфа закономерно возрастает (в среднем на 86 % относительно контроля) при действии ЭК в концентрации 10^{-8} моль/л вследствие возрастания ОСФС. Для сорта Минский розовый и сортообразца V-1 отмечается только снижение АОА, что вызвано ингибирующим действием фитогормонов на ОСФС.

Выявленная сортоспецифичность предполагает дальнейшее изучение влияния эпибрасинолида, эпикастастерона и его конъюгата с янтарной кислотой на других сортах винограда, как столовых, так и технических.

Авторы выражают благодарность академику, доктору биологических наук, профессору Владимиру Александровичу Хрипачу и доктору биологических наук, профессору Раисе Павловне Литвиновской за предоставленные препараты брасиностероидов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бриттон, Г. Биохимия природных пигментов : пер. с англ. / Г. Бриттон. – М. : Мир, 1986. – 422 с.

2. Lee, J.-H. Fruit Maturity and Juice Extraction Influences Ellagic Acid Derivatives and Other Antioxidant Polyphenolics in Muscadine Grapes / J.-H. Lee, S. T. Talcott // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, nr 2. – P. 361–366.
3. Antioxidant activity and phenolic composition in grape berries (*Vitis vinifera* L.) at different stages of maturation / N. Kolbas [et al.] // Symposium Viticulture end Œnologie «Wine Active Componaunds», 24–26 March 2011, Beaune, France. – IUVV, Bourgogne, 2011. – P. 307–308.
4. Doshi, P. Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chornyi (Sharad Seedless) during maturation / P. Doshi, P. Adsule, K. Banerjee // Intern. J. Food Sci. Technology. – 2006. – Vol. 41, (suppl. 1). – P. 1–9.
5. Handbook of enology [Traité d’oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 2 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – 444 p.
6. Phenotypic seedling responses of a metal-tolerant mutant line of sunflower growing on a Cu-contaminated soil series: potential uses for biomonitoring of Cu exposure and phytoremediation / A. Kolbas [et al.] // Plant and Soil. – 2014. – Nr 376. – P. 377–397.
7. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.]. – Брест : Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, 2019. – 261 с.
8. Синтез тетрагемисукцинатов брассиностероидов и их влияние на начальный рост растений ярового ячменя / Р. П. Литвиновская [и др.] // Биоорган. химия. – 2022. – Т. 48, № 3. – С. 352–356.
9. Василевская, А. В. Изменение морфометрических параметров подсолнечника однолетнего при действии эпикастатстерона и его конъюгата [Электронный ресурс] / А. В. Василевская, М. В. Русавук // Культурная и дикорастущая флора Белорусского Полесья : электрон. сб. материалов Респ. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов и аспирантов. – Брест : БрГУ, 2022. – С. 38–41.
10. Brassinosteroids are involved in controlling sugar unloading in *Vitis vinifera* «Cabernet Sauvignon» berries during veraison / F. Xu [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2015. – Vol. 94. – P. 197–208.
11. Handbook of enology [Traité d’oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 1 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – P. 244.
12. Waterhouse, A. L. Determination of Total Phenolics / A. L. Waterhouse // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2002. – I1.1.1–I1.1.8.
13. Giusti, M. M. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy / M. M. Giusti, R. E. Wrolstad // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2001. – F1.2.1–F1.2.13.
14. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re [et al.] // Free Radical Biology and Medicine. – 1999. – Vol. 26, nr 9/10. – P. 1231–1237.
15. Василевская, А. В. Сравнительная оценка ампелографических показателей и индекса спелости плодов *Vitis* L. при обработке брассиностероидами / А. В. Василевская, Н. Ю. Колбас // Вестн. фонда фундам. исслед. – 2024. – № 3 (109). – С. 123–132.

REFERENCES

1. Britton, G. Biokhimija prirodny'kh pigmentov : pier. s angl. / G. Britton. – М. : Mir, 1986. – 422 s.

2. Lee, J.-H. Fruit Maturity and Juice Extraction Influences Ellagic Acid Derivatives and Other Antioxidant Polyphenolics in Muscadine Grapes / J.-H. Lee, S. T. Talcott // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, nr 2. – P. 361–366.
3. Antioxidant activity and phenolic composition in grape berries (*Vitis vinifera* L.) at different stages of maturation / N. Kolbas [et al.] // Symposium Viticulture end Œnologie «Wine Active Componaunds», 24–26 March 2011, Beaune, France. – IUUV, Bourgogne, 2011. – P. 307–308.
4. Doshi, P. Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chornyi (Sharad Seedless) during maturation / P. Doshi, P. Adsule, K. Banerjee // Intern. J. Food Sci. Technology. – 2006. – Vol. 41, (suppl. 1). – P. 1–9.
5. Handbook of enology [Traité d’oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 2 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – 444 p.
6. Phenotypic seedling responses of a metal-tolerant mutant line of sunflower growing on a Cu-contaminated soil series: potential uses for biomonitoring of Cu exposure and phytoremediation / A. Kolbas [et al.] // Plant and Soil. – 2014. – Nr 376. – P. 377–397.
7. Biologichieskaja aktivnost’ brassinosteroidov i steroidny’kh glikozidov / S. E. Karoza [i dr.]. – Brest : Brest. gos. un-t im. A. S. Pushikna, 2019. – 261 s.
8. Sintez tietragemisukcinatov brassinosteroidov i ikh vlijanije na nachal’ny’j rost rastienij jarovogo jachmienja / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Bioorgan. khimija. – 2022. – T. 48, № 3. – S. 352–356.
9. Vasilievskaja, A. V. Izmienienije morfometriichieskikh paramietrov podsolniechnika odnolietniego pri diejstvii epikastatsterona i jego konjugata [Elektronny’j riesurs] / A. V. Vasilievskaja, M. V. Rusavuk // Kul’turnaja i dikorastushchaja flora Bielorussskogo Polies’ja : eliektron. sb. materialov Riesp. nauch.-prakt. konf. studentov, magistrantov i aspirantov. – Brest : BrGU, 2022. – S. 38–41.
10. Brassinosteroids are involved in controlling sugar unloading in *Vitis vinifera* «Cabernet Sauvignon» berries during veraison / F. Xu [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2015. – Vol. 94. – P. 197–208.
11. Handbook of enology [Traité d’oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 1 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – p. 244.
12. Waterhouse, A. L. Determination of Total Phenolics / A. L. Waterhouse // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2002. – I1.1.1–I1.1.8.
13. Giusti, M. M. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy / M. M. Giusti, R. E. Wrolstad // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2001. – F1.2.1–F1.2.13.
14. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re [et al.] // Free Radical Biology and Medicine. – 1999. – Vol. 26, nr 9/10. – P. 1231–1237.
15. Vasilievskaja, A. V. Sravnitel’naja ocenka ampielografichieskikh pokazatieliej i indeksa spielosti plodov *Vitis* L. pri obrabotkie brassinosteroidami / A. V. Vasilievskaja, N. Yu. Kolbas // Viestn. fonda fundam. isslied. – 2024. – № 3 (109). – S. 123–132.

УДК: 598.261.7:575.222.72:591.582.2

Ружана Валентиновна Вечёрко

аспирант 3-го года обучения, мл. науч. сотрудник лаборатории орнитологии
Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам

Ruzana Viacorka

3-d Post-Graduate Student, Junior Researcher of the Ornithology Laboratory
of the Scientific and Practical Center of National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources
e-mail: ruzana.viacorka@gmail.com

К ВОПРОСУ О НАЛИЧИИ ГИБРИДОВ ОБЫКНОВЕННОГО (COTURNIX COTURNIX) И ЯПОНСКОГО ПЕРЕПЕЛА (COTURNIX JAPONICA) В ДИКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ПЕРЕПЕЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Исследуется дикая популяция обыкновенного перепела (*Coturnix coturnix*) на наличие гибридов обыкновенного и японского перепела (*Coturnix japonica*) на территории Беларуси. Поиск гибридных особей осуществлялся методом прослушивания птиц в полевых условиях и анализа сонограмм записанных особей с нетипичными криками. Среди 234 прослушанных самцов обыкновенного перепела было выявлено три особи с нетипичной вокализацией, их крики были записаны и проанализированы. Одна из особей имела дополнительный 4 слог, который более характерен для гибридов японского и обыкновенного перепелов. Однако выявленные отличия не позволяют сделать окончательный вывод о ее гибридном происхождении. Другие две записанные птицы с нетипичной вокализацией, вероятно, относятся к виду обыкновенный перепел, так как, несмотря на некоторые различия, структура их песен в целом совпадает. Результаты анализа позволяют предположить присутствие гибридных особей в популяции обыкновенного перепела на территории Беларуси, однако необходимы дополнительные исследования.

Ключевые слова: обыкновенный перепел, *Coturnix coturnix*, гибридизация, японский перепел, *Coturnix japonica*, сонограмма, голоса птиц.

To the Question of the Presence of Hybridization Between Common Quail (*Coturnix Coturnix*) and Japanese QuailS (*Coturnix Japonica*) in the Wild Quail Population in Belarus

In this study the wild population of Common quail (*Coturnix coturnix*) in Belarus is being investigated to determine the presence of hybrids between Common quail and Japanese quail (*Coturnix japonica*). The search for hybrid individuals involved listening to birds in the field and analyzing sonograms of recorded individuals with atypical calls. Three individuals with atypical songs were identified out of the 234 male common quail studied. Their calls were recorded and analyzed. One of these individuals exhibited an additional fourth syllable, which is more common in hybrids of Japanese and Common quail. However, based on the identified differences, a definitive conclusion about their hybrid origin cannot be drawn yet. The other two birds displaying atypical calls are likely Common quail because the overall structure of their calls remains consistent, despite some variations. The analysis results indicate the potential presence of hybrid individuals within the common quail population in Belarus. However, additional research is required to confirm this observation.

Key words: Common quail, *Coturnix coturnix*, hybridization, Japanese quail, *Coturnix japonica*, sonogram, bird voices.

Введение

Обыкновенный перепел – популярный охотничий вид птиц, в связи с этим в ряде стран ежегодно для упрощения проведения любительской охоты с подружейными собаками в дикую природу выпускается большое количество домашних японских перепелов (*Coturnix japonica*) и их гибридов с обыкновенным перепелом.

Проблема гибридизации этих видов освещается испанскими учеными еще с 1990-х гг. [1]. Гибридные особи были обнаружены по всей Западной Европе, а генетические доказательства интрогрессивной гибридизации были зарегистрированы в Испании [2; 3] и Франции [4], а также Греции [5].

Научный руководитель – Марина Григорьевна Дмитренко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории орнитологии Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам

В лабораторных условиях японский и обыкновенный перепела скрещиваются, производя фертильное потомство, продуктивность которого не ниже, чем родительская [6]. Несмотря на то что брачный крик самцов видов значительно отличается, самки японских перепелов не проявляют избирательности по этому признаку, хотя самки обыкновенного перепела предпочитают самцов своего вида [7]. Согласно исследованиям других авторов, гибридные самцы достигают большего успеха в оплодотворении, чем самцы обыкновенного перепела [8].

Исследования влияния выпускных гибридов на дикую популяцию перепела проводились в Испании, где с помощью радиотрекинга наблюдали за выпущенными самками гибридных и обыкновенных перепелов [2; 9; 10]. В течение непродолжительного времени после мечения большинство гибридных самок успешно спарились с дикими самцами обыкновенного перепела, две из них спарились с гибридными самцами. Часть гибридных самок приступили к гнездованию, отложили яйца и вывели птенцов. Однако смертность среди этих самок была значительно выше, чем у самок обыкновенного перепела, что, по мнению авторов, связано с их низкой приспособленностью к жизни в дикой природе.

В европейских странах (Испании, Португалии, Франции и Греции) существует законодательство, запрещающее выпуск гибридных и японских перепелов в дикую природу [3]. Несмотря на это, гибридные перепела продолжают выращиваться на фермах и незаконно использоваться в охотничьих целях, т. к. они более просты в разведении в неволе.

По данным исследований, гибридизация этих двух видов приводит к проблемам с миграционным поведением и адаптацией к неблагоприятным условиям окружающей среды [11; 12], распространению болезней и паразитов, а также к созданию гибридной популяции [2; 9; 10]. Также интрогрессия генов домашних японских перепелов в популяцию диких обыкновенных перепелов может повлиять на проявление других важных функциональных признаков (размера тела, окраски оперения, половых сигналов) [2].

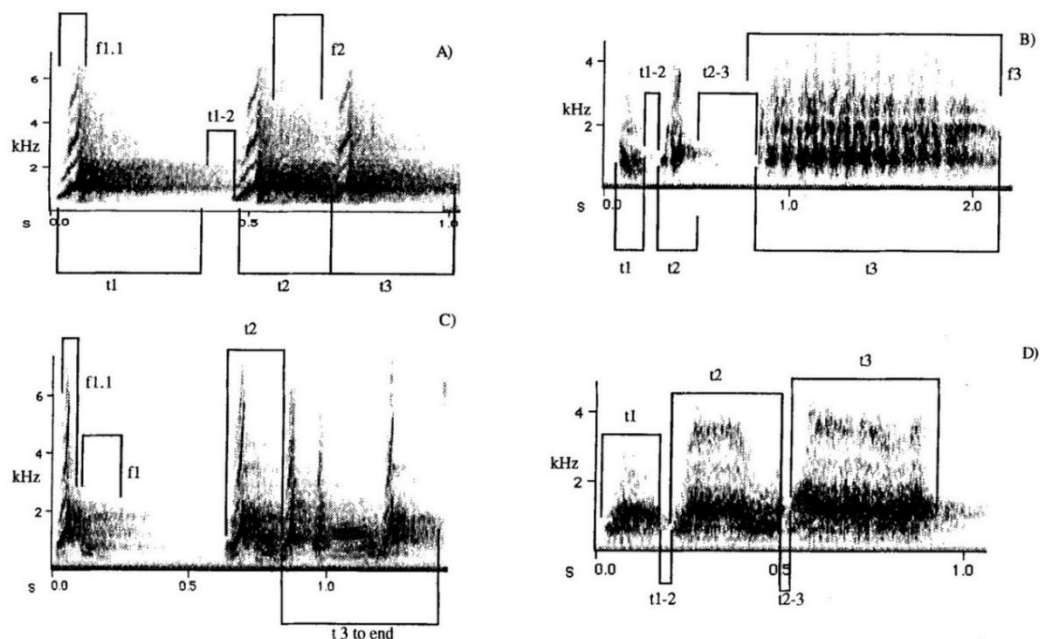
В Беларуси существуют фермы по разведению одомашненных японских перепелов, данные птицы активно используются для тренировки подружейных собак, в результате чего японские перепела могут попадать в дикую природу.

В России также стали появляться хозяйства, занимающиеся разведением и выпуском японских перепелов, и, возможно, гибридных особей с целью натаски охотничьих собак и организации охоты на выпускных птиц. В настоящее время публикации, подтверждающие этот факт, отсутствуют, однако имеются сведения публицистического характера о продаже и использовании таких птиц для охоты. Также через нашу страну проходят миграционные пути обыкновенного перепела. Исходя из данных кольцевания по ближайшим странам [13], перепела, гнездящиеся в Беларуси, вероятно, мигрируют на места зимовки и обратно несколькими путями: через Апеннинский полуостров и через Балканский полуостров и Причерноморье. Таким образом, существует возможность естественного попадания перепелов, несущих гибридные гены, на территорию нашей страны из мест, где отмечены гибриды японского и обыкновенного перепелов в дикой природе (Италия, Греция). В Восточной Европе, в т. ч. и в Беларуси, работы по изучению генетической структуры и разнообразия популяции обыкновенного перепела не проводились.

Исследования европейских ученых показывают, что гибридных особей можно распознать по голосам самцов [14–16]. Известно, что структура песни у самцов обыкновенного и японского перепела различна (рисунок 1) [14]. Песня самца обыкновенного перепела включает двух- или трехсложное «ва-ва» и следующие за ним многочисленные триплеты, каждый из которых состоит из трех слогов примерно одинаковой про-

должительности [14–16]. У японского перепела песня представлена только триплетом, третий слог значительно длиннее первого и второго и состоит из множества частей.

У гибридов первого поколения наблюдается промежуточная структура песни между родительскими видами, которую можно отнести к двум типам: либо очень похожую на песню японского перепела, либо напоминающую песню обыкновенного перепела, но имеющую после третьего слога несколько дополнительных слогов [14].



А) обыкновенный, В) японский,
С) гибрид как обыкновенный, D) гибрид как японский

Рисунок 1 – Сонограммы криков перепелов [14]

В некоторых случаях структура песни у гибридов первого поколения может совсем не совпадать с таковой у родительских особей, а также меняться со временем [15; 16]. Первая часть песни – «ва-ва» – иногда может присутствовать у гибридных особей и сливаться с триплетом, образуя новые типы криков. При обратном скрещивании гибридов F1 с родительской особью *C. coturnix* получается потомство со структурой песни и ее характеристиками, очень близкими к обыкновенному перепелу [16]. Таким образом, даже незначительные изменения в песне могут свидетельствовать о гибридном происхождении. Данные отличия позволяют выявить гибридную особь как с использованием специальных инструментов анализа сонограмм, так и на слух.

Целью данного исследования стало изучение популяции обыкновенного перепела на территории Беларуси на предмет наличия гибридных особей с японским перепелом с помощью биоакустического метода.

Материалы и методы

Поиск гибридных особей японского и обыкновенного перепелов в белорусской популяции осуществлялся методом прослушивания птиц в полевых условиях и анализа сонограмм записанных особей с нетипичными криками.

В 2022–2023 гг. на территории Беларуси было прослушано 234 вокализирующих самца обыкновенного перепела (из них 100 – в 2022 г., 134 – в 2023 г.).

Исследования проводились в следующих районах: Пружанский и Столинский (Брестская обл.), Миорский и Сенненский (Витебская обл.), Кормянский, Октябрьский, Петриковский и Светлогорский (Гомельская обл.), Дятловский, Мостовский, Новогрудский и Сморгонский (Гродненская обл.), Дзержинский, Минский, Мядельский, Пуховичский и Смолевичский (Минская обл.), Бобруйский, Кировский, Краснопольский и Чаусский (Могилевская обл.).

Прослушивание и запись вокализаций осуществлялись в промежуток времени, начинающийся за час до и заканчивающийся через час после рассвета и заката, в пик активности птиц в сезон гнездования изучаемого вида – с середины мая до начала августа. Исследования проводились в типичных для вида местах обитания – на различных сельскохозяйственных угодьях (посевы сельскохозяйственных культур, луга, используемые под пастбища и сенокосы).

Среди прослушанных самцов перепела выявлено три особи с нетипичной вокализацией, голоса данных особей были записаны в полевых условиях с помощью ручного рекордера. Полученные сонограммы криков записанных птиц – 11 криков для особи № 1 (записан 15.05.2023 г.), 8 криков для особи № 2 (записан 29.06.2023 г.) и 16 криков для особи № 3 (записан 30.06.2022 г.) – были проанализированы с помощью методики, основанной на результатах исследования голосов гибридов обыкновенного и японского перепела, проведенного учеными из Великобритании и Франции [14–16]. Анализировалась структура триплета и его составляющих в песне самцов. Продолжительность третьего слога в триплексе у особей с нетипичной вокализацией сравнивалась с данным параметром у особей обыкновенного и японского перепелов.

В работе С. А. Коллинс и А. Р. Голдсмит представлены данные по продолжительности третьего слога в триплексе (рисунок 1, «t3 to the end» и «t3») у обыкновенного, японского и гибридного перепелов [14]. Однако голоса птиц были записаны в звукоизолированном помещении, что затрудняет сравнение этих данных с полученными в рамках настоящего исследования. На записях *in vivo* затухание третьего слога почти отсутствует либо неразлично из-за шума, поэтому результаты С. А. Коллинс и А. Р. Голдсмита не могут в полной мере быть использованы для выявления гибридных особей по данному признаку.

Также были обработаны и использованы для сравнения голоса 29 самцов (от 3 до 15 криков для каждого, $n = 180$) обыкновенного перепела, записанные на территории Беларуси, и имеющиеся в свободном доступе записи голосов 15 самцов (от 1 до 5 криков для каждого, $n = 30$) японского перепела [17]. Анализ сонограмм проводился в программе Audacity.

Статистическая обработка данных проведена в программе jamovi. Значимость различий между продолжительностью 3-го слога обыкновенного, японского перепела и особей с нетипичной вокализацией была установлена с помощью непараметрического критерия Краскала – Уоллиса.

Результаты и обсуждение

Анализ сонограмм, записанных на территории Беларуси перепелов с нетипичной вокализацией (рисунок 2), показал, что триплет у особей № 1 и № 2 состоит из трех слогов примерно одинаковой продолжительности (средняя продолжительность (мсек) слогов у особей № 1 и № 2 соответственно: первый слог – 54,7 и 47,5; второй слог – 59,3 и 57,5, третий слог – 54,5 и 48,4) и не имеет каких-либо дополнительных частей и слогов в конце крика. По структуре данная вокализация соответствует типичной песне обыкновенного перепела.

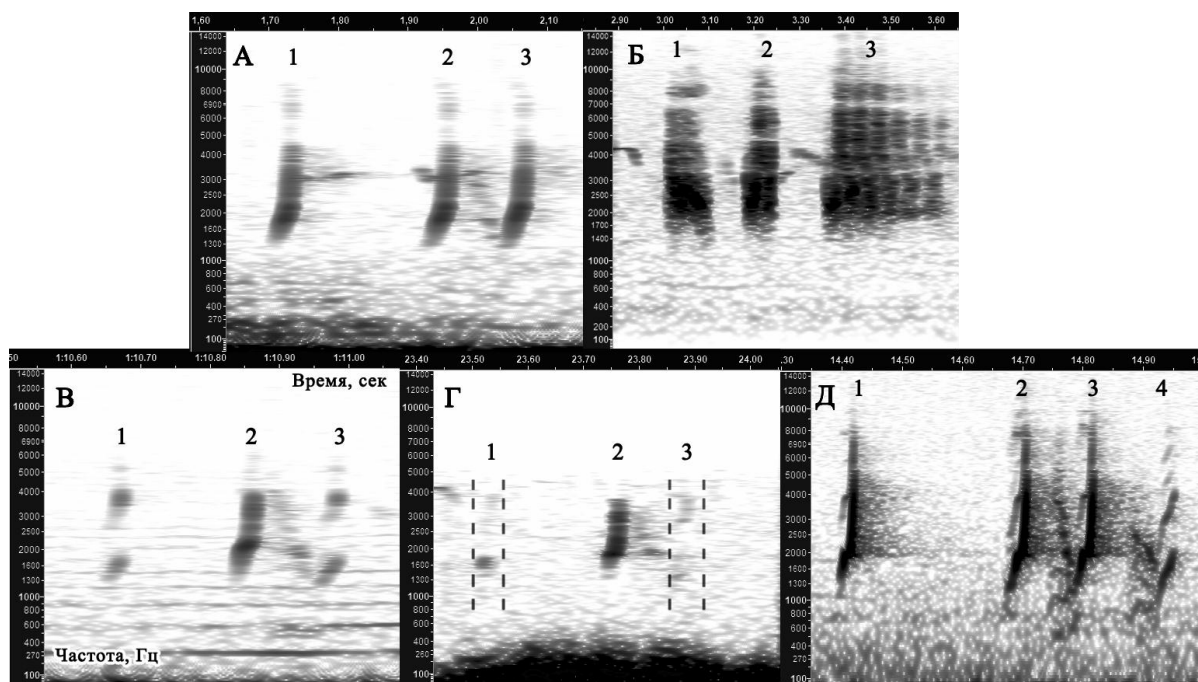


Рисунок 2 – Сонограммы криков (триплетов) обыкновенного перепела (А), японского перепела (Б), перепела с нетипичной песней № 1 (В), № 2 (Г) и № 3 (Д), записанных в полевых условиях. Цифрами 1, 2, 3 и 4 обозначены слоги. Сонограмма японского перепела получена из открытой базы данных Xeno-canto [17]

Нетипичное звучание песни у особей № 1 и № 2 объясняется отсутствием в первом, втором и третьем слогах центральных частот. Так, у перепела № 1 в первом слоге в среднем отсутствовали частоты в диапазоне $2\,031 \pm 39$ – $2\,521 \pm 172$ Гц, в третьем слоге – $2\,039 \pm 63$ – $2\,686 \pm 68$ Гц, в трех случаях отсутствовали частоты и во втором слоге ($2\,103 \pm 23$ – $2\,856 \pm 33$ Гц). У перепела № 2 наблюдается похожая особенность, однако в первом и третьем слогах диапазон отсутствующих частот еще шире ($1\,851 \pm 59$ – $2\,715 \pm 61$; $1\,781 \pm 186$ – $2\,549 \pm 340$ Гц), границы слогов более расплывчаты и в четырех криках высокочастотная часть первого слога отсутствовала полностью. У обеих особей первый и третий слоги имели более низкую амплитуду звука, чем второй слог, в то время как в типичной песне обыкновенного перепела амплитуда всех слогов примерно одинакова. Возможно, нетипичные показатели песен связаны с индивидуальными особенностями птиц. В частности, частотные показатели криков одной и той же особи могут изменяться по мере взросления. Данное явление наблюдалось европейскими учеными у содержащегося в неволе японского перепела – значение средней частоты криков молодых особей увеличивалось на протяжении 12 недель [18]. Также возрастные изменения структуры песни и ее характеристик отмечены у гибридов японского и обыкновенного перепелов [16].

У особи № 3 в триплете наблюдается появление еще одного слога – четвертого, что характерно для гибридов обыкновенного и японского перепелов [14]. Стоит отметить, что дополнительный слог отличается – совокупность временных и частотных показателей, которая формирует структуру слога, у него не совпадает с первым, вторым и третьим слогами у этой же особи. Если игнорировать появление четвертого слога, остальные параметры песни остаются типичными для обыкновенного перепела: первые три слога примерно одинаковые по продолжительности (средний показатель, мсек: первый слог – 37,2, второй слог – 44,6, третий слог – 40,3) и структуре. Также у данной особи была записана первая часть песни – «ва-ва», которая состоит из двух частей и по

своей структуре и характеристикам соответствует обыкновенному перепелу. Данную особь не удалось отловить и получить генетический материал для исследования. Существует вероятность того, что отмеченные особенности в песне обусловлены внутривидовой изменчивостью голосов обыкновенного перепела, однако на настоящий момент этот вопрос не изучен в полной мере.

Дополнительно был проведен статистический анализ продолжительности третьего слога у выявленных трех особей с нетипичной песней и данным параметром у японского и обыкновенного перепелов (таблица).

Таблица – Продолжительность третьего слога у обыкновенного и японского перепелов, а также у трех особей с нетипичной вокализацией

Вид	N	Медиана	SD	Min	Max
Обыкновенный	180	46,5	9,0	29,0	66,0
Особь № 1	11	54,0	2,1	52,0	59,0
Особь № 2	8	50,0	6,7	34,0	56,0
Особь № 3 (без учета четвертого слога)	16	40,0	1,9	38,0	44,0
Особь № 3 (с учетом четвертого слога)	16	288,0	8,2	283,0	313,0
Японский	30	227,0	48,6	135,0	382,0

Сравнение с использованием непараметрического критерия Краскела – Уоллиса показал достоверную разницу ($p < 0.05$) в продолжительности третьего слога у перепела № 3 (с учетом дополнительного четвертого слога) и обыкновенного перепела. Третий слог, если включать в него четвертый, был намного длиннее у исследуемой особи. С показателем продолжительности третьего слога у японского перепела у данной особи достоверных отличий не выявлено.

Также отмечена разница ($p < 0.05$) между продолжительностью третьего слога у перепела № 1 и обыкновенного перепела. Несмотря на это, значения этого показателя (52–59 мсек) у особи входят в диапазон полученных значений для вида (29–66 мсек).

На основании одной нетипичной песни нельзя сделать окончательный вывод о наличии гибридов обыкновенного и японского перепела в Беларуси. Для подтверждения данной гипотезы необходимы дополнительные исследования, как акустические, так и генетические. Вместе с тем, учитывая, что песня одной из исследованных особей имела некоторые признаки песни японского перепела, можно предположить, что она может являться потомком гибридов обыкновенного и японского перепела.

Заклучение

Среди 234 прослушанных самцов обыкновенного перепела было выявлено и записано три особи с нетипичной вокализацией. Одна из них имела дополнительный четвертый слог, который более характерен для гибридов японского и обыкновенного перепелов. Продолжительность третьего слога (с учетом дополнительного четвертого слога) у этой особи статистически значимо отличается от данного показателя у обыкновенного перепела. Однако признаки гибридизации в песне данной особи выражены достаточно слабо, поэтому нельзя однозначно утверждать о ее принадлежности к гибридам. Другие две записанные птицы с нетипичной вокализацией, вероятно, принадлежат к виду обыкновенный перепел, так как структура их песен совпадает. Для окончательного вывода о наличии гибридных особей на территории Беларуси необходимы дополнительные исследования – прослушивание и записи голосов большего числа особей, а также анализ генетического материала.

Автор выражаєт благодарность БРФФІ за фінансовую піддержку дослідження, научным співробітникам лабораторії орнітології Научно-практического центра Національної академії наук Білорусі по біоресурсам Маріне Грігор'євне Дмитренко, Павлу Александровичу Пакулю, Максиму Вікторовичу Тарантовичу, преподавателям Минского государственного туристско-экологического центра детей и молодежи Алексею Мустафовичу Мухле и Максиму Валентиновичу Цвирко, а также учащимся за помощь в сборе материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Codornices japonesas en nuestros campos / J. Rodriguez-Teijeiro [et al.] // Trofeo. – 1993. – № 277. – P. 48–52.
2. Detecting hybridization in wild (*Coturnix c. coturnix*) and domesticated (*Coturnix c. japonica*) quail populations / M. Barilani [et al.] // Biological Conservation. – 2005. – Vol. 126. – P. 445–455.
3. Are farm-reared quails for game restocking really Common Quails (*Coturnix coturnix*)? : A genetic approach / I. Sanchez-Donoso [et al.] // PloS one. – 2012. – Vol. 7, iss. 6. – P. 1–8.
4. Evidence for introgressive hybridization of wild Common Quail (*Coturnix coturnix*) by domesticated Japanese quail (*Coturnix japonica*) in France / O. Chazara [et al.] // Conserv. Genet. – 2010. – Vol. 1. – P. 1051–1062.
5. Tsiompanoudis, A. Observations of breeding and wintering European quail *Coturnix coturnix* in northern Greece / A. Tsiompanoudis, V. J. Kotsiotis, D. Bakaloudis // International Journal of Galliformes Conservation. – 2011. – Vol. 2. – P. 38–39.
6. Derégnaucourt, S. Hybridization between European Quail (*Coturnix c. coturnix*) and Japanese Quail (*Coturnix c. japonica*) / S. Derégnaucourt, J. Guyomarc'h, N. Aebischer // Ardea-Wageningen. – 2002. – Vol. 90. – P. 15–21.
7. Derégnaucourt, S. Mating Call Discrimination in Female European (*Coturnix c. coturnix*) and Japanese Quail (*Coturnix c. japonica*) / S. Derégnaucourt, J. Guyomarc'h // Ethology. – 2003. – Vol. 109. – P. 107–119.
8. Postcopulatory sexual selection favors fertilization success of restocking hybrid quails over native Common quails (*Coturnix coturnix*) / I. Sanchez-Donoso [et al.] // Journal of Ornithology. – 2016. – Vol. 157. – P. 33–42.
9. Puigcerver, M. Does restocking with Japanese quail or hybrids affect native populations of common quail *Coturnix coturnix*? / M. Puigcerver, D. Vinyoles, J. Rodriguez-Teijeiro // Biological Conservation. – 2007. – Vol. 136. – P. 628–635.
10. Decreased fitness of restocked hybrid quails prevents fast admixture with wild European Quails / M. Puigcerver [et al.] // Biological Conservation. – 2014. – Vol. 171. – P. 74–81.
11. Derégnaucourt, J. Comparison of migratory tendency in European Quail *Coturnix c. coturnix*, domestic Japanese Quail *Coturnix c. japonica* and their hybrids / S. Derégnaucourt, J. Guyomarc'h, M. Belhamra // Ibis. – 2005. – Vol. 147. – P. 25–36.
12. The role of nest-site selection and cereal production in differential nest predation in Common Quail *Coturnix coturnix* and hybrid quail *C. coturnix* × *C. japonica* / J. Capdevila [et al.] // Ibis. – 2016. – Vol. 158. – P. 784–795.
13. The Eurasian African Bird Migration Atlas [Electronic resource]. – Mode of access: <https://migrationatlas.org>. – Date of access: 27.02.2024.
14. Collins, S. A. Individual and Species Differences in Quail Calls (*Coturnix c. japonica*, *c. c. coturnix* and a Hybrid) / S. A. Collins, A. R. Goldsmith // Ethology. – 1998. – Vol. 104. – P. 977–990.

15. Derégnaucourt, S. Classification of hybrid crows in quail using artificial neural networks / S. Derégnaucourt, J. Guyomarc'h, V. Richard // Behavioural Processes. – 2001. – Vol. 56. – P. 103–112.

16. Derégnaucourt, S. Interspecific Hybridization as a Tool to Understand Vocal Divergence: The Example of Crowing in Quail (Genus *Coturnix*) / S. Derégnaucourt // PLOS ONE. – 2010. – Vol. 5, iss. 2. – P. 1–13.

17. Xeno-canto.org [Electronic resource]. – Mode of access: <https://xeno-canto.org>. – Date of access: 27.02.2024.

18. Derégnaucourt, S. Dynamics of crowing development in the domestic Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) / S. Derégnaucourt, S. Saar, M. Gahr // Proceedings. Biological sciences / The Royal Society. – 2009. – Vol. 276. – P. 2153–2162.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 16.02.2024

УДК 631.4

**Андрей Степанович Домас¹, Наталья Валерьевна Шкуратова²,
Ирина Даниловна Лукьянчик³**

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

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

Andrei Domas¹, Natalia Shkuratova², Irina Lukyanchik³

^{1,3}Candidate of Agricultural Sciences,

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

²Candidate of Biological Sciences,

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

e-mail: ¹domasandrei@gmail.com; ²schkuratova_n@tut.by; ³idl-27@tut.by

ГУМУСОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ Г. БРЕСТА*

Изучены показатели содержания и состава гумуса в почвах с различной техногенной нагрузкой на территории г. Бреста. Выявлено значительное варьирование гумусовых показателей в связи с искусственным происхождением большинства городских почв и различием в характере их использования. Показано, что в составе гумуса изученных урбанизированных территорий выявлено высокое содержание гуминовых кислот, а качественный состав гумуса определяется как гуматно-фульватный и фульватно-гуматный. Установлено, что усиление техногенного воздействия на почвенный покров ведет к снижению доли гидролизующихся гумусовых веществ и повышению доли негидролизующегося остатка.

Ключевые слова: гумус, почвы, урбанизированные территории, гуминовые кислоты, фульвокислоты, качество гумуса, урбоэкология.

Humus State of Soils in Brest

The indicators of the content and composition of humus in soils with various technogenic forms on the territory of the city of Brest were studied. Conclusions have been drawn about humus indicators in connection with the artificial conditions of the main basic soils and the peculiarities in the nature of their use. It has been shown that the humus composition of the studied urbanized areas contains a high content of humic acids, and the qualitative composition of humus is determined as humate-fulvate and fulvate-humate. It has been established that increased technogenic impact on the soil cover leads to a decrease in the proportion of hydrolyzable humic substances and an increase in the proportion of non-hydrolyzable residue.

Key words: humus, soils, urbanized territories, humic acids, fulvic acids, humus quality, urban ecology.

Введение

В ходе процесса урбанизации образовывается специфическая урбоэкосистема, под которой понимают нестабильную природную и антропогенную систему, которая искусственно создана и поддерживается человеком [1]. Такие экосистемы имеют меньшую рекреационную ценность, в отличие от ненарушенных экосистем в них происходит нарушение биокруговорота, сокращение биоразнообразия, идет накопление поллютантов, происходит их миграция в трофических цепях. Поверхностный слой почвы в городских условиях подвергается постоянному воздействию со стороны промышленных предприятий, автотранспорта, тепловых электростанций, процессов строительства, миграции потенциально токсичных элементов из свалок и открытых карьеров. Благодаря своим биогеохимическим свойствам и высокой емкости поглощения почва аккумулирует, сорбирует и разрушает огромное количество токсических соединений

Работа выполнена в рамках НИР «Оценка гумусового состояния и биологической активности почв урбанизированных территорий с различной техногенной нагрузкой» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (№ госрегистрации 20211453 от 20.05.2021).

и становится практически единственным геохимическим барьером на пути миграции токсичных веществ в атмосферу города и грунтовые воды. Важнейшая роль в формировании биопротекторной функции почвенного покрова принадлежит специфическому почвенному органическому веществу – гумусу.

Будучи ведущим началом в образовании почвенного тела, гумус обладает, с одной стороны, значительной динамичностью и способностью откликаться на любые изменения окружающей среды или вмешательство человека, а с другой – представляет собой достаточно «консервативную» часть почвы, способную в определенных пределах противостоять возмущающим воздействиям, сохраняя экологический статус. В связи с этим изучение органического вещества почв является необходимым этапом при решении многих вопросов, связанных с рациональной эксплуатацией почвенных ресурсов, прогнозированием последствий технопедогенеза, а также созданием теоретических основ почвенного мониторинга урбоэкосистем [2; 3]. Гумусовое состояние сельскохозяйственных и нативных почв довольно хорошо изучено, однако составу гумуса городских почв, несмотря на его особую экологическую значимость, уделено гораздо меньше внимания исследователей.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования выступили почвы г. Бреста с различным техногенным воздействием. Для достижения поставленной цели нами было отобрано 44 смешанных почвенных образца. Отбор почвенных образцов для исследования проводился тростьевым буром на глубину 0–20 см в период весна – осень 2021–2023 гг. Смешанный образец составлялся из 10 индивидуальных проб. Формирование смешанного образца почв в пределах придорожных и железнодорожных территорий производилось из 10 индивидуальных проб, взятых через каждые 10 м друг от друга вдоль дорожного полотна. Точки отбора индивидуальных образцов придорожных и железнодорожных почв располагались на расстоянии 1 м от полотна дороги. Почвенные образцы были сгруппированы по видам техногенного воздействия: почвы придорожных территорий, почвы, прилегающие к железнодорожному полотну (ЖД), почвы рекреационных территорий (парки, лесной массив, дворовые территории), почвы техногенных объектов (производственные предприятия, АЗС, котельная, автомойки).

Почвенные образцы подготавливали к анализу по стандартной методике (ГОСТ 17.4.4.02-2017). В почвенных образцах определяли валовое содержание органического вещества методом И. В. Тюрина (ГОСТ 26213-91) [4], качественный состав органического вещества – методом И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [5], pH_{KCl} – стандартным потенциометрическим методом по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85) и оценивали некоторые параметры гумусового состояния почв [6]. Пересчетный коэффициент с углерода органических веществ почвы на гумус – 1,724.

Результаты и их обсуждение

Содержание органического вещества в исследованных почвах г. Бреста варьировало в широком диапазоне значений (0,66 – 6,09 %) ввиду крайней неоднородности их генезиса и характера использования. Среднее содержание углерода органических веществ ($\text{C}_{\text{орг}}$) в исследованных почвах было $1,66 \pm 0,23 \%$, что в пересчете на гумус составило $2,87 \pm 0,40 \%$. Данное значение было выше среднего значения для пахотных почв как в целом по Республике (2,24 %), так и по Брестской области (2,48 %). Как показывают исследования, в городских почвах накопление органического вещества в первую очередь идет за счет растительного компонента, бытового мусора, техногенных углеродов, сажи, резиновой и асфальтовой пыли, продуктов сгорания ТЭЦ и др. [7; 8].

Наиболее обеспеченными почвенным органическим веществом оказались почвы, прилегающие к железнодорожному полотну. Среднее содержание углерода органического вещества здесь было $2,94 \pm 0,31$ % или $5,07 \pm 0,53$ % в пересчете на гумус, что составило 138,3 % от среднего значения для пахотных почв Республики Беларусь (рисунок 1).

Эти территории отличались мощной дерниной и густым травостоем, состоящим из злаковой растительности, что, скорее всего, и явилось основным фактором высокой обеспеченности гумусом данной почвы. Данный показатель, по классификации Д. С. Орлова и Л. А. Гришиной, относился к градации среднего содержания гумуса в минеральном слое почвы [6], тогда как для условий Беларуси такое содержание органического вещества в почве является высоким даже для почв улучшенных сенокосов и пастбищ. По содержанию органического вещества выделяется почвенный образец, взятый в пределах железнодорожной станции Брест-Полесский (ГП-12), где содержание гумуса достигало 6,09 %.

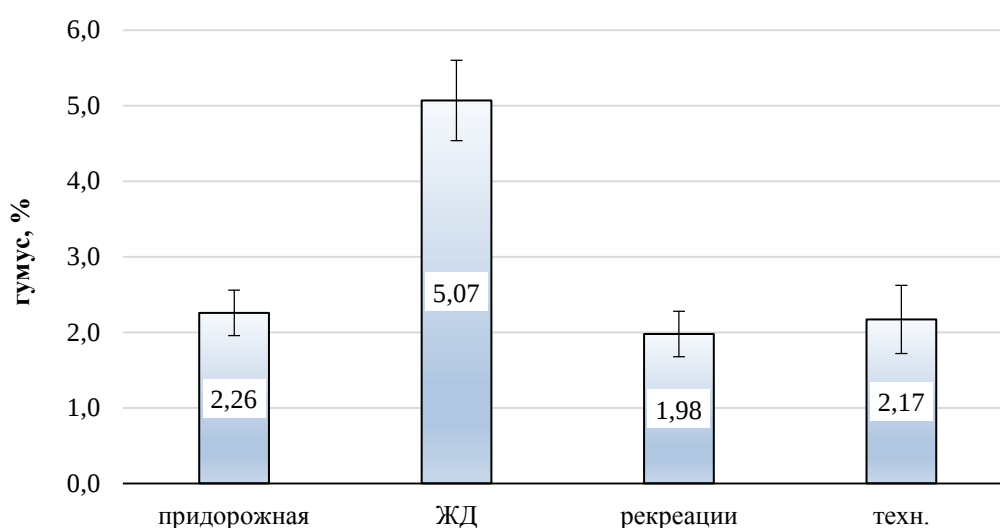


Рисунок 1 – Содержание гумуса в почвах г. Бреста

В почвах, расположенных в окрестностях придорожных территорий и техногенных объектов, содержание гумуса было ниже, чем в железнодорожной почве, но тем не менее сопоставимо или выше среднего значения для Беларуси (рисунок 1). Для почв, расположенных вдоль автомобильных путей сообщения, преимущественно отмечается наличие газонов, занятых специально разработанными смесями злаковых трав, за которыми регулярно осуществляется уход (подсев, скашивание и т. д.), что, несмотря на интенсивное воздействие со стороны автомобильного транспорта, способствует формированию значительного подземного опада. Таким образом, в пределах придорожных территорий содержание гумуса в среднем составило $2,26 \pm 0,30$ %. Обеспеченность органическим веществом почв территорий, прилегающих к различным техногенным объектам, также была удовлетворительной ($2,17 \pm 0,40$ %).

Анализируя данные по почвам придорожных территорий, следует учитывать, что почвы, составляющие данные территории, в своем большинстве сформировались вдоль городских дорог не в результате почвообразовательного процесса, а появились в результате планировочных мероприятий по благоустройству территорий, т. е. преимущественно являются привозными. Вследствие этого данные почвы обладают весьма широким диапазоном значений по всем регистрируемым показателям, преимущественно, по нашему мнению, унаследованных. Так, например, содержание гумуса в данных почвах варьирует от 0,76 % (ул. Крушинская – ГП-43) до 6,09 % (по ул. Лейтенанта

Рябцева – ГП-2), а коэффициент вариации составляет 0,57. При этом содержание гумуса в данных почвах не зависело от интенсивности движения автомобильного транспорта ($r = 0,08$), что также говорит в пользу значительной гетерогенности придорожных почв. Более высокие показатели гумусированности придорожных почв регистрировались на участках с визуально более плотным травянистым покровом, что, с одной стороны, может быть причиной повышенной гумусированности данных почв, а с другой – богатый напочвенный покров придорожных территорий является следствием плодородия почв, послуживших материалом для планировочных мероприятий.

Содержание гумуса в почвах рекреационных территорий, к которым относились как почвы во дворах, так и почвы парков, также значительно варьировало ($CV = 0,53$). Среди исследованных дворовых почв наибольшая обеспеченность органическим веществом была выявлена во дворе пер. Сосновый (ГП-19) – 1,39 % $C_{орг}$, что в перерасчете на гумус составило 2,40 %. В почвенном образце, относящемся к дворовой территории по ул. Пушкинской (ГП-14), содержание гумуса было в 1,3 раза меньше, притом визуальное состояние травянистого покрова было значительно лучше, а гранулометрический состав почв в обоих случаях был связнопесчаным. Наименьшая обеспеченность почвенным органическим веществом была выявлена во дворе, относящемся к Партизанскому проспекту (ГП-47), – 1,55 % гумуса. Таким образом, среднее содержание гумуса в исследованных дворовых территориях г. Бреста составило $1,91 \pm 0,25$ %.

Обеспеченность почвенным органическим веществом почв парковых территорий г. Бреста составила в среднем $1,16 \pm 0,40$ % $C_{орг}$. Низкое значение показателя содержания гумуса и его значительная вариация объясняется как отчуждением опада, являющегося важным источником поступления органики, уборкой, так и тем, что для исследования были использованы также почвенные образцы, представляющие собой переуплотненную почву тропинок в парке Воинов-интернационалистов. Так, среднее содержание гумуса в условиях переуплотнения под влиянием вытаптывания было в 2,25 раза ниже, чем в почве, расположенной лишь в 50 см от края тропинки (0,83 % и 1,86 % соответственно), что свидетельствует не только о значительном ухудшении показателей физических свойств почв в условиях значительной антропогенной нагрузки, но и о дефиците поступления свежего органического вещества с почвенной поверхности. Наиболее высокое содержание гумуса в границах парковых территорий выявлено в почвенном образце парка «1 Мая» (ГП-24) – 3,97 %. Сопоставимый по значению показатель гумусированности почв мы выявили также и в почве сквера «Южный» (ГП-31) – 3,86 %. В почвенных образцах других исследованных рекреационных территорий города (парк «Дубровка», парк Воинов-интернационалистов, лесной массив в окрестностях РУП «Белтаможсервис») содержание гумуса было более низким (0,95 % (ГП-28), 1,97 % (среднее по образцам ГП-5, ГП-7, ГП-8), 1,66 % (ГП-9) соответственно).

Таким образом для исследуемых почв г. Бреста выявлено снижение обеспеченности гумусом в следующем ряду: ЖД > Техногенные > Придорожные > Рекреации. Схожее распределение обеспеченности городских почв гумусом выявлено и в работе В. И. Васенева и др. [9].

Результаты исследования также выявили значительное варьирование показателей фракционно-группового состава гумуса в почвах в зависимости от вида урбанизированных территорий (рисунки 2, 3). Так, если для зональных дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв характерен гуматно-фульватный тип гумуса [10; 11], то в почвах урбанизированных территорий качество гумуса возрастает. Так, наиболее качественный состав гумуса (показатель $Сгк/Сфк$) принадлежал почвам, прилежащим к железнодорожному полотну, – качество гумуса варьировало от гуматно-фульватного с высокой долей гуминовых кислот ($Сгк/Сфк = 0,89$) в почвенном образце с ул. Орджоникидзе (ГП-3), где отмечается наименьшая интенсивность железнодорож-

ного движения, до гуматного ($C_{ГК}/C_{ФК} = 1,72$) в образце почвы с окрестностей железнодорожного переезда по ул. Суворова (ГП-22). Средний показатель относительного содержания гуминовых кислот и фульвокислот изученных железнодорожных почв г. Бреста составил 1,33 и определяется как фульватно-гуматный.

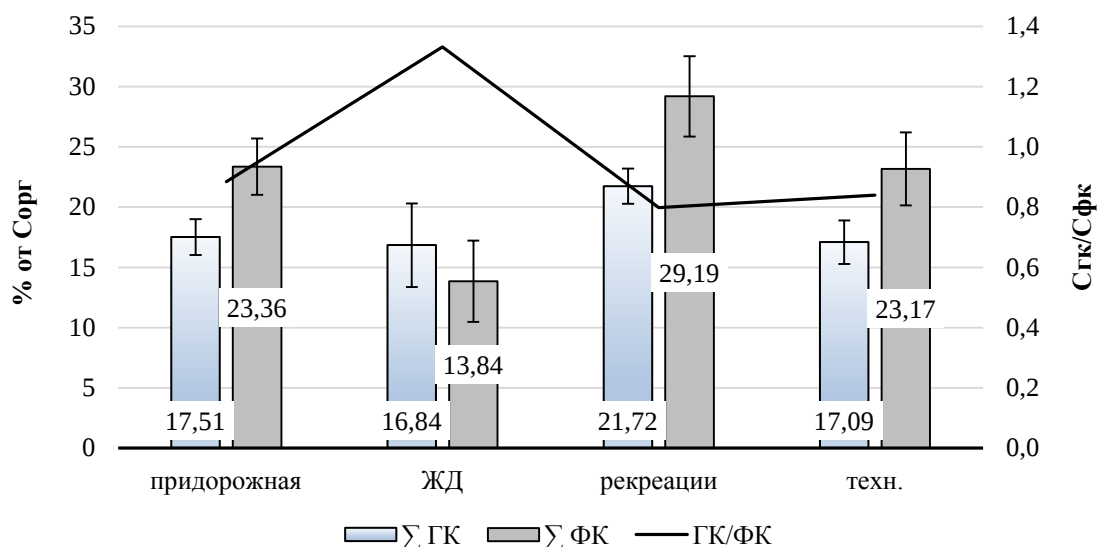


Рисунок 2 – Качественный состав гумуса почв урбанизированных территорий г. Бреста

Несмотря на значительное преобладание гуминовых кислот в групповом составе гумуса данных почв, степень гумификации органического вещества, тем не менее, остается слабой. Отношение ГК к общему углероду органических веществ ($C_{ГК}/C_{орг}$) составляет чуть более 16 %. Доля экстрагируемых гумусовых веществ в данных почвах в целом также низкая, о чем свидетельствует высокое содержание негидролизуемого остатка, доля которого в образце ГП-22 железнодорожного переезда на ул. Суворова превышает 82 %. Средняя же доля негидролизуемого остатка практически достигает 70 % (рисунок 3).

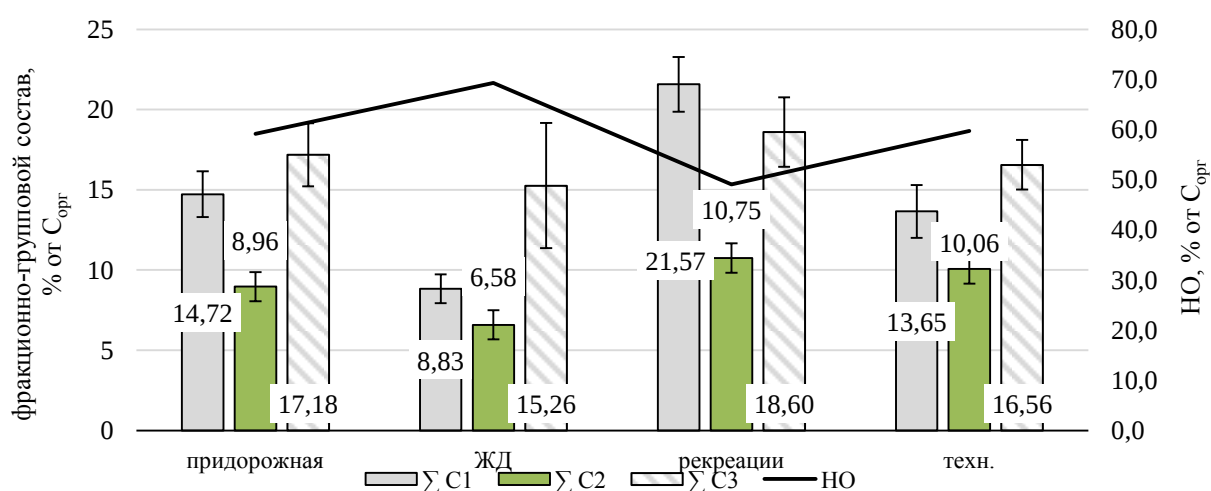


Рисунок 3 – Фракционно-групповой состав гумуса почв урбанизированных территорий г. Бреста

Почвы, находящиеся под воздействием железнодорожного транспорта, также отличаются крайне низким содержанием «агрессивной» фракции фульвокислот – ФК-1а. Доля данной фракции в среднем составила 0,83 % от $C_{орг}$, при том что в почвенном образце ГП-22 она полностью отсутствовала либо находилась в количествах ниже порога чувствительности применяемого метода. В почвенном образце ГП-12, где отмечается наименьшая нагрузка железнодорожного транспорта, наблюдается незначительный рост доли ФК-1а до 1,58 % от $C_{орг}$.

Доля подвижных фракций (ГК-1 + ФК-1 + ФК1а или $\Sigma C1$) в почвах, испытывающих влияние железнодорожного транспорта, в целом также была наиболее низкой среди всех изученных категорий урбанизированных территорий (рисунок 3). Среднее содержание данной группы фракций не достигало здесь даже 10 %, а наименьшее содержание данной группы веществ определялось в почве, подверженной наиболее интенсивным нагрузкам, – 4,53 %, что является крайне низким показателем. Низкие значения данного показателя, равно как и высокой доли негидролизуемого остатка, могут свидетельствовать о слабой трансформации свежего органического вещества, в достатке поступающего в почву на исследуемых территориях, вследствие угнетения почвенного микробиологического комплекса. Наиболее же высокое среднее содержание подвижных фракций гумуса отмечено для почв рекреационных территорий – $\Sigma C1 = 21,57$ % от $C_{орг}$ – и особенно для хвойного массива в окрестностях РУП «Белтаможсервис», где этот показатель превышал 41 % от $C_{орг}$.

На фоне низкой гидролизуемости почвенного органического вещества железнодорожных почв также отмечается и низкое содержание фракции, связанной преимущественно с ионами кальция, отвечающей за формирование водопрочной почвенной структуры (ГК-2 = 6,58 %). При этом отмечается преобладание второй фракции гуминовых кислот над фульвокислотами, достигая значений данного показателя в образце почв с железнодорожной станции Брест-Полесский (ГК-2/ФК-2 = 2,9), где нагрузка на почвенный покров наибольшая среди изученных железнодорожных почв.

Схожестью с почвами железнодорожных территорий отличается фракционно-групповой состав гумуса почв автозаправочных станций. В исследованных почвах АЗС также отмечается преобладание гуминовых фракций над фульвовыми, а значение показателя $C_{гк}/C_{фк}$ в среднем составило 1,23, что позволяет отнести гумус данных почв к фульватно-гуматному типу. Преобладание ГК в составе гумуса данных почв происходит за счет ГК фракций, связанных как с кальцием (ГК-2/ФК-2 = 2,25), так и с глинистыми минералами (ГК-3/ФК-3 = 1,16). Почвы АЗС также отличаются очень низкими значениями содержания как фракции ФК-1а – 1,48 %, так и в целом суммы подвижных фракций ($C1$) – 11,67 %, а среднее содержание суммы фракций, связанных с кальцием, было даже меньше в 1,2 раза, чем в железнодорожных почвах, – 5,39 %. Содержание суммы прочно связанных фракций ($C3$) было также сопоставимо с образцами железнодорожных почв – 14,58 %. При этом доля нерастворимого остатка в составе гумуса почв АЗС была высокой – 59,9 – 76,8 %.

Для почв придорожных территорий отмечался гуматно-фульватный состав гумуса ($C_{гк}/C_{фк} = 0,88 \pm 13$) (рисунок 2). Наибольшая доля фульвокислот в составе гумуса придорожных территорий ($C_{гк}/C_{фк} = 0,37$) выявлена сразу в двух почвенных образцах – ГП-43 и ГП-48. В первом случае это объяснимо наличием хвойной растительности, что в совокупности с высоким содержанием фракции ФК-1а является показателем активного подзолообразовательного процесса на данной территории. Тем не менее реакция почвенной среды здесь была нейтральной – pH 6,93. Причина узкого отношения $C_{гк}/C_{фк}$ в почвенном образце ГП-48, отобранном по ул. Московской, пока нам не ясна. Возможно, она унаследована. При этом реакция почвенной среды здесь уже слабощелочная – pH 7,68.

Гуматным составом гумуса отличались почвы придорожных территорий, отобранные вблизи центральной городской больницы (ГП-44) и возле д. 37 Г по ул. Лейтенанта Рябцева (ГП-2) (Сгк/Сфк 2,51 и 1,33 соответственно). Расширение данного показателя обусловлено прежде всего значительным содержанием фракции ГК-3 относительно ФК-3.

Наиболее же неоднозначным признаком почв придорожных территорий являлся показатель содержания «агрессивной» фракции ФК-1а. Значение данного показателя изменяется в диапазоне от 0,31 % (в образце ГП-21, отобранном на оживленном участке ул. Октябрьской революции) до 14,91 % (образец ГП-43, посадка сосны, примыкающая к краю проезжей части по ул. Крушинская). При этом ни с одним из регистрируемых показателей содержание ФК-1а не коррелировало.

Почвы парков г. Бреста и почвы дворовых территорий были схожи по значению показателя качества гумуса – Сгк/Сфк (0,89 и 0,85 соответственно). Почвы исследованных рекреационных территорий г. Бреста отличались значительной долей фракций, преимущественно связанных с Ca^{2+} . Наибольшая доля данной фракции была представлена в почвенном образце, взятом на территории центрального парка культуры и отдыха, – 13,90 % от $\text{C}_{\text{орг}}$. При этом столь высокое содержание обусловлено высокой долей наиболее ценной фракции – ГК-2 (10,30 %). Высокое содержание подвижных фракций отмечено в составе гумуса почв лесопарка «Дубрава», расположенного в северной части областного центра. Растительный покров парка состоит из древесных растений широколиственных пород: клена, дуба, липы, граба и др. Особенностью данного парка является то, что растительный опад практически не отчуждается и со временем поступает в почву, что и является причиной высокой доли подвижных фракций в составе гумуса. Тем не менее общее содержание гумуса в почве парка «Дубрава» крайне низкое – 0,95 %. Также следует отметить повышенное содержание фракции ФК-1а (6,57 %) в почве данного парка, что может свидетельствовать о начинающихся процессах подзолообразования, несмотря на состав растительности.

Уплотнение почв способствовало увеличению содержания группы фракций С1 (+26,3 %) и незначительно доли негидролизуемого остатка (+7,7 %).

В почвах исследованных дворовых территорий содержание наиболее подвижной и агрессивной фракции ФК-1а было незначительным и не превышало 2,23 % со средним значением 1,90 %. Степень гумификации органического вещества данных почв определялась как средняя и слабая. При этом доля негидролизуемого остатка превышала 50 %, со средним показателем данного параметра 55,73 %. Также в составе гумуса этих почв отмечается высокое содержание фракций, связанных с кальцием. Особенно высокая доля данной фракции отмечена в почвенном образце ГП-19, взятом во дворе многоэтажной застройки в пер. Сосновый, – 17,87 %.

Заклучение

Содержание органического вещества в исследованных почвах г. Бреста варьировало в широком диапазоне значений (0,66–6,09 %) ввиду крайней неоднородности их генезиса и характера использования. Наиболее обеспеченными почвенным органическим веществом оказались почвы, прилегающие к железнодорожному полотну ($5,07 \pm 0,53$ %). Выявлено снижение обеспеченности гумусом в ряду ЖД > Техногенные > Придорожные > Рекреационные.

Качественный состав гумуса исследованных урбанизированных территорий – фульватно-гуматный и гуматно-фульватный с высокой долей гуминовых кислот (Сг//Сфк – 0,80–1,33). Почвы г. Бреста отличаются низким содержанием «агрессивной» фракции ФК-1а (< 4 %) и преимущественно невысокой долей С2 (Σ ГК-2 + ФК-2).

Усиление техногенного воздействия на почвенный покров ведет к снижению доли гидролизующих гумусовых веществ и повышению доли негидролизующего остатка (до 82,5 % в железнодорожных почвах, до 73,7–76,8 % в почвах придорожных территорий и техногенных объектов и не более 61 % в почвах рекреационных территорий).

Полученные данные могут служить основой для дальнейшего изучения почвенного покрова города, иметь ценность для прогнозирования последствий техногенной деградации, а также для использования в почвенном мониторинге урбоэкосистем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шергина, О. В. Оценка состояния урбоэкосистемы по параметрам древесных растений и почвенного покрова: на примере г. Иркутска : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16, 03.00.27 / О. В. Шергина ; Сиб. ин-т физиологии и биохимии растений. – Иркутск, 2006. – 291 л.

2. Мамонтов, В. Г. Состав гумуса почв г. Москвы (на примере САО и СЗАО) / В. Г. Мамонтов, Ю. А. Озеров, Л. П. Родионова // Изв. ТСХА. – 2011. – Вып. 5. – С. 8–12.

3. Москвина, Н. В. Органическое вещество почв и техногенных поверхностных образований селитебных районов г. Перми [Электронный ресурс] / Н. В. Москвина, И. Е. Шестаков, Н. В. Митракова // АгроЭкоИнфо : электрон. науч.-производ. журн. – 2021. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/5/st_527.pdf.

4. Практикум по агрохимии : учеб. пособие / О. А. Амелянчик [и др.] ; под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

5. Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л. : Наука, 1980. – 222 с.

6. Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 272 с.

7. Водяницкий, Ю. Н. Органическое вещество в городских почвах (обзор литературы) / Ю. Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2015. – № 8. – С. 921–931.

8. Differences in soil chemical properties with distance to roads and age of development in urban areas / S. J. Park [et al.] // Urban Ecosystem. – 2010. – Vol. 13. – P. 483–497.

9. Васенев, В. И. Разработка подхода к оценке запасов почвенного органического углерода мегаполиса и малого населенного пункта / В. И. Васенев, Т. В. Прокофьева, О. А. Макаров // Почвоведение. – 2013. – № 6. – С. 725–736.

10. Домась, А. С. Фракционный состав гумуса дерново-подзолистых почв Брестского Полесья / А. С. Домась, Н. В. Клебанович // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1 (50). – С. 118–125.

11. Домась, А. С. Органическое вещество дерново-подзолистых заболоченных почв юго-западной части Беларуси / А. С. Домась, Н. В. Клебанович // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2013. – № 4. – С. 82–88.

REFERENCES

1. Shergina, O. V. Ocienka sostojanija urboekosistemy po paramietram dreviesnykh rastienij i pochviennogo pokrova: na primierie g. Irkutsk : dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.16, 03.00.27 / O. V. Shergina ; Sib. in-t fiziologii i biokhimii rastienij. – Irkutsk, 2006. – 291 l.

2. Mamontov, V. H. Sostav gumusa pochv g. Moskvy (na primierie SAO i SZAO) / V. H. Mamontov, Ju. A. Ozierov, L. P. Rodionova // Izv. TSKhA. – 2011. – Vyp. 5. – S. 8–12.

3. Moskvina, N. V. Organichieskoje vieshchiestvo pochv i tiekhnogiennykh povierkhnostnykh obrazovanij sielitebnykh rajonov g. Piermi [Eliiektronnyj riesurs] / N. V. Moskvina,

I. Je. Shestakov, N. V. Mitrakova // AgroEkoInfo : eliektron. nauch.-proizvod. zhurn. – 2021. – № 5. – Riezhim dostupa: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/5/st_527.pdf.

4. Praktikum po agrokhimii : uchieb. posobiye / O. A. Amiel’janchik [i dr.] ; pod ried. V. H. Miniejeva. – 2-je izd., pierierab. i dop. – M. : Izd-vo MGU, 2001. – 689 s.

5. Ponomariova, V. V. Gumus i pochvoobrazovaniye (mietody i riezul’taty izuchienija) / V. V. Ponomariova, T. A. Plotnikova. – L. : Nauka, 1980. – 222 s.

6. Orlov, D. S. Praktikum po khimii gumusa / D. S. Orlov, L. A. Grishina. – M. : Izd-vo Mosk. un-ta, 1981. – 272 s.

7. Vodianickij, Ju. N. Organichieskoje vieshchiestvo v gorodskikh pochvakh (obzor litieratury) / Ju. N. Vodianickij // Pochvoviedienije. – 2015. – № 8. – S. 921–931.

8. Differences in soil chemical properties with distance to roads and age of development in urban areas / S. J. Park [et al.] // Urban Ecosystem. – 2010. – Vol. 13. – P. 483–497.

9. Vasieniev, V. I. Razrabotka podkhoda k ocienkie zapasov pochviennogo organichieskogo ugljeroda miegapolisa i malogo nasielionnogo punkta / V. I. Vasieniev, T. V. Prokof’jeva, O. A. Makarov // Pochvoviedienije. – 2013. – № 6. – S. 725–736.

10. Domas’, A. S. Frakcionnyj sostav gumusa diernovo-podzolistykh pochv Briest-skogo Polies’ja / A. S. Domas’, N. V. Kliebanovich // Pochvoviedienije i agrokhimija. – 2013. – № 1 (50). – S. 118–125.

11. Domas’, A. S. Organichieskoje vieshchiestvo diernovo-podzolistykh zabolochiennykh pochv jugo-zapadnoj chasti Bielarusi / A. S. Domas’, N. V. Kliebanovich // Viestn. Bielorus. gos. s.-kh. akad. – 2013. – № 4. – S. 82–88.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 04.09.2024

УДК 581.821

Сергей Эдвардович Кароза¹, Анастасия Валентиновна Швайко²¹канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина²студент 4-го курса факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Sergey Karoza¹, Anastasia Shvaiko²¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University²студент 4-го курса факультета естествознания²4-th Year Student of the Faculty of Natural Sciences
of Brest State A. S. Pushkin Universitye-mail: ¹karoza01@yandex.by; ²verytsarenat@gmail.com

**ВЛИЯНИЕ ТЕТРАСУКЦИНАТА 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА
НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ
(FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH.)***

Изучено влияние тетрасукцината 24-эпикастастерона в сравнении с 24-эпикастастероном на начальные этапы роста гречихи посевной сорта Влада и содержание фотосинтетических пигментов в ее листьях в лабораторном эксперименте. Установлено, что на основные морфометрические показатели тетрасукцината в концентрациях 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М оказал значимое положительное влияние, более выраженное при ее выращивании рулонным методом, чем в вегетационном эксперименте с использованием почвогрунта. Влияние на содержание хлорофилла и каротиноидов было сходно с действием эпикастастерона в концентрации 10^{-8} М, но проявлялось в более низких дозах.

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

The Effect of Tetrasuccinate 24-Epicasterone on Morphometric Parameters and the Content of Photosynthetic Pigments in Buckwheat (*Fagopyrum Esculentum* Moench.)

The effect of tetrasuccinate 24-epicasterone in comparison with 24-epicasterone on the initial stages of growth of buckwheat of the Vlada variety and the content of photosynthetic pigments in its leaves in a laboratory experiment was studied. It was found that tetrasuccinate at concentrations of 10^{-10} , 10^{-9} and 10^{-8} M had a significant positive effect on the main morphometric parameters, more pronounced when it was grown by the roll method than in the vegetation experiment using soil. The effect on the content of chlorophyll and carotenoids was similar to the effect of epicasterone at a concentration of 10^{-8} M, but manifested in lower doses.

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

Введение

Сельскохозяйственное производство является очень проблемной отраслью народного хозяйства из-за многих трудно предсказуемых факторов: грибковых, бактериальных и вирусных заболеваний, массового размножения вредителей и т. д. Свой вклад в эту непредсказуемость вносит и изменчивость погодных условий. Поэтому результаты вегетационного периода не всегда стабильны, и точный прогноз урожайно-

*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» (Биооргхимия) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» на 2021–2025 гг. (№ госрегистрации 20211450 от 20.05.2021 г.).

сти определенной сельскохозяйственной культуры дать достаточно сложно. Повышение урожайности традиционно достигается за счет экстенсивных методов: увеличения количества применяемых удобрений, гербицидов и разнообразных пестицидов.

Но эти возможности сейчас в значительной мере исчерпаны в основном из-за отрицательных экологических последствий. Поэтому одним из перспективных путей стабилизации роста и развития сельскохозяйственных культур может быть использование биологически активных веществ, к которым относятся как естественные гормоны растений, так и их синтетические аналоги. Их преимуществом перед традиционными химическими препаратами является высокая биологическая активность в очень низких дозах, к тому же они не могут оказать отрицательного влияния на биосферу. К таким веществам относятся и брассиностероиды (БС), которые сравнительно недавно были включены в группу растительных гормонов [1; 2].

В многочисленных исследованиях установлено, что они обладают полифункциональным влиянием на растения, способны стимулировать процессы их развития и роста, для многих выявлена протекторная активность по отношению к различным стресс-факторам и их комплексам, прежде всего за счет активизации защитных механизмов растений, а не действия непосредственно на патогены [3; 4].

Влияние БС на крупяные, зернобобовые, зерновые, овощные и зеленные культуры с анализом их рострегуляторной, металло- и криопротекторной активности изучалось и в Брестском государственном университете имени А. С. Пушкина в рамках выполнения темы ГПНИ «Оценка морфофизиологической и генетической активности брассиностероидов и стероидных гликозидов для расширения спектра действия биорегуляторов растений стероидной природы» в 1996–2000 гг. [5].

Потенциальными перспективными препаратами из группы брассиностероидов могут являться их конъюгаты с органическими кислотами, одни из которых сами являются гормонами растений, например индолилуксусная кислота, другие, как салициловая и янтарная кислоты, обладают определенной биологической активностью в отношении растений.

Кроме того, конъюгация с этими кислотами изменяет физико-химические свойства препаратов (растворимость, проницаемость через мембраны), может способствовать повышению биологической, в т. ч. и протекторной, активности конъюгатов по сравнению с самими БС. Но исследований в этой области пока очень мало, так как эти вещества синтезированы в Лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси сравнительно недавно и изучение их биологических свойств только начато. Первые данные о росторегулирующей, антиоксидантной и стресспротекторной активности этих соединений с использованием в качестве тест-объектов пшеницы и ярового ячменя были получены минскими исследователями [6; 7].

В настоящее время анализ биологической активности конъюгатов 24-эпикастастерона с кислотами как в обычных условиях, так и при токсическом воздействии ионов тяжелых металлов активно проводится в БрГУ имени А. С. Пушкина.

Результаты этих исследований показали, что как в лабораторном эксперименте, так и в вегетационном опыте под влиянием определенных концентраций 24-эпикастастерона и его конъюгатов с салициловой и индолилуксусной кислотами происходило увеличение морфометрических характеристик и количества фотосинтетических пигментов, но на тимофеевке луговой наибольшей эффективностью и универсальностью действия обладал 24-эпикастастерон [8].

На клевере луговом максимальная эффективность наблюдалась при внекорневой обработке растений растворами эпикастастерона и его тетраиндолилацетата [9]. Исследование металлопротекторных свойств этих стероидных соединений на различных

культурах выявило способность 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами частично нивелировать отрицательное влияние на растения ионов свинца, но для разных видов растений и по различным показателям максимальной активностью обладали различные препараты [10–13]. Например, на горохе посевном наиболее эффективным было металлопротекторное действие самого БС, а не его конъюгатов.

Таким образом, уже установлена определенная биологическая активность 24-эпикастастерона и некоторых его конъюгатов на нескольких сельскохозяйственных культурах, но актуальным остается расширение списка как исследованных культур, так и конъюгатов данного брассиностероида.

Одной из важных для сельского хозяйства Республики Беларусь является гречиха посевная из-за ее ценности как источника крупы, меда и лекарственных препаратов (рутин). Эта культура очень чувствительна к различным стрессовым воздействиям, в т. ч. к холоду и недостатку влаги, поэтому применение биопротекторов стероидной природы может повысить ее устойчивость к неблагоприятным факторам без причинения ущерба окружающей среде. С использованием ее в качестве тест-объекта уже было произведено исследование биологической активности конъюгатов 24-эпикастастерона с индолилуксусной и салициловой кислотами [14; 15]. Перспективным конъюгатом 24-эпикастастерона является его тетрасукцинат, т. к. янтарная кислота широко применяется в растениеводстве как стимулятор роста и развития растений, но влияние ее соединения с брассиностероидами ранее не исследовалось. Поэтому целью данной работы являлась оценка рострегулирующей активности тетрасукцината 24-эпикастастерона и его влияние на содержание фотосинтетических пигментов у гречихи посевной.

Материалы и методы

Объектами исследований служили 24-эпикастастерон (ЭК) и его конъюгат с янтарной кислотой – тетрасукцинат 24-эпикастастерона (S439), синтезированные в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси. Тест-объектом исследования являлась гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench.) сорта Влада. Всего в государственный реестр Беларуси, по данным на 2022 г., включено 15 сортов гречихи посевной, из них 10 – диплоидные. Для Брестской области районированы 14 сортов [16].

Диплоидный сорт Влада (регистрационный № 2005128) включен в реестр сортов в 2008 г., заявитель – РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», районирован для всех шести областей Республики Беларусь. Он является детерминантным среднеспелым сортом прямостоячего типа. Вегетационный период – в среднем 83 дня. Средняя урожайность зерна по сортоучасткам республики за 2005–2007 гг. испытания составила 16,5 ц/га, прибавка к стандарту – 0,5 ц/га. Максимальная урожайность зерна – 28,1 ц/га получена на Климовичском ГСУ в 2007 г. Технологические и крупяные качества хорошие: выравненность зерна – 90,4 %, выход крупы – 75,6 %, крупного ядра – 61,8 %, вкус каши – 5,0 баллов, пленчатость – 23,5 %. Масса 1 000 семян в среднем – 29,5 г. Сорт отличается выровненным стеблестоем, хорошим ветвлением, дружным цветением и плодообразованием, устойчив к полеганию и среднеустойчив к осыпанию семян [17; 18].

Предметом исследования стало влияние S439 в сравнении с ЭК на начальные этапы роста и развития гречихи и содержание фотосинтетических пигментов в ее листьях. Соединения были синтезированы и предоставлены сотрудниками лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

Первый этап лабораторного эксперимента по оценке влияния ЭК и S439 на основные показатели, характеризующие начальные этапы роста и развития, проводился

по стандартной методике проращивания в рулонах фильтровальной бумаги по ГОСТ 12038–84 [19]. Первоначально для выявления наиболее эффективных доз препарата проводилось замачивание семян гречихи на 5 ч в растворах только тетрасукцината в спектре концентраций от 10^{-11} до 10^{-7} М, так как для самого ЭК этот этап был осуществлен при выполнении предыдущих исследований. Затем производили проращивание в рулонах и определяли энергию прорастания, всхожесть, высоту проростков, длину корней, а также массу этих органов.

На втором этапе, после определения трех наиболее эффективных концентраций проводили сравнительный эксперимент с использованием растворов как самого ЭК, так и S439 в концентрациях 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М, но в почвогрунте. Определяли те же параметры, но без учета энергии прорастания и всхожести. После замачивания семян на 5 ч в исследуемых растворах и их проклеивания производили посев в вегетационные сосуды в почвогрунт. Гречиху выращивали до начала цветения.

По завершении эксперимента проводили определение высоты побегов, длины корней и массы растений, а также содержания в листьях фотосинтетических пигментов. Для их экстракции использовали высечки диаметром 1 см из средней части листьев. Для уменьшения разброса данных и увеличения достоверности результатов для одной пробы делали 10 высечек, объединяли их и устанавливали массу навески.

Экстракцию пигментов производили 10 мл 100 %-ного ацетона. Пробы настаивали в холодильнике при +4 °С в течение 2 суток. Оптическую плотность экстракта определяли на спектрофотометре SOLAR CM2203 при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения определяемых пигментов в ацетоне: $\lambda = 662, 644$ и $440,5$ нм в трехкратной повторности, затем данные усредняли.

Содержание пигментов рассчитывали по формулам Веттштейна. После этого вычисляли сначала концентрацию пигментов в экстракте в мг/л, а затем их содержание на грамм сырой массы [20; 21].

Статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью шаблонов таблиц Excel с определением степени достоверности по критерию Стьюдента [22].

Результаты исследования и их обсуждение

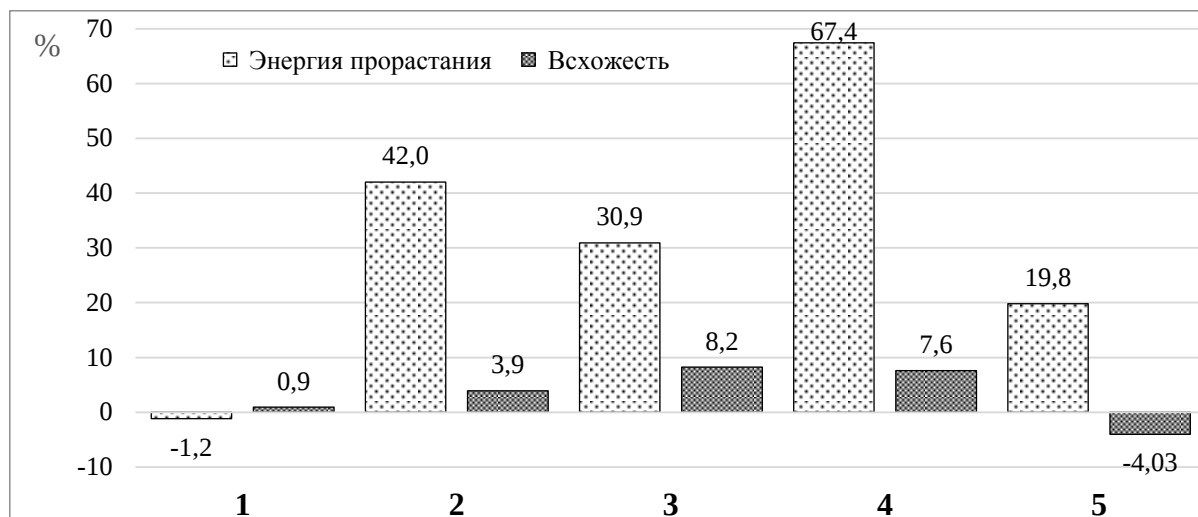
Определение эффективных концентраций тетрасукцината эпикастастерона в лабораторных условиях.

Результаты скрининга рострегулирующей активности S439 показали, что на энергию прорастания раствор в минимальной концентрации (10^{-11} М) влияния практически не оказал (рисунок 1). В максимальной дозе (10^{-7} М) он вызвал ее повышение почти на 20 %, хотя ранее с другими конъюгатами ЭК наблюдалось уменьшение этого показателя, но отличие от контроля было недостоверным (таблица 1).

Растворы в трех средних используемых концентрациях (10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М) вызвали очень сильное и достоверное увеличение энергии прорастания на 42,0, 30,9 и 67,4 % соответственно, и при этом максимальные разница и достоверность наблюдалась в варианте с концентрацией 10^{-8} М (+ 67,4 % по сравнению с контролем).

На всхожесть этот препарат оказал более слабое влияние, хотя в целом прослеживалась та же закономерность (рисунок 2). Но раствор с концентрацией 10^{-11} М вызвал незначительное недостоверное повышение этого показателя, а 10^{-7} М – такое же недостоверное снижение, хотя на энергию прорастания они влияли противоположным образом.

В остальных трех вариантах (10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М) наблюдалось повышение всхожести, достоверное при использовании раствора с концентрациями 10^{-9} и 10^{-8} М, причем максимальное – при концентрации 10^{-9} , а не 10^{-8} М, как для энергии прорастания (таблица 1).



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

Рисунок 1 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастестерона на энергию прорастанія и всхожесть гречишной посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте, % относительно контроля

Таблица 1 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастестерона на энергию прорастанія и всхожесть гречишной посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

Показатель	Энергия прорастания		Всхожесть	
Концентрация, М	%	% к контролю	%	% к контролю
Контроль	40,5 ± 2,20	100,0	81,8 ± 2,02	100,0
10 ⁻¹¹	40,0 ± 2,56	98,8	82,5 ± 2,67	100,9
10 ⁻¹⁰	57,5 ± 4,88**	141,98	85,0 ± 1,81	103,9
10 ⁻⁹	53,0 ± 9,14*	130,9	88,5 ± 2,20*	108,2
10 ⁻⁸	67,8 ± 4,35***	167,4	88,0 ± 1,85*	107,6
10 ⁻⁷	48,5 ± 4,07	119,8	78,5 ± 3,70	95,97

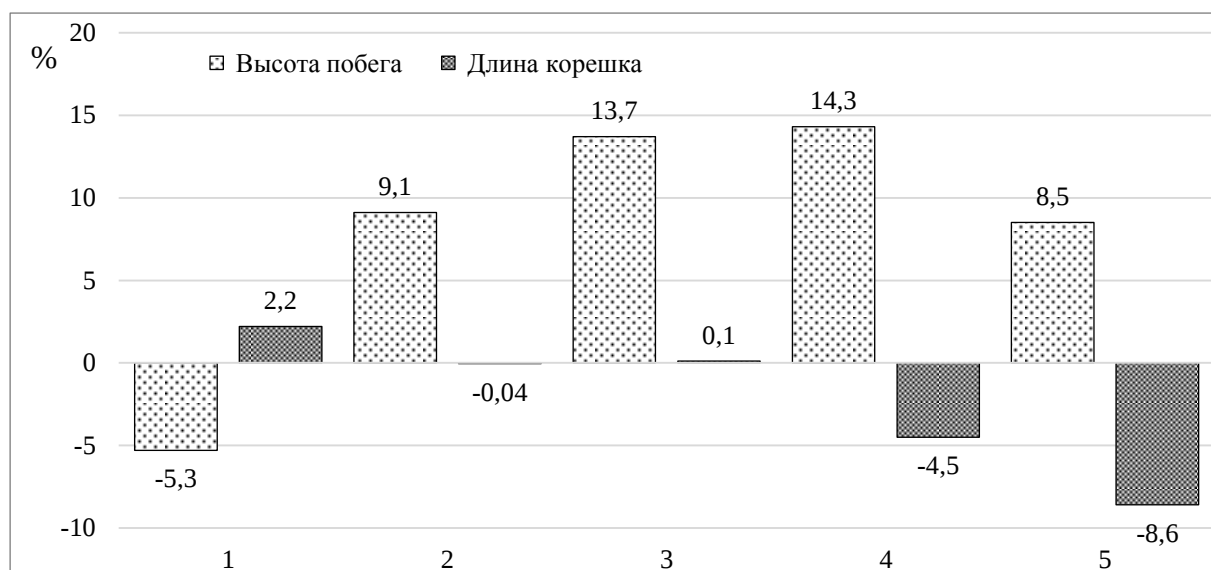
Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

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

Растворы с концентрациями 10^{-10} и 10^{-7} М действовали слабее, но также положительно, там этот показатель вырос на 9,1 и 8,5 %, при этом различия с контролем были достоверными.

На длину корешков S439 оказал отрицательное влияние, вызвав ингибирование их роста, особенно при использовании концентраций 10^{-8} и 10^{-9} М, где этот показатель достоверно уменьшился на 4,5 и 8,6 % соответственно (рисунок 2). Небольшое и недостоверное по сравнению с контролем повышение на 2,2 % наблюдалось только при применении препарата в минимальной дозе, а растворы с концентрациями 10^{-10} и 10^{-9} М не вызвали практически никакого эффекта (таблица 2).

Аналогичные эффекты мы наблюдали и в ранее проведенных аналогичных экспериментах на различных культурах как с самими брассиностероидами, так и с другими конъюгатами эпикастестерона.



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

Рисунок 2 – Влияние тетраэдрического 24-эпикастерона на высоту побега и длину корешка гречихи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте, % относительно контроля

Таблица 2 – Влияние тетраэдрического 24-эпикастерона на высоту проростков и длину корешков гречихи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

Показатель	Высота проростка		Длина корешка	
	мм	% к контролю	мм	% к контролю
Контроль	71,4 ± 1,68	100,0	76,72 ± 1,11	100,0
10^{-11}	67,6 ± 1,71	94,7	78,40 ± 1,24	102,2
10^{-10}	77,9 ± 2,05*	109,1	76,69 ± 0,94	99,96
10^{-9}	81,2 ± 2,01***	113,7	76,83 ± 1,04	100,1
10^{-8}	81,6 ± 2,03***	114,3	73,23 ± 1,16*	95,5
10^{-7}	77,5 ± 1,74**	108,5	70,10 ± 1,23**	91,4

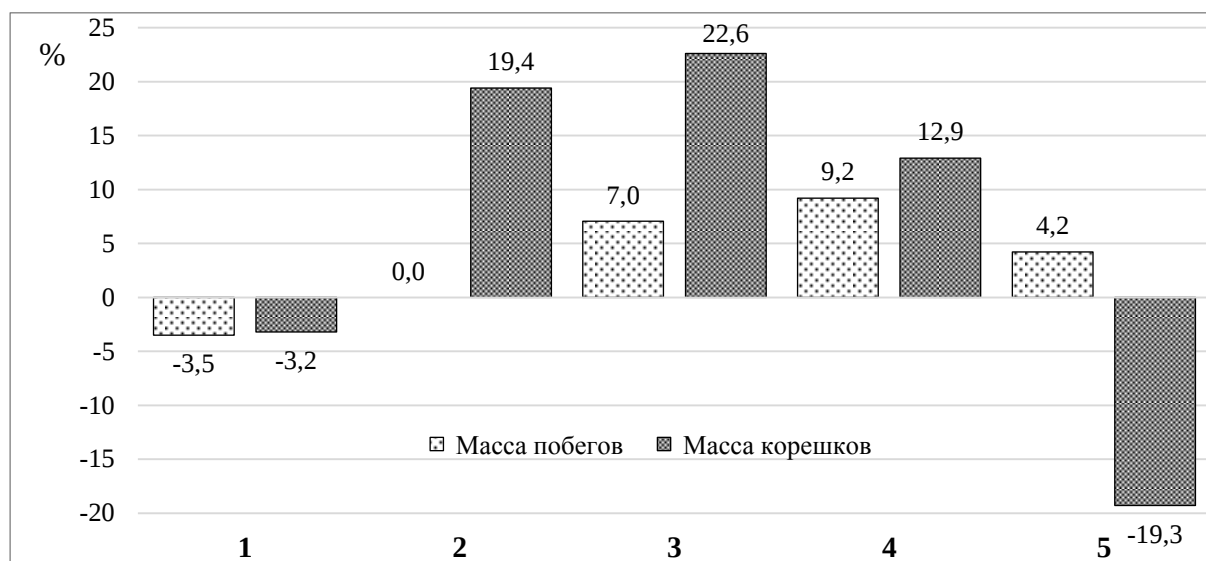
Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

На массу надземной части гречихи влияние растворов S439 было аналогичным их влиянию на высоту проростков, но количественно результаты отличались. По сравнению с контролем масса 10 проростков увеличилась во всех вариантах, кроме варианта с концентрацией 10^{-11} М (снижение на 3,5 %) (рисунок 3).

Повышение наблюдалось только в трех вариантах с дозами S439 10^{-9} , 10^{-8} и 10^{-7} М, где оно составило 7,0, 9,2 и 4,2 % по отношению к контролю соответственно, но отличия от контроля были недостоверными, что связано с меньшей повторностью.

Влияние S439 на массу корешков не совпадало с их влиянием на их длину. Так, применение для замачивания семян растворов с концентрациями 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М привело к повышению этого показателя на 19,4, 22,6 и 12,9 %, причем для первых двух вариантов различия с контролем были достоверными, несмотря на сравнительно небольшую повторность эксперимента (таблица 3).

Использование дозы 10^{-11} и 10^{-7} М вызвало снижение массы корней на 3,2 и 19,3 % соответственно, причем в варианте с использованием максимальной концентрации оно также было достоверным (рисунок 3). Но такое несоответствие влияния на эти показатели мы отмечали ранее и при анализе влияния БС и других конъюгатов.



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

Рисунок 3 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастестерона на массу побегов и корешков гречихи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте, % относительно контроля

Таблица 3 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастестерона на массу проростков и корешков гречихи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

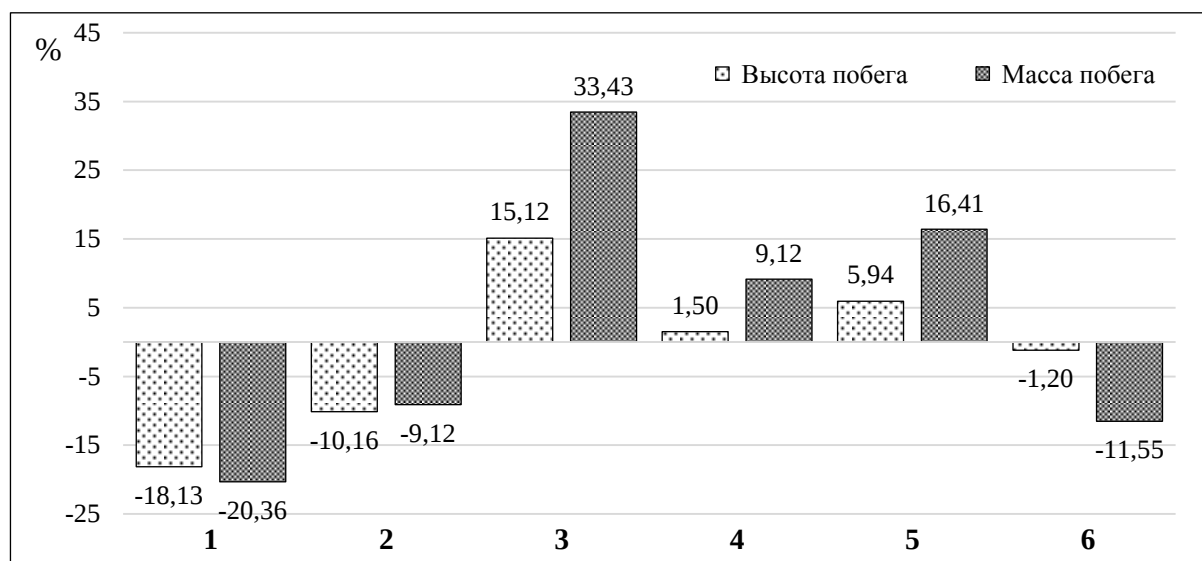
Показатель	Масса 10 проростков		Масса 10 корешков	
	г	% к контролю	г	% к контролю
Контроль	$1,42 \pm 0,06$	100,0	$0,31 \pm 0,03$	100,0
10^{-11}	$1,37 \pm 0,08$	96,5	$0,30 \pm 0,03$	96,8
10^{-10}	$1,42 \pm 0,06$	100,0	$0,37 \pm 0,02^*$	119,4
10^{-9}	$1,52 \pm 0,05$	107,04	$0,38 \pm 0,02^*$	122,6
10^{-8}	$1,55 \pm 0,05$	109,2	$0,35 \pm 0,02$	112,9
10^{-7}	$1,48 \pm 0,05$	104,2	$0,25 \pm 0,01^*$	80,7

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

Таким образом, обработка семян гречихи посевной растворами S439 вызывала (в зависимости от концентрации) эффекты с различным знаком. Но положительный эффект был более значимым, чем в экспериментах с другими конъюгатами ЭК. Возможно, это объясняется тем, что сама янтарная кислота является эффективным биостимулятором и широко применяется в растениеводстве или в качестве индивидуального соединения, или в составе комбинированных препаратов, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. Для исследований в вегетационном опыте на основе анализа комплекса показателей было решено оставить три концентрации: 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М.

Влияние эпикастестерона и его тетрасукцината на морфометрические показатели гречихи посевной в вегетационном эксперименте.

Оба препарата оказали на морфометрические параметры неоднозначное влияние (рисунок 4). Раствор ЭК в концентрации 10^{-10} М уменьшил высоту проростков на 18,1 %, а их массу – на 20,4 %. В средней используемой дозе (10^{-9} М) наблюдалось более слабое подавление – на 10,2 и 9,1 % соответственно, достоверное только для высоты побегов. Только применение раствора ЭК с концентрацией 10^{-8} М приводило к значительному и достоверному увеличению обоих показателей на 15,1 и 33,4 % соответственно (таблица 4).



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

Рисунок 4 – Влияние 24-эпикастерона и его тетраsuccината на высоту и массу надземной части гречихи посевной сорта Влада, % относительно контроля

Таблица 4 – Влияние 24-эпикастерона и тетраsuccината 24-эпикастерона на высоту проростков гречихи посевной сорта Влада и их массу в вегетационном эксперименте

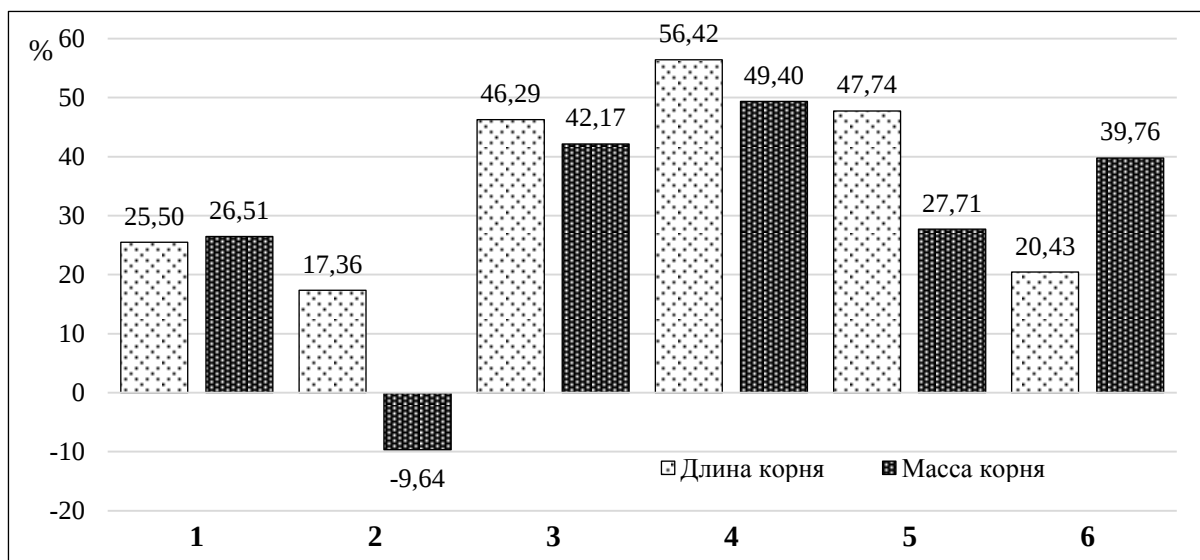
Показатель	Высота проростка		Масса проростков	
	мм	% к контролю	г	% к контролю
24-эпикастерон (ЭК)				
Контроль	132,9 ± 3,20	100,0	0,329 ± 0,029	100,0
10^{-10}	108,8 ± 1,66***	81,9	0,262 ± 0,031	79,6
10^{-9}	119,4 ± 1,41**	89,8	0,299 ± 0,023	90,9
10^{-8}	153,0 ± 1,38***	115,1	0,439 ± 0,024**	133,4
Тетрасукцинат 24-эпикастерона (S439)				
10^{-10}	134,9 ± 1,92	101,5	0,359 ± 0,024	109,1
10^{-9}	140,8 ± 1,21*	105,9	0,383 ± 0,019*	116,4
10^{-8}	131,3 ± 1,43	98,8	0,291 ± 0,024	88,4

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

Раствор S439 в дозе 10^{-10} М вызвал незначительное повышение показателей (на 1,5 и 9,1 % соответственно). Более выраженное стимулирующее влияние оказала средняя доза (10^{-9} М), при которой наблюдалось достоверное увеличение высоты и массы проростков на 5,9 и 16,4 % соответственно. Раствор с концентрацией 10^{-8} М, наоборот, уменьшил значение обоих показателей на 1,2 и 11,6 % соответственно, но разница с контролем была недостоверной (таблица 4).

Таким образом, в вегетационном эксперименте S439 проявил менее выраженное стимулирующее влияние на надземную часть гречихи, чем сам ЭК, но оно наблюдалось при использовании более низких доз. Результаты отличались и от результатов эксперимента, проведенного рулонным методом, где более чувствительным показателем была высота побегов, а не их масса. Более сильное стимулирующее влияние обоих препаратов проявилось при их действии на корневую систему (рисунок 5). Растворы ЭК увеличили длину корней во всех вариантах, но наиболее значимо при дозе 10^{-8} М (на 46,3 % по отношению к контролю).

На близкое значение – 42,2 % увеличилась и их масса (таблица 5). Раствор с минимальной концентрацией ЭК действовал примерно наполовину слабее – повышение показателей составило 25,5 и 26,5 % соответственно, но различия с контролем были достоверными только для длины корешков. При использовании средней дозы длина корней увеличивалась на 17,4 %, а их масса уменьшалась на 9,5 %, но различия были недостоверными для обоих показателей.



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

Рисунок 5 – Влияние 24-эпикастерона и его тетраэпикастерона на длину и массу подземной части гречихи посевной сорта Влада, % относительно контроля

Таблица 5 – Влияние 24-эпикастерона и тетраэпикастерона на длину корешков гречихи посевной сорта Влада и их массу в вегетационном эксперименте

Показатель	Длина корешка		Масса корешка	
	мм	% к контролю	г	% к контролю
24-эпикастерон (ЭК)				
Контроль	27,65 ± 1,61	100,0	0,083 ± 0,008	100,0
10^{-10}	34,70 ± 2,87*	125,5	0,105 ± 0,010	126,5
10^{-9}	32,45 ± 2,41	117,4	0,075 ± 0,009	90,4
10^{-8}	40,45 ± 4,30**	146,3	0,118 ± 0,007**	142,2
Тетраэпикастерон (S439)				
10^{-10}	43,25 ± 2,74***	156,4	0,124 ± 0,009*	149,4
10^{-9}	40,85 ± 2,92***	147,7	0,106 ± 0,010	127,7
10^{-8}	33,30 ± 2,83	120,4	0,116 ± 0,014*	139,8

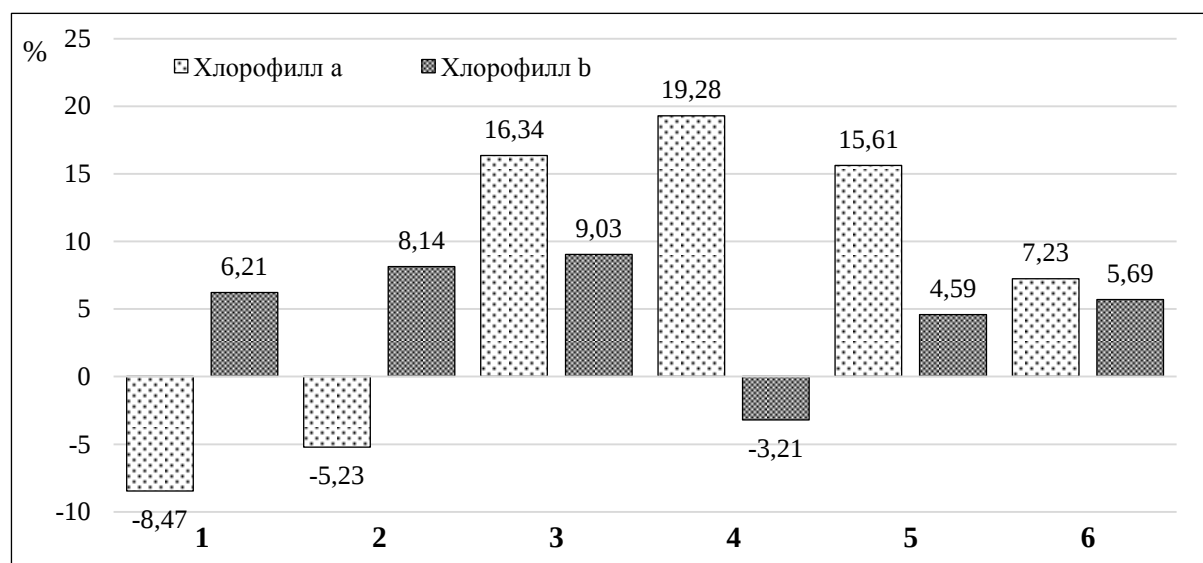
Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

Раствор S439 проявил максимальное стимулирующее и достоверное действие на оба показателя в минимальной дозе 10^{-10} М, увеличив длину и массу корней на 56,4 и 49,4 % соответственно, но максимальная достоверность наблюдалась только для длины корешков. При применении концентрации 10^{-9} М значения уменьшались до 47,4 и 27,7 % соответственно, и отличие от контроля также было достоверным только для длины корней. Раствор с концентрацией 10^{-8} М увеличивал оба показателя на 20,4 и 39,8 % соответственно, и разница с контролем была достоверной только для массы корней. Таким образом, S439 в вегетационном опыте проявил более выраженное сти-

мулирующее влияние на подземную, а не надземную часть гречихи, и при этом максимально при использовании самой низкой дозы.

Влияние эпикастастерона и его тетрасукуцината на содержание фотосинтетических пигментов в листьях гречихи посевной в вегетационном эксперименте.

Влияние исследуемых соединений на содержание фотосинтетических пигментов не коррелировало полностью с их влиянием на морфометрические показатели (рисунок 6). Эпикастастерон в минимальных концентрациях (10^{-10} и 10^{-9} М) снижал содержание хлорофилла *a* на 8,5 и 5,2 % соответственно, несколько повышая содержание хлорофилла *b* (на 6,2 и 8,1 %). ЭК в дозе 10^{-8} М значительно повышал содержание обоих пигментов (на 16,3 и 9,0 %) (таблица 6).



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

Рисунок 6 – Влияние 24-эпикастастерона и его тетрасукуцината на содержание хлорофиллов *a* и *b* в листьях гречихи посевной сорта Влада, % относительно контроля

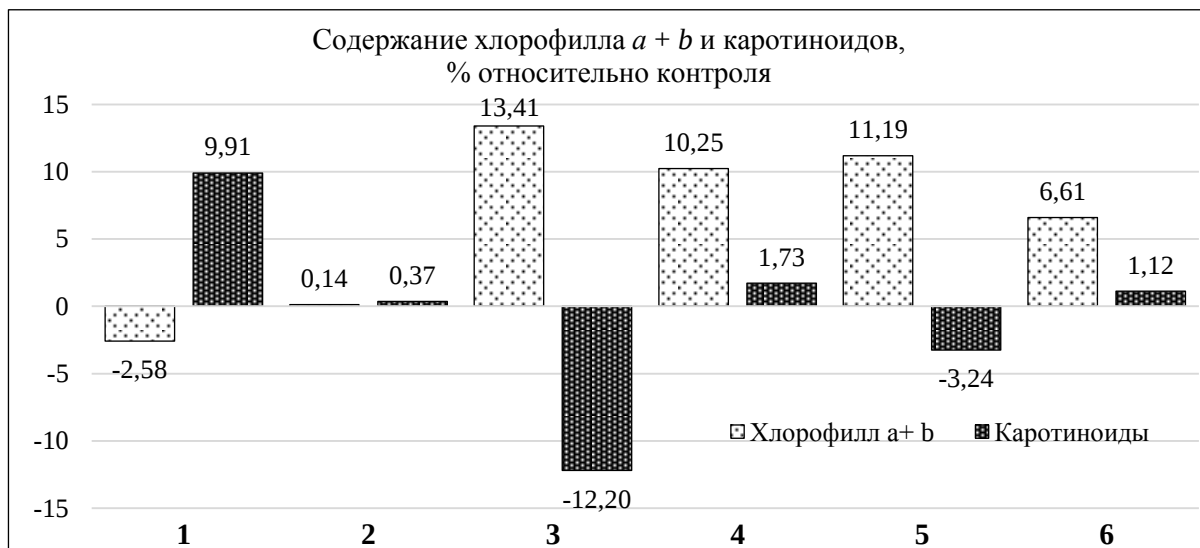
Таблица 6 – Влияние 24-эпикастастерона и тетрасукуцината 24-эпикастастерона на содержание хлорофилла *a* и *b* в листьях гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте

Содержание	Хлорофилл <i>a</i>		Хлорофилл <i>b</i>	
Концентрация, М	мг/г	% к контролю	мг/г	% к контролю
24-эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	$0,650 \pm 0,026$	100,0	$0,436 \pm 0,018$	100,0
10^{-10}	$0,595 \pm 0,031$	91,5	$0,463 \pm 0,020$	106,2
10^{-9}	$0,616 \pm 0,029$	94,8	$0,471 \pm 0,023$	108,1
10^{-8}	$0,756 \pm 0,019^*$	116,3	$0,475 \pm 0,0148$	109,0
Тетрасукуцинат 24-эпикастастерона (S439)				
10^{-10}	$0,775 \pm 0,021^{**}$	119,3	$0,422 \pm 0,019$	96,8
10^{-9}	$0,751 \pm 0,024^*$	115,6	$0,456 \pm 0,022$	104,6
10^{-8}	$0,697 \pm 0,034$	107,2	$0,461 \pm 0,017$	105,7

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

Максимальное повышение содержания хлорофилла *a* (на 19,3 %) наблюдалось при использовании раствора S439 в концентрации 10^{-10} М, но при этом количество хлорофилла *b* недостоверно уменьшилось (на 3,2 %). Средняя доза (10^{-9} М) S439 по-

вышла содержание обоих пигментов на 15,6 и 4,6 % соответственно (таблица 6). Максимальная доза оказывала положительное, но более слабое и недостоверное влияние на оба показателя (+ 7,2 и 5,7 % соответственно). Суммарное содержание хлорофилла ниже контроля было только в варианте с раствором ЭК в концентрации 10^{-10} М (–2,6 %) (рисунок 7). В этом же варианте было максимально повышено (на 9,9 %) содержание каротиноидов, возможно, как компенсация снижению уровня хлорофилла, но отличия от контроля были недостоверными (таблица 7). ЭК в дозе 10^{-8} М максимально (на 13,4 %) повысил уровень хлорофилла и снизил (на 12,2 %) содержание каротиноидов. S439 во всех вариантах увеличил содержание зеленых пигментов, причем значения для концентраций 10^{-10} и 10^{-9} М были достаточно близки – 10,3 и 11,2 % соответственно, но достоверными были различия только для большей дозы препарата. Влияние на содержание каротиноидов достоверно от контроля не отличалось: при концентрации 10^{-10} М оно было на 1,7 % выше, а 10^{-9} М – на 3,2 % ниже уровня контроля. В максимальной концентрации (10^{-8} М) S439 действовал достаточно слабо, недостоверно увеличив содержание хлорофилла на 6,6 %, а каротиноидов – на 1,1 %.



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

Рисунок 7 – Влияние 24-эпикастерона и его тетрасукуцината на суммарное содержание хлорофиллов *a + b* и каротиноидов в листьях гречихи посевной, % относительно контроля

Таблица 7 – Влияние 24-эпикастерона и его тетрасукуцината на суммарное содержание фотосинтетических пигментов в листьях гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте

Содержание	Суммы хлорофилла <i>a</i> и <i>b</i>		Каротиноиды	
	Концентрация, М	мг/г	мг/г	% к контролю
24-эпикастерон (ЭК)				
Контроль		1,086 ± 0,021	0,294 ± 0,018	100,0
10^{-10}		1,058 ± 0,026	0,323 ± 0,020	109,9
10^{-9}		1,087 ± 0,025	0,295 ± 0,023	100,4
10^{-8}		1,232 ± 0,016*	0,258 ± 0,014*	87,8
Тетрасукуцинат 24-эпикастерона (S439)				
10^{-10}		1,197 ± 0,020	0,299 ± 0,019	101,7
10^{-9}		1,207 ± 0,023*	0,284 ± 0,022	96,8
10^{-8}		1,158 ± 0,026	0,297 ± 0,017	101,1

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

Заклучение

Раствор тетрасукуцината 24-эпикастастерона при проращивании гречихи посевной сорта Влада рулонным методом при использовании концентраций 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М вызывал положительный эффект по большинству морфометрических показателей, и при этом он был более значимым, чем в ранее проведенных аналогичных экспериментах с другими конъюгатами 24-эпикастастерона.

В вегетационном опыте с использованием почвогрунта тетрасукуцинат эпикастастерона во всех трех используемых концентрациях показал менее выраженную ростстимулирующую активность по отношению к надземной части по сравнению с раствором 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-8} М, но достаточно высокую – по отношению к корневой системе при использовании растворов с концентрациями 10^{-10} и 10^{-9} М. Влияние этого конъюгата 24-эпикастастерона с янтарной кислотой в тех же двух минимальных дозах на содержание фотосинтетических пигментов также было сравнимо с действием самого брассиностероида в более высокой дозе (10^{-8} М).

На основе анализа всего комплекса полученных при исследованиях показателей для проведения полевого эксперимента решено оставить три концентрации тетрасукуцината 24-эпикастастерона и для сравнения самого эпикастастерона: 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дерфлинг, К. Н. Гормоны растений / К. Н. Дерфлинг. – М. : Наука, 1989. – 351 с.
2. Hayat, S. Brassinosteroids: A Class of Plant Hormones / S. Hayat, A. Ahmad. – Dordrecht : Springer, 2011. – 462 p.
3. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 287 с.
4. Kripach, V. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plants hormones warrant better crops for the XXI century / V. Kripach, V. Zhabinskii, A. de Groot // *Annals Bot.* – 2000. – Vol. 86. – P. 441–447.
5. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы. – Брест : БрГУ, 2020. – 260 с.
6. 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.
7. 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.
8. Коваленко, В. В. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // *Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2022. – № 1. – С. 22–30.
9. Хомюк, Я. В. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры *Trifolium pratense* L. / Я. В. Хомюк, Е. Г. Артемук, Р. П. Литвиновская // *Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2022. – № 2. – С. 52–62.
10. Артемук, Е. Г. Рострегулирующее и антистрессовое действие эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на *Trifolium pratense* L. в условиях влияния ионов свинца / Е. Г. Артемук // *Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2023. – № 1. – С. 5–15.
11. Коваленко, В. В. Протекторная активность 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона в отношении токсического действия ионов свинца

на культуре тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 31–40.

12. Корзюк, О. В. Протекторное действие эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на растения гороха посевного в условиях влияния ионов свинца / О. В. Корзюк // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 41–51.

13. Тарасюк, А. Н. Протекторные свойства эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами по отношению к токсическому действию ионов свинца и кадмия на клетки корневой меристемы сельскохозяйственных культур / А. Н. Тарасюк // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 60–69.

14. Кароза, С. Э. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические показатели гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) в лабораторных условиях / С. Э. Кароза // Проблемы оценки, мониторинга и сохранения биоразнообразия : сб. материалов IV Респ. науч.-практ. экол. конф., Брест, 25 нояб. 2021 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. М. Матусевич, Н. В. Шкуратова, М. В. Левковская. – Брест : БрГУ, 2021. – С. 90–94.

15. Кароза, С. Э. Анализ рострегулирующей активности конъюгатов эпикастастерона с органическими кислотами на примере гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / С. Э. Кароза // Биотехнология: достижения и перспективы развития : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 25–26 нояб. 2021 г. / Полес. гос. ун-т ; редкол.: В. И. Дунай [и др.]. – Пинск, 2021. – С. 79–84.

16. Государственный реестр сортов Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sorttest.by/gosudarstvennyy-reyestr-sortov-2022>. – Дата доступа: 29.11.2023.

17. Влада [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.agro-pomu.com/bok/2717-znakomimsya-s-osnovnymi-sortami-grechih.html#h-id-2>. – Дата доступа: 03.02.2021.

18. Гречиха сорта Влада [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.sorttest.by/grechih.pdf>. – Дата доступа: 03.02.2021.

19. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038-84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.

20. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.

21. 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.

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

REFERENCES

1. Derfling, K. N. Gormony rastienij / K. N. Derfling. – М. : Nauka, 1989. – 351 s.
2. Hayat, S. Brassinosteroids: A Class of Plant Hormones / S. Hayat, A. Ahmad. – Dordrecht : Springer, 2011. – 462 p.
3. Khripach, V. A. Brassinosteroidy / V. A. Khripach, F. A. Lakhvich, V. N. Zhabinskij. – Minsk : Navuka i tekhnika, 1993. – 287 s.
4. Kripach, V. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plants hormones warrant better crops for the XXI century / V. Kripach, V. Zhabinskii, A. de Groot // Annals Bot. – 2000. – Vol. 86. – P. 441–447.

5. Biologichieskaja aktivnost' brassinosteroidov i steroidnykh glikozidov / S. E. Karoza [i dr.] ; pod obshch. ried. S. E. Karozy. – Brest : BrSU, 2020 – 260 s.

6. Sintez i stress-protektornaje dejstvije na rastienija konjugatov brassinosteroidov s salicilovoj kislotoj / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Khimija prirod. sojedinienij. – 2016. – № 3. – S. 394–398.

7. Zashchitnoje dejstvije salicilatov brassinosteroidov na rastienija jarovogo jachmienia, podviergnutykh biotichieskomu stressu / N. Ye. Manzheliesova [i dr.] // Dokl. NAN Bielarusi. – 2019. – T. 63, № 3. – S. 304–311.

8. Kovalienko, V. V. Vlijanije epikastasterona i jego konjugatov na morfometri-chieskije i fiziologo-biokhimichieskije paramietry timofiejevki lugovoj (*Phleum pratense* L.) / V. V. Kovalienko // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2022. – № 1. – S. 22–30.

9. Khomiuk, Ya. V. Vliyanije epikastasterona i jego konjugatov s kislotami na morfometri-chieskije i fiziologo-biokhimichieskije paramietry *Trifolium pratense* L. / Ya. V. Khomiuk, Ye. G. Artiemuk, R. P. Litvinovskaja // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2022. – № 2. – S. 52–62.

10. Artiemuk, Ye. G. Rostriegulirujushchieje i antistressovoje dejstvije epikastasterona i jego konjugatov s kislotami na *Trifolium pratense* L. v uslovijakh vlijanija ionov svinca / Ye. G. Artiemuk // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2023. – № 1. – S. 5–15.

11. Kovalienko, V. V. Protektornaja aktivnost' 24-epikastasterona i tetraindolilacetata 24-epikastasterona v otnoshenii toksichieskogo dejstvija ionov svinca na kul'turie timofiejevki lugovoj (*Phleum pratense* L.) / V. V. Kovalienko // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2023. – № 1. – S. 31–40.

12. Korziuk, O. V. Protektornaje dejstvije epikastasterona i jego konjugatov s kislotami na rastienija gorokha posievnogo v uslovijakh vlijanija ionov svinca / O. V. Korziuk // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2023. – № 1. – S. 41–51.

13. Tarasiuk, A. N. Protektornyje svojstva epikastasterona i jego konjugatov s kislotami po otnosheniju k toksichieskomu dejstvuju ionov svinca i kadmija na kletki kornievoj mieristiemy siel'skokhoziajstviennykh kul'tur / A. N. Tarasiuk // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2023. – № 1. – S. 60–69.

14. Karoza, S. E. Vlijanije epikastasterona i jego konjugatov s kislotami na morfometri-chieskije pokazateli griechikhi posievnogo (*Fagopyrum esculentum* Moench.) v laboratornykh uslovijakh / S. E. Karoza // Problemy ocenki, monitoringa i sokhranienija bioraznobrazija : sb. materialov IV Riesp. nauch.-prakt. ekol. konf., Brest, 25 nojab. 2021 g. / Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina ; riedkol.: N. M. Matusievich, N. V. Shkuratova, M. V. Lievkovskaja. – Brest : BrGU, 2021. – S. 90–94.

15. Karoza, S. E. Analiz rostriegulirujushchiej aktivnosti konjugatov epikastasterona s organichieskimi kislotami na primierie griechikhi posievnogo (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / S. E. Karoza // Biotiekhnologija: dostizhenija i pierspektivy razvitija : sb. materialov V Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., Pinsk, 25–26 nojab. 2021 g. / Polies. gos. un-t ; riedkol.: V. I. Dunaj [i dr.]. – Pinsk, 2021. – S. 79–84.

16. Gosudarstviennyj riejeestr sortov Riespubliki Belarus' [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <http://sorttest.by/gosudarstvennyy-reyestr-sortov-2022>. – Data dostupa: 29.11.2023.

17. Vlada [Elektronnyj riesurs]. – 2021. – Riezhim dostupa: <https://www.agronomu.-com/bok/2717-znakomimsya-s-osnovnymi-sortami-grechih.html#h-id-2>. – Data dostupa: 03.02.2021.

18. Griechikha sorta Vlada [Elektronnyj riesurs]. – 2021. – Riezhim dostupa: <https://www.sorttest.by/grechih.pdf>. – Data dostupa: 03.02.2021.

19. Siemiena siel'skokhoziajstviennykh kul'tur. Mietody opriedielienija vskhozhesti : GOST 12038-84. – Vvied. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.
20. Gavrilienko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilienko, T. V. Zhigalova ; pod ried. I. P. Jermakova. – M. : Akadiemija, 2003. – 256 s.
21. Shul'gin, I. A. Raschiot sodierzhanija pigmientov s pomoshchju nomogramm / I. A. Shul'gin, A. A. Nichiporovich // Khlorofill : sb. nauch. st. ; pod ried. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1974. – S. 121–136.
22. Rokickij, P. F. Biologichieskaja statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Uradzhaj, 1973. – 320 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 05.07.2024

УДК 577.175.1: 57.085

Виктор Викторович Коваленко*ст. преподаватель каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина***Viktar Kavalenka***Senior Lecturer of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University**e-mail: kvv0407@rambler.ru***ВЛИЯНИЕ ТЕТРАСУКЦИНАТА 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА
НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ТИМОФЕЕВКИ ЛУГОВОЙ (*PHLEUM PRATENSE* L.)***

Изучено влияние тетрасукцината 24-эпикастастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимopheевки луговой в лабораторных условиях. Исследовано действие различных концентраций тетрасукцината 24-эпикастастерона на показатели энергии прорастания, всхожести, длины корня и длины побега проростков тимopheевки луговой. В вегетационном лабораторном эксперименте изучено влияние тетрасукцината 24-эпикастастерона на всхожесть семян, длину корня, длину побега, сырую и сухую массу побегов, содержание хлорофилла а, хлорофилла b, каротиноидов, активность каталазы. Установлено, что более отзывчивыми к действию тетрасукцината 24-эпикастастерона являются показатели длины корня, длины побега, сырой массы побегов, содержание фотосинтетических пигментов.

Ключевые слова: тимopheевка луговая, энергия прорастания, всхожесть, брассиностероиды, 24-эпикастастерон, конъюгаты 24-эпикастастерона, хлорофилл, каротиноиды, каталаза.

**The Effect of Tetrasuccinate of 24-Epicastasterone on Morphometric
and Physiological-Biochemical Parameters of Timothy (*Phleum Pratense* L.)**

The influence of tetrasuccinate of 24-epicastasterone on morphometric and physiological-biochemical parameters of Timothy in laboratory conditions was studied. The effect of various concentrations of tetrasuccinate of 24-epicastasterone on the indicators of germination energy, germination, root length and shoot length of Timothy seedlings was revealed. In a vegetative laboratory experiment, the effect of tetrasuccinate of 24-epicastasterone on seed germination, root length, shoot length, raw and dry mass of shoots, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, catalase activity was studied. It was found that the indicators of root length, shoot length, raw mass of shoots, and the content of photosynthetic pigments are more responsive to the action of tetrasuccinate of 24-epicastasterone.

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

Введение

Стероидные соединения весьма распространены в живой природе. Гормонами роста растений стероидной природы являются брассиностероиды. В основе их действия лежит стимуляция естественных защитных сил растительного организма, повышение фотосинтетической и анаболической активности, улучшение приспособительных реакций и иммунного статуса [1].

Брассиностероиды оказывают влияние на различные физиологические функции растений, в частности синтез нуклеиновых кислот и белка [2]. Поэтому интерес к изучению брассиностероидов существует у ученых разных научных школ.

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

В настоящее время актуальными являются исследования взаимосвязи структуры и биологической активности brassinosterоидов [3], метаболизма brassinosterоидов в растениях [4], практического применения brassinosterоидов с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных растений [5]. Так, в работе [5] систематизированы данные о влиянии brassinosterоидов на растения томата, перца, картофеля, огурца, сахарной свеклы, а также на различные плодовые культуры.

В лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси синтезированы конъюгаты brassinosterоидов с кислотами. Рострегулирующее и антистрессовое действие соединений данного ряда изучается на факультете естествознания Бестского государственного университета имени А. С. Пушкина.

Нами исследована рострегулирующая активность 24-эпикастастерона, 2-моносалицилата 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона в отношении морфометрических и физиолого-биохимических параметров тимopheевки луговой [6], а также протекторная активность 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона в отношении токсического действия ионов свинца [7].

Большей эффективностью и универсальностью действия на растения тимopheевки луговой характеризуется 24-эпикастастерон. Данное соединение демонстрирует большой стимулирующий эффект в отношении морфофизиологических и биохимических показателей тимopheевки луговой по сравнению с 2-моносалицилатом 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетатом 24-эпикастастерона [6].

Установлено, что растения, которые подверглись токсическому действию ионов свинца и прошедшие предпосевную обработку 24-эпикастастероном и тетраиндолилацетатом 24-эпикастастероном, по сравнению с растениями, которые подверглись действию ионов свинца, но не обрабатывались стероидными соединениями, демонстрируют некоторые изменения физиолого-биохимического статуса, о чем свидетельствует увеличение содержания хлорофилла *b* и каротиноидов. При этом активность каталазы, являющейся основным ферментом антиоксидантной системы растений, изменяется незначительно [7].

Целью данного этапа исследования является изучение рострегулирующего действия тетрасукцината 24-эпикастастерона на морфометрические и физиолого-биохимические показатели тимopheевки луговой в лабораторных условиях.

Материал и методы исследования

Тетрасукцинат 24-эпикастастерона синтезирован в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

Исследование рострегулирующей активности тетрасукцината 24-эпикастастерона проводилось на культуре тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) сорта Воля.

В первой серии эксперимента исследовано влияние различных концентраций тетрасукцината 24-эпикастастерона на показатели энергии прорастания, всхожести, длины корня и длины побега проростков тимopheевки луговой в лабораторных условиях. С целью предпосевной обработки семена замачивали в растворах данного соединения с концентрациями 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} , 10^{-10} , 10^{-11} М либо в воде (контроль) в течение пяти часов.

Проращивание семян проводилось в соответствии с ГОСТ 12038–84 [8]. Повторность опыта четырехкратная. Энергия прорастания определялась на четвертые сутки, всхожесть – на восьмые сутки. На восьмые сутки также определялась длина корня и длина побега проростков.

Во второй серии эксперимента исследовано влияние тетрасукцината 24-эпикастастерона в концентрациях 10^{-7} М и 10^{-10} М на всхожесть семян, длину корня, длину побега, сырую и сухую массу побегов, содержание основных фотосинтетических пиг-

ментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов) и активность каталазы в вегетационном лабораторном эксперименте.

С целью предпосевной обработки семена замачивали в растворах тетрасукуцината 24-эпикастастерона указанных выше концентраций либо в воде (контроль) в течение пяти часов, после чего высаживали в почвогрунт в пластиковые контейнеры и выращивали в лабораторных условиях вегетационного эксперимента.

Повторность опыта четырехкратная. На восьмые сутки эксперимента определяли всхожесть, длину корня, длину побега проростков, сырую массу побегов. Сухую массу побегов определяли после их высушивания при комнатной температуре в течение двух недель.

Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом [9; 10], активность каталазы – методом М. А. Королук [11].

Статистическую обработку результатов проводили в соответствии с общепринятыми методиками биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [12] с использованием программы Microsoft Excel.

Установление достоверности различий от контроля проводили нахождением *t*-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние различных концентраций тетрасукуцината 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимофеевки луговой в лабораторном эксперименте.

Данные о влиянии тетрасукуцината 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимофеевки луговой в лабораторном эксперименте приведены в таблице 1.

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

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм
Контроль	53,0 ± 2,50	66,0 ± 2,37	15,82 ± 0,61	22,32 ± 0,58
10 ⁻¹¹ М	54,0 ± 2,49	66,0 ± 2,37	13,63 ± 0,67*	21,84 ± 0,72
10 ⁻¹⁰ М	47,0 ± 2,50	54,0 ± 2,49***	17,08 ± 0,87	23,74 ± 0,73
10 ⁻⁹ М	42,0 ± 2,47**	53,0 ± 2,50***	11,89 ± 0,58***	20,03 ± 0,71*
10 ⁻⁸ М	54,0 ± 2,49	67,0 ± 2,35	17,21 ± 0,73	21,96 ± 0,68
10 ⁻⁷ М	48,0 ± 2,50	61,0 ± 2,44	17,48 ± 0,72	22,21 ± 0,65
10 ⁻⁶ М	48,0 ± 2,50	62,0 ± 2,43	11,63 ± 0,65***	20,89 ± 0,90

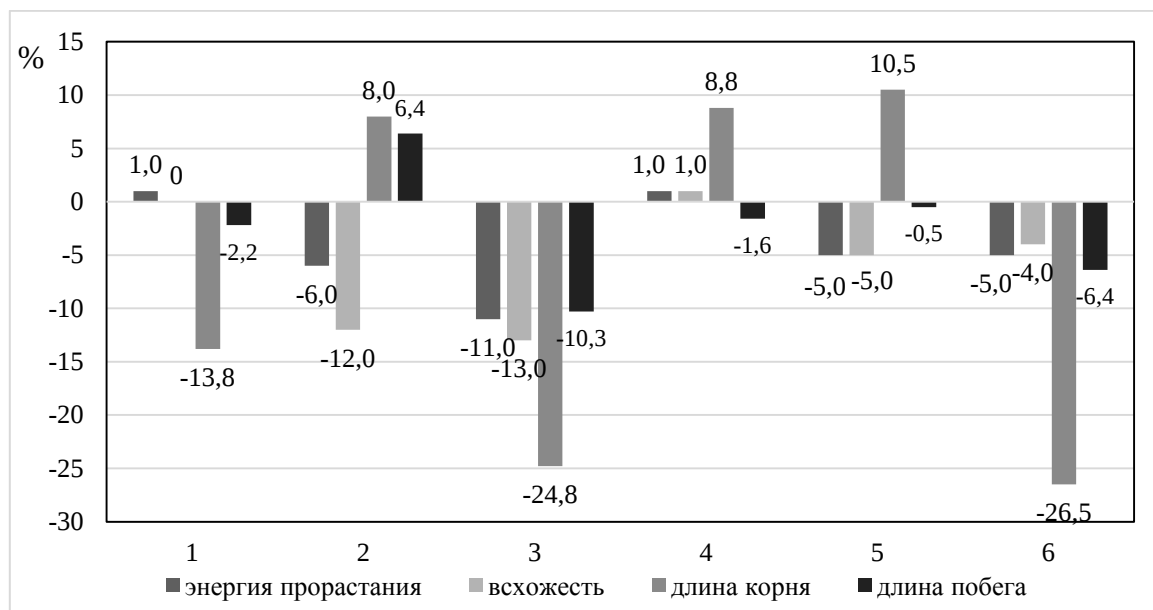
Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

В отношении показателя энергии прорастания тетрасукуцинат 24-эпикастастерона стимулирующего эффекта не проявляет. Достоверный ингибирующий эффект наблюдался в варианте опыта с концентрацией 10⁻⁹ М.

Уменьшение показателя энергии прорастания в этом варианте опыта по сравнению с контролем составляет 11 % (рисунок 1).

В отношении показателя всхожести тетрасукуцинат 24-эпикастастерона стимулирующего эффекта также не проявляет.

Достоверный ингибирующий эффект наблюдался в варианте опыта с концентрациями 10⁻⁹ М и 10⁻¹⁰ М. Уменьшение показателя энергии прорастания в опыте по сравнению с контролем составляет 13 и 12 % соответственно.



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

Рисунок 1 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастестерона на морфометрические показатели тимфеески луговой в лабораторном эксперименте, % относительно контроля

Увеличение длины корня под действием тетрасукцината 24-эпикастестерона наблюдается в вариантах опыта сконцентрациями 10^{-7} М, 10^{-8} М и 10^{-10} М. Наибольший стимулирующий эффект наблюдается в варианте опыта с концентрацией 10^{-7} М. Однако достоверный стимулирующий эффект соединения ни в одном варианте опыта зафиксирован не был. В вариантах опыта с концентрациями 10^{-6} М, 10^{-9} М и 10^{-11} М наблюдается достоверное уменьшение длины корня.

Наибольший ингибирующий эффект зафиксирован в варианте опыта с концентрацией 10^{-6} М. Уменьшение длины корня по сравнению с контролем в данном варианте опыта составляет 26,5 % (рисунок 1).

Увеличение длины побега по сравнению с контролем наблюдается только в варианте опыта с концентрацией тетрасукцината 24-эпикастестерона 10^{-10} М. Прирост длины побега составляет 6,4 % по сравнению с контролем. В остальных вариантах опыта наблюдается уменьшение длины побега. Достоверный ингибирующий эффект наблюдается при использовании концентрации 10^{-9} М. Уменьшение длины побега по сравнению с контролем составляет 10,3 %.

Влияние различных концентраций тетрасукцината 24-эпикастестерона на морфометрические и физиолого-биохимические показатели тимфеески луговой в вегетационном лабораторном эксперименте.

Данные о влиянии тетрасукцината 24-эпикастестерона на морфометрические показатели тимфеески луговой в вегетационном лабораторном эксперименте приведены в таблице 2.

В отношении показателя всхожести тетрасукцинат 24-эпикастестерона стимулирующего эффекта не проявляет. Достоверный ингибирующий эффект наблюдается в варианте опыта с концентрацией 10^{-7} М. Уменьшение показателя всхожести в данном варианте опыта по сравнению с контролем составляет 15 % (рисунок 2).

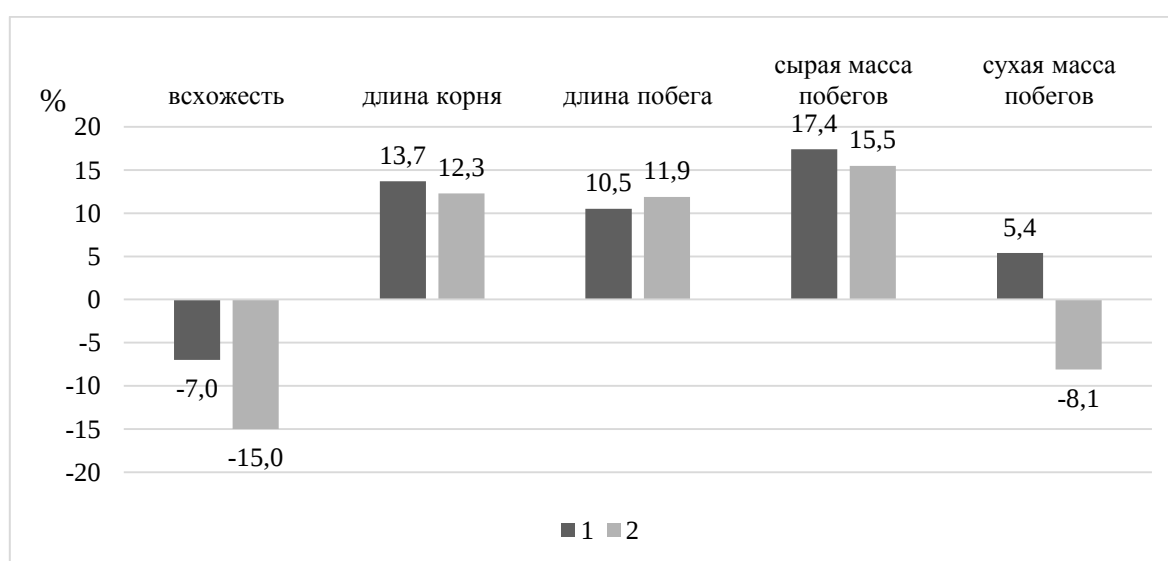
Увеличение длины корня под действием тетрасукцината 24-эпикастестерона наблюдается в обоих вариантах опыта. Большой стимулирующий эффект отмечается

в варианте опыта с концентрацией 10^{-10} М. Прирост длины корня в данном варианте опыта по сравнению с контролем составляет 13,7 % (рисунок 2). Однако достоверный стимулирующий эффект соединения в ходе эксперимента в отношении данного показателя зафиксирован не был.

Таблица 2 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимфеевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм	Сырая масса, побегов, г	Сухая масса, побегов, г
Контроль	$51,0 \pm 2,89$	$17,53 \pm 1,01$	$29,98 \pm 1,44$	$0,0155 \pm 0,0007$	$0,0037 \pm 0,0002$
10^{-10} М	$44,0 \pm 2,87$	$19,93 \pm 1,09$	$33,13 \pm 1,39$	$0,0182 \pm 0,0008$	$0,0039 \pm 0,0002$
10^{-7} М	$36,0 \pm 2,77^{***}$	$19,68 \pm 1,08$	$33,55 \pm 1,24$	$0,0179 \pm 0,0009$	$0,0034 \pm 0,0002$

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



1 – 10^{-10} М; 2 – 10^{-7} М

Рисунок 2 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимфеевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте, % относительно контроля

Увеличение длины побега под действием тетрасукцината 24-эпикастастерона также наблюдается в обоих вариантах опыта, но является незначительным и не является статистически достоверной тенденцией. Так, прирост длины побега в варианте опыта с концентрацией 10^{-7} М составляет 11,9 % (рисунок 2).

Увеличение сырой массы побегов наблюдается в обоих вариантах опыта. В варианте опыта с концентрацией 10^{-10} М прирост сырой массы составляет 17,4 % по сравнению с контролем. Однако достоверный стимулирующий эффект соединения в ходе эксперимента в отношении данного показателя зафиксирован не был.

В варианте опыта с концентрацией 10^{-7} М наблюдается незначительное уменьшение (8,1 %), а в варианте опыта с концентрацией 10^{-10} М – незначительное увеличение сухой массы побегов (5,4 %) по сравнению с контролем (рисунок 2). Отмеченная тенденция не является статистически достоверной.

Данные о влиянии тетрасукцината 24-эпикастастерона на физиолого-биохимические показатели тимфеевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние тетраэукцината 24-эпикастастерона на физиолого-биохимические показатели тимфефевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Содержание пигментов, мг/г			Активность каталазы, мкат/л
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	
Контроль	1,517 ± 0,142	0,180 ± 0,012	0,062 ± 0,008	846,2 ± 4,1
10 ⁻¹⁰ М	1,561 ± 0,116	0,210 ± 0,018	0,064 ± 0,008	863,1 ± 4,4
10 ⁻⁷ М	1,588 ± 0,131	0,220 ± 0,016	0,072 ± 0,009	854,7 ± 4,3

Увеличение содержания фотосинтетических пигментов, отмечаемое в обоих вариантах опыта, не является статистически достоверным. В варианте с концентрацией 10⁻⁷ М содержание хлорофилла *a* увеличивается на 4,7 %, содержание хлорофилла *b* – на 22,2 %, содержание каротиноидов – на 16,1 % по сравнению с контролем (рисунок 3).

В варианте с концентрацией 10⁻¹⁰ М содержание хлорофилла *a* увеличивается на 2,9 %, содержание хлорофилла *b* – на 16,7 %, содержание каротиноидов – на 3,2 % по сравнению с контролем.

Одновременно несущественными являются различия в активности каталазы, которые составляют 1,0 и 2,0 % по сравнению с контролем в вариантах опыта 10⁻⁷ М и 10⁻¹⁰ М соответственно.

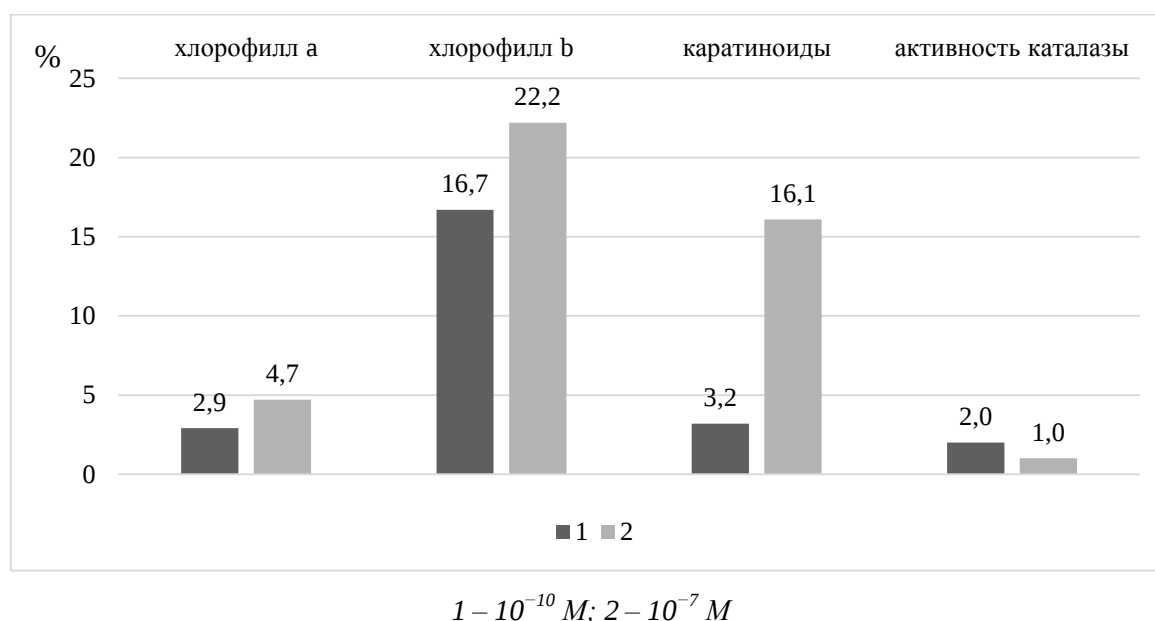


Рисунок 3 – Влияние тетраэукцината 24-эпикастастерона на физиолого-биохимические показатели тимфефевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте, % относительно контроля

Заклучение

Проведенное исследование показало, что тетраэукцинат 24-эпикастастерона характеризуется незначительным стимулирующим эффектом в отношении морфометрических и физиолого-биохимических показателей тимфефевки луговой.

Более отзывчивыми к действию тетраэукцината 24-эпикастастерона являются показатели длины корня, длины побега, сырой массы побегов, а также содержание фотосинтетических пигментов.

В ходе вегетационного лабораторного эксперимента зафиксировано, что предпосевная обработка семян тимфефевки луговой тетраэукцинатом 24-эпикастастерона спо-

способствует увеличению перечисленных выше показателей по сравнению с растениями, не прошедшими предпосевную обработку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хрипач, В. А. Брассиностероиды и урожай. Экологически дружественный подход к решению проблемы производства высококачественной продукции / В. А. Хрипач // Химико-биологические технологии и экологическая безопасность : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–17 мая 2001 г. / под ред. И. И. Лиштвана [и др.]. – Минск, 2001. – С. 121–130.
2. Bajguz, A. Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cells of *Chlorella vulgaris* / A. Bajguz // Plant Physiology and Biochemistry. – 2000. – Vol. 38, iss. 3. – P. 209–215.
3. Structure-activity relationship of brassinosteroids and their agricultural practical usages / Jinna Liu [et al.] // Steroids. – 2017. – Vol. 124. – P. 1–17.
4. Bajguz, A. Metabolism of brassinosteroids in plants / A. Bajguz // Plant Physiology and Biochemistry. – 2007. – Vol. 45. – P. 95–107.
5. Ali, B. Practical applications of brassinosteroids in horticulture – Some field perspectives / B. Ali // Scientia Horticulturae. – 2017. – Vol. 225. – P. 15–21.
6. Коваленко, В. В. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навуки аб зямлі. – 2022. – № 1. – С. 22–30.
7. Коваленко, В. В. Протекторная активность 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона в отношении токсического действия ионов свинца на культуре тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навуки аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 31–40.
8. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
9. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова. – М. : Академия, 2003. – 256 с.
10. Шульгин, И. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм / И. А. Шульгин, А. А. Ничипорович // Хлорофилл : сб. науч. ст. ; под ред. А. А. Шлыка. – Минск : Наука и техника, 1974. – С. 121–136.
11. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк [и др.] // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
12. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Khripach, V. A. Brassinosteroidy i urozhaj. Ekologichieskj druzhestviennyj podkhod k riesheniju problimy proizvodstva vysokokachiestviennoj produkcii / V. A. Khripach // Khimiko-biologichieskije tiekhnologii i ekologichieskaja biezopasnost' : matierialy miezhdu-nar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 15–17 maja 2001 g. ; pod ried. I. I. Lishtvana [i dr.]. – Minsk, 2001. – S. 121–130.
2. Bajguz, A. Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cells of *Chlorella vulgaris* / A. Bajguz // Plant Physiology and Biochemistry. – 2000. – Vol. 38, iss. 3. – P. 209–215.

3. Structure-activity relationship of brassinosteroids and their agricultural practical usages / Jinna Liu [et al.] // *Steroids*. – 2017. – Vol. 124. – P. 1–17.
4. Bajguz, A. Metabolism of brassinosteroids in plants / A. Bajguz // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2007. – Vol. 45. – P. 95–107.
5. Ali, B. Practical applications of brassinosteroids in horticulture – Some field perspectives / B. Ali // *Scientia Horticulturae*. – 2017. – Vol. 225. – P. 15–21.
6. Kovalienko, V. V. Vlijanije epikastasterona i jeho konjugatov na morfometričeskie i fiziologo-biokhimičeskie parametry timofiejevki lugovoj (*Phleum pratense* L.) / V. V. Kovalienko // *Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli*. – 2022. – № 1. – S. 22–30.
7. Kovalienko, V. V. Protektornaja aktivnost' 24-epikastasterona i tetraindolilacetata 24-epikastasterona v otnoshenii toksichieskogo diejstvija ionov svinca na kul'turie timofiejevki lugovoj (*Phleum pratense* L.) / V. V. Kovalienko // *Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli*. – 2023. – № 1. – S. 31–40.
8. Siemiena siel'skokhoziajstviennykh kul'tur. Metody opriedielienija vskhozhesti : GOST 12038–84. Vvied. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.
9. Gavrilienko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilienko, T. V. Zhihalova ; pod ried. I. P. Jermakova. – M. : Akadiemija, 2003. – 256 s.
10. Shul'gin, I. A. Raschiot sodierzhanija pigmientov s pomoshchju nomogramm / I. A. Shul'gin, A. A. Nichiporovich // *Khlorofill : sb. nauch. st. ; pod ried. A. A. Shlyka*. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1974. – S. 121–136.
11. Metod opriedielienija aktivnosti katalazy / M. A. Koroliuk [i dr.] // *Lab. dielo*. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
12. Rokickij, P. F. Biologichieskaja statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Uradzhaj, 1973. – 320 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 11.09.2024

УДК 581.9; 582.998

Михаил Михайлович Мотыль¹, Станислав Казимирович Бакей²¹канд. биол. наук., ведущий науч. сотрудник лаборатории защиты растений
Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси²науч. сотрудник лаборатории экологии и химии растений
Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси**Michail Motyl¹, Stanislav Bakei²**¹Candidate of Biological Sciences, Lead Researcher of the Laboratory of Plant Protection
of Central Botanical Garden of National Academy of Sciences of Belarus²Researcher of the Laboratory of Ecology and Chemistry of Plants
of Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belaruse-mail: ¹uchsec@tut.by; ²semargl_ajakashi_chaosa@bk.ru

ИНВАЗИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА АСТРОВЫЕ (ASTERACEAE)

Представлены данные о встречаемости в регионах Беларуси популяций 15 инвазивных и натурализующихся видов декоративных интродуцентов из семейства Астровые, а именно: белокопытника гибридного, гайлардии крупноцветковой, гелиопсиса подсолнечниковидного, золотарника гигантского, золотарника канадского, космеи дваждыперистой, девясила высокого, мордовника шароголового, подсолнечника клубненосного, рудбекии волосистой, рудбекии ланцетолистной, включая форму «Золотой шар», сальфии пронзеннолистной, симфиотрихума, мелкопестника однолетнего. Приведены карты-схемы распространения. Дана оценка инвазионного потенциала таксонов и риска его возрастания.

Ключевые слова: вид, инвазия, растение, астровые, населенный пункт, золотарник.

Invasive Potential for Spread in Belarus Introduced Species of the Aster Family (Asteraceae)

Data are presented on the occurrence in the regions of Belarus of populations of 15 invasive and naturalizing species of ornamental introduced plants from the Asteraceae family, namely: *Petasites hybridus* (L.) Gaertn., *B. Mey. & Scherb.*, *Gaillardia × grandiflora* hort. ex Van Houtte, *Heliopsis helianthoides* (L.) Sweet, *Inula helenium* L., *Solidago gigantea* Aiton, *Solidago canadensis* L., *Cosmos bipinnatus* Cav., *Echinops sphaerocephalus* L., *Helianthus tuberosus* L., *Rudbeckia hirta* L., *Rudbeckia laciniata* L., including form *Rudbeckia laciniata* var. *hortensia* L.H. Bailey, *Silphium perfoliatum* L., *Symphotrichum* sp., *Erigeron annuus* (L.) Desf. Distribution maps are presented. An assessment of the invasive potential of taxa and the risk of its increase is given.

Key words: species, invasion, plant, asteraceae, locality, goldenrod.

Введение

Семейство Астровые (Asteraceae) является крупнейшим в мире по числу видов (более 32 тыс.) и содержит большое количество декоративных растений. Многие из них культивируются и способны к натурализации, внедрению в природные сообщества и инвазионному распространению. Поэтому по численности и разнообразию видов астровые также лидируют и среди инвазивных и потенциально инвазивных видов Беларуси [1–3].

Основным источником натурализации и инвазионного распространения декоративных интродуцентов этого семейства в культурных и природных биотопах являются населенные пункты и сопутствующие нарушенные местообитания. Поэтому изучение и анализ их встречаемости на сопряженных участках селитебных и природно-антропогенных ландшафтов позволяет не только получить текущую статистическую информацию, но и прогнозировать динамику инвазионного поведения на значительных территориях.

Целью данной работы было выяснение масштабов натурализации представителей семейства Астровые в селитебных ландшафтах и окрестностях населенных пунктов Беларуси, связанных с риском инвазионного расселения на сопредельных территориях природно-антропогенных, культурных ландшафтов и природных биотопов.

Материалы и методы

Исследования проводили стандартным маршрутным методом в 2017–2022 гг. Схема основных маршрутов приведена на рисунке 1.

Объектом исследования являлись участки натурализации и инвазионные популяции интродуцированных представителей семейства Астровые в пределах населенных пунктов, их окрестностей и связывающей сети автомобильных дорог. Красным цветом на маршрутах отмечены пункты, где был выявлено расселение хотя бы одного вида, белым – где их натурализация в окружающих экотопах не была отмечена. Точки обнаружения каждого из видов растений отмечали на картографической карте крупного масштаба.

Дальнейшее масштабирование и создание слоев для контурного совмещения с иным картографическим материалом проводили в процессе компьютерной обработки.

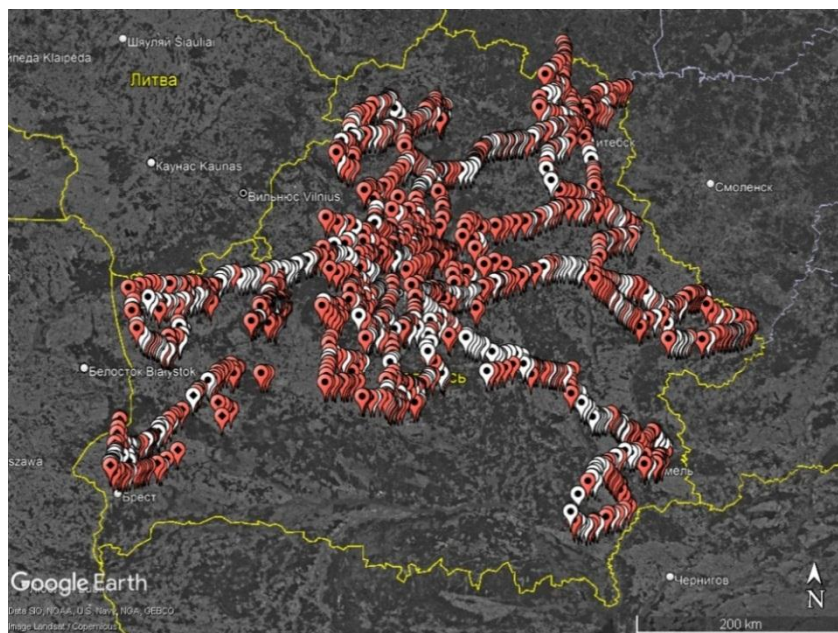


Рисунок 1 – Маршрутная схема обследований (2017–2022 гг.)

Следует отметить, что в рамках данного исследования не рассматривались чужеродные виды семейства *Asteraceae*, случайно занесенные на территорию Беларуси, такие как амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.), галинзога мелкоцветковая (*Galinsoga parviflora* Cav.), мелколепестничек канадский (*Conyza canadensis* (L.) Cronquist), циклахена дурнишниковидная (*Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen.), череда ростнолопастная (*Bidens connata* H.L. Muhl. ex Willd.) и др.

Результаты и обсуждение

За период выполнения работ обследовали 1 400 населенных пунктов и их окрестностей, где выявили участки натурализации и инвазионные популяции следующих видов: белокопытника гибридного (*Petasites hybridus* (L.) Gaertn., B. Mey. & Scherb.), гайлардию крупноцветковую (*Gaillardia × grandiflora* hort. ex Van Houtte), гелиопсиса подсолнечниковидного (*Heliopsis helianthoides* (L.) Sweet), девясила большого (*Inula helenium* L.), золотарника гигантского (*Solidago gigantea* Aiton), золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.), космеей дваждыперистую (*Cosmos bipinnatus* Cav.), мордовника шароголового (*Echinops sphaerocephalus* L.), подсолнечника клубненосного (*Helianthus tuberosus* L.), рудбекию волосистую (*Rudbeckia hirta* L.), рудбекию

ланцетолистную (*Rudbeckia laciniata* L.), включая форму «Золотой шар» (*Rudbeckia laciniata* var. *hortensia* L.H. Bailey), сильфию пронзеннолистную (*Silphium perfoliatum* L.), симфиотрихума виды (*Symphyotrichum* sp.), мелкопестника однолетнего (*Erigeron annuus* (L.) Desf.). Данные приведены в таблице.

Несмотря на различное количество точек учета (от 143 до 446), их репрезентативность во всех областях составляет около 15 на каждые из 100 расположенных там населенных пунктов как возможных объектов обследования.

Таблица – Встречаемость популяций интродуцированных видов семейства Астровые в административных регионах Беларуси, %

№ п/п	Вид	Область распространения						
		Республика Беларусь	Брест- ская	Гомель- ская	Грод- ненская	Витеб- ская	Мин- ская	Моги- левская
1	<i>Solidago canadensis</i> L.	21,53	13,20	18,63	19,47	18,48	40,70	18,72
2	<i>Solidago gigantea</i> Aiton	8,82	5,94	6,90	14,75	6,16	15,40	13,74
3	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	8,70	7,92	6,21	15,34	5,28	11,22	6,24
4	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.	2,12	4,62	0,69	2,95	0,42	1,76	2,34
5	<i>Petasites hybridus</i> (L.) Gaertn., B. Mey. & Scherb.	0,58	0,00	0,00	1,18	0,84	0,66	0,78
6	<i>Rudbeckia laciniata</i> L.	0,44	0,00	0,00	1,18	0,84	0,66	0,00
7	<i>Rudbeckia laciniata</i> var. <i>hortensia</i> L.H. Bailey	1,79	1,32	0,00	1,18	1,68	2,64	8,59
8	<i>Rudbeckia hirta</i> L.	0,84	0,00	0,00	1,77	0,84	0,88	1,56
9	<i>Symphyotrichum</i> sp.	1,27	0,00	0,69	5,67	0,42	0,88	0,00
10	<i>Inula helenium</i> L.	0,34	0,00	0,00	0,59	1,26	0,22	0,00
11	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	0,23	0,00	0,00	1,18	0,00	0,22	0,00
12	<i>Heliopsis helianthoides</i> (L.) Sweet	0,48	0,66	1,38	0,59	0,00	0,22	0,00
13	<i>Gaillardia</i> × <i>grandiflora</i> hort. ex Van Houtte	0,41	0,66	0,00	0,59	0,00	0,22	0,00
14	<i>Silphium perfoliatum</i> L.	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00
15	<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	0,07	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00
16	Количество обследо- ванных объектов	1 400	151	143	170	234	446	256
17	Встречаемость всех натурализованных и инвазивных видов, %	71	54	56	81	69	89	76
18	Встречаемость видов сем. Астровые, %	54	33	34	64	55	75	52
19	Доля видов сем. Астровые %	76	61	60	79	79	84	68

Установлено, что в целом на территории Беларуси наиболее часто встречается золотарник канадский (21,53 %), золотарник гигантский (8,82 %), подсолнечник клубненосный (8,70 %) и мелколепестник однолетний (2,12 %). Остальные виды имеют встречаемость менее 2 %. Их распределение по административным областям неравномерное. Золотарник канадский чаще всего отмечали в Минской области (40,70 %) и менее всего – в Брестской области (13,20 %). В других регионах его встречаемость составила от 18,48 до 19,47 %. Золотарник гигантский распространен в Гродненской, Минской и Могилевской областях (13,74–15,40 %), реже встречается в Витебской, Гомельской и Брестской областях (5,9–6,9 %). Подсолнечник клубненосный преобладает в Гродненской (15,34 %) и Минской областях (11,22 %), в других регионах его встречаемость примерно равна и составляет 5,28–7,72 %. Мелколепестник однолетний чаще всего отмечали в Брестской (4,62 %), Гродненской (2,95 %) и Могилевской областях (2,34 %). Участки натурализации садовой формы рудбекии «Золотой шар» распространены в населенных пунктах Могилевской (8,97 %) и Минской областей (2,64 %), менее всего – в Гродненской области (1,18 %). Рудбекия волосистая чаще встречалась в Гродненской (1,77 %) и Могилевской областях (1,56 %), реже – в Минской (0,88 %) и Витебской области (0,84 %). Рудбекия ланцетолистная образует многолетние популяции в Гродненской области (1,18 %) и редко встречается в Витебской (0,84 %) и Минской (0,66 %) областях. Заросли симфиотрихума ср. часто отмечали в Гродненской (5,67 %), реже – в Минской (0,88 %), Гомельской (0,69 %) и Витебской областях (0,42 %). Белокопытник гибридный распространен в средней и северной части Беларуси: в Гродненской (1,18 %), Витебской (0,84 %) и Могилевской областях (0,78 %). Девясил высокий чаще встречался в Витебской области (1,26 %), реже – в Минской области (0,22 %). Гелиопсис подсолнечниковый распространен в Гомельской (1,38 %), нечасто встречается в Брестской и Гродненской областях (0,66 и 0,59 %) и редко – в Минской области (0,22 %). Другие таксоны цветочно-декоративных растений встречаются в областях Беларуси неравномерно и представлены единичными популяциями. Только в Гродненской и Минской областях отмечены участки устойчивой натурализации космеи дваждыперистой (1,18 % и 0,22 %), а в Брестской, Гродненской и Минской областях – гайлардии крупноцветковой (0,66 %, 0,59 % и 0,22 %). Популяции сильфии пронзеннолистной обнаружены только в Минской (0,22 %), а мордовника шароголового – только в Витебской области (0,42 %).

Подсчет суммарных значений показал, что в разрезе областей встречаемость видов семейства Астровые значительно варьирует от 33–34 % в Брестской и Гомельской областях до 64–75 % в Гродненской и Минской областях и во многом определяется распространением золотарника.

При встречаемости всех натурализованных и инвазивных интродуцентов в селитебных ландшафтах Беларуси 71 %, виды семейства Астровые отмечены на 54 % обследованных объектов. При этом их вклад как отдельной таксономической группы в современное распространение чужеродных интродуцированных растений в административных регионах очень значителен и составляет от 60 до 84 %, что указывает на несомненную инвазионную опасность семейства.

Анализ данных о разнообразии мест встречаемости позволил выявить приоритетные биотопы инвазионного внедрения видов семейства Астровые. Рассмотрим полученные результаты.

Золотарники (*Solidago canadensis* L., *Solidago gigantea* Aiton.) в населенных пунктах издавна использовали как декоративные и медоносные растения, выращивали на клумбах и на кладбищах. Из мест культивирования золотарники активно расселялись в селитебных ландшафтах на пустырях, в неухаживаемых зонах парков и лесопарков, гаражных кооперативах и на окраинах населенных пунктов. В настоящее время

они агрессивно проникают в окружающие природные биотопы, заселяют опушки лесов и способны проникать в глубь леса вдоль троп и вырубок. Часто распространяются вдоль ЛЭП, малых рек и временных водотоков.

Семенная продуктивность золотарников высокая: более 10 тыс. на один генеративный побег. Семена в зимний период рассеиваются ветром на дальние расстояния, что обеспечивает колонизацию незанятых участков. Всхожесть семян достигает 95 %. Для их прорастания не требуется стратификация [4].

Установлено, что распространение видов золотарника в селитебных ландшафтах происходит не спонтанно, а ассоциировано с видами аборигенной флоры. Моновидовые группировки золотарника сопряжены с участками распространения сухолюбивых плеяд травяного покрова [5] и их индикаторных нативных видов. Так, золотарник гигантский сопряжен с ежой сборной и мятликом луговым как индикаторами свежих почв, а золотарник канадский – с полынью обыкновенной и тысячелистником как индикаторами более сухих местообитаний.

Смешанные популяции золотарника канадского и гигантского приурочены к рудеральным местообитаниям с произрастанием бодяка полевого, ежи сборной и тысячелистника.

Сводные данные о распространении видов золотарника в Беларуси до 2020 г. на основе материалов Черной книги и Кадастра растительного мира (местонахождения нанесены черными и зелеными точками) и наших исследований более позднего периода (отмечены красными точками) отражены на рисунке 2.

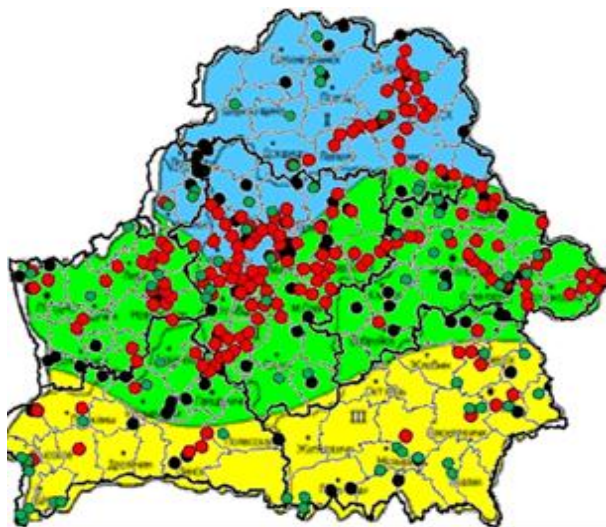


Рисунок 2 – Распространение инвазивных видов рода Золотарник в климатических зонах на территории Беларуси

Из приведенной картосхемы видно, что наиболее плотное скопление популяций золотарника приурочено к начальному этапу его инвазионного распространения в отмечаемой до 2015 г. центральной зоне умеренного климата. В южной и северной части страны их плотность ниже.

Учитывая, что виды золотарника в условиях американской прародины тяготеют к умеренно холодным поясам, следует ожидать, что смещение климатических зон в Беларуси будет способствовать продвижению их экспансии в северные регионы.

Такая ситуация обнаружена нами в северо-восточных регионах Витебской области. Отмечено, что высокая плотность популяций золотарника приводит к активному обмену генетическим материалом между ними вплоть до образования новых форм [6],

предположительно с участием аборигенного вида *Solidago virgaurea* L. Такие признаки микроэволюции свидетельствуют об устойчивом расширении вторичного ареала этого родового комплекса и необходимости принятия неотложных мер по предотвращению экспансии.

Мелколепестник однолетний (*Erigeron annuus* (L.) Desf.) является агрессивным адвентивным видом, который ранее также ограниченно выращивался в декоративных целях. В местах распространения не образует плотных монодоминантных зарослей. Растения разреженно произрастают в луговых сообществах, предпочитают обочины дорог, участки с нерегулярным кошением, рудеральные сообщества и кажутся случайными адвентивными растениями.

Однако в его встречаемости на территории Беларуси просматривается закономерность, указывающая, что здесь этот вид формирует вторичный ареал на участках ландшафта, наиболее соответствующих условиям его естественного распространения на американском континенте.

Как видно из совмещенной картосхемы (рисунок 3), популяции мелколепестника однолетнего на территории Беларуси встречаются не повсеместно. В их распределении выделяются участки повышенной плотности, которые совпадают с расположением возвышенностей.

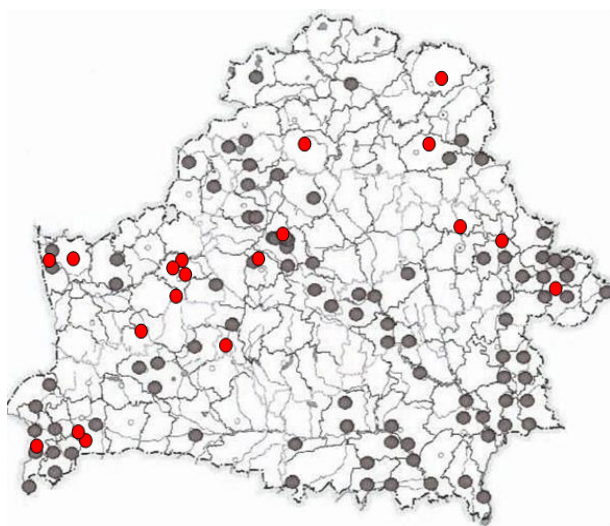


Рисунок 3 – Совмещенная карта распространения мелколепестника однолетнего на территории Беларуси

Они расположены вдоль Волковысской и Новогрудской возвышенностей (Брестско-Ошмянская линия), на Копыльской и Мозырской грядках и отрогах Минской возвышенности (Несвижско-Лепельская линия), Смоленско-Московской, Оршанской и Витебской возвышенностей (Мозырско-Городокская линия).

Такая стратегия распространения мелколепестника однолетнего на возвышенностях в Беларуси совпадает с североамериканской, где его популяции, по данным Oregon Flora [7], сосредоточены преимущественно в горных регионах. Следует ожидать, что и в дальнейшем распространение мелколепестника однолетнего в Беларуси будет продолжаться на возвышенных участках рельефа.

Рудбекия. На 38 участках на территории Беларуси (рисунок 4) нами отмечены устойчивые популяции рудбекии ланцетолистной и ее садовой формы «Золотой шар».



Рисунок 4 – Инвазионное распространение рудбекии ланцетолистной и ее формы «Золотой шар» на территории Беларуси

Рудбекия ланцетолистная (*Rudbeckia laciniata* L.) встречается в озеленении очень редко и не отнесена к категории потенциально инвазивных видов, однако в местах первичного заноса способна образовывать многолетние плотные заросли. Внедряется в луговые сообщества (рисунок 5а) и на современном этапе распространения проявляет себя как потенциально инвазивный вид. Садовая форма рудбекии «Золотой шар» (*Rudbeckia laciniata* var. *hortensia* L.H. Bailey) более активно используется в озеленении сельских населенных пунктов и садоводческих товариществ, откуда расселяется по обочинам дорог (рисунок 5б), образуя монодоминантные заросли. Инвазионная опасность этой формы рудбекии очевидно невысока. В пространственном распределении рудбекии ланцетолистной и ее формы «Золотой шар» на территории Беларуси отмечены два кластера – Гродненско-Минский и Могилевско-Витебский, что, очевидно, связано с традициями в озеленении населенных пунктов и объектов культурного наследия в этих регионах.



а) рудбекия ланцетолистная, обочина дороги (11.08.2019);
б) форма рудбекии «Золотой шар», обочина дороги (11.08.2019)

Рисунок 5 – Инвазионное распространение рудбекии ланцетолистной в окрестностях населенных пунктов

Рудбекия волосистая (*Rudbeckia hirta* L.) используется в озеленении преимущественно на клумбах и в палисадниках в смеси с другими растениями. Способна к натурализации на ксерофитных лугах, где произрастает небольшими группами и предпочитает склоны южной экспозиции. Встречается также на песках у обочин дорог (рисунок 6а). Накопленных данных пока недостаточно для определения истинного инвазивного статуса этого вида.

Симфиотрихум (типовой вид *Symphyotrichum unctuosum* NEES) широко используется в озеленении. Известно более десятка разнообразных видов и садовых гибридов этого позднецветущего растения. В населенных пунктах выращивают пять красиво цветущих форм: симфиотрихум иволистный (*Symphyotrichum* × *salignum* (Willd.) G. L. Nesom), с. ланцетолистный (*Symphyotrichum lanceolatum* (Willd.) G. L. Nesom), симфиотрихум новоанглийский (*Symphyotrichum novae-angliae* (L.) G. L. Nesom), симфиотрихум новобельгийский (*Symphyotrichum novi-belgii* (L.) G. L. Nesom) и симфиотрихум разноцветный (*Symphyotrichum* × *versicolor* (Willd.) G. L. Nesom.), представляющие собой садовые гибриды и имеющие вариации диагностических признаков. Возможно появление инвазионно активных гибридов от скрещивания традиционно выращиваемых таксонов с завозимыми современными сортами.

Симфиотрихум обычно формирует локальные (до 10 м²) монодоминантные заросли по обочинам дорог и в луговых сообществах, однако способен образовывать крупные заросли в поймах малых рек и на временных водотоках (рисунок 6б). Такие факты указывают на активное формирование вторичного ареала этого таксона и необходимость проведения специальных исследований для разработки методов борьбы с инвазионным распространением.



а) рудбекия волосистая, суходольный луг (01.10.2020);
б) симфиотрихум иволистный, пойма р. Мрай, (21.09.2022)

**Рисунок 6 – Распространение рудбекии волосистой
и симфиотрихума иволистного в природных ландшафтах**

Белокопытник гибридный (*Petasites hybridus* (L.) Gaertn., B. Mey. & Scherb.) интродуцирован в Беларуси давно. Потенциально инвазивный вид. Первые гербарные сборы [2] датируются 1779 г. В настоящее время не пользуется популярностью в озеленении, но успешно натурализовался и изредка образует крупные заросли на берегах малых рек, вытесняя луговую растительность (рисунок 7а). В природе распространение вида ограничено супераквальными фациями ландшафта, где он отрицательно реагирует на любое антропогенное воздействие и прессинг пойменных ивняков и черноольшаников. Такое непрочное положение в статусе потенциально инвазивного вида не дает оснований ожидать от него активного расселения.

Космея дваждыперистая (*Cosmos bipinnatus* Cav.) часто выращивается на клумбах и в палисадниках. Способна проявлять инвазионный потенциал (рисунок 7б) и может заселять обочины дорог и нарушенные луговые сообщества. Однако в местах с плотной дерниной космея не выдерживает конкуренции, а натурализация в целом ограничена ввиду отсутствия механизма дальнего распространения семян.



а) инвазионная популяция белокопытника гибридного (а), р. Рута. 23.08.2020;
б) участок натурализации космеи дваждыперистой в рудеральном сообществе. 02.09.2021.

Рисунок 7 – Участки расселения белокопытника гибридного и космеи дваждыперистой

Гайлардия крупноцветковая (*Gaillardia* × *grandiflora* hort. ex Van Houtte). Редко выращивается в населенных пунктах как декоративное растение, но в отдельных случаях (рисунок 8а) небольшими группами способна заселять нарушенные места естественного ландшафта и благоустроенные участки в населенных пунктах (рисунок 8б). Как и предыдущий вид, гайлардия может быть отнесена к категории натурализованных интродуцированных растений. Накопленных данных пока недостаточно для определения истинного инвазионного статуса.



а) гайлардия крупноцветковая на суходольном лугу, 18.06.2019;
б) гайлардия крупноцветковая в селитебном ландшафте, 04.09.2020.

Рисунок 8 – Участки натурализации гайлардии крупноцветковой

Сильфия пронзеннолистная (*Silphium perfoliatum* L.) ограниченно используется как декоративное и лекарственное растение. Натурализуется в местах антропогенного

заноса (рисунок 9а). Данных пока недостаточно для определения истинного инвазионного статуса.

Мордовник шароголовый (*Echinops sphaerocephalus* L.) в населенных пунктах часто используется как декоративное растение. Способен к натурализации в луговых сообществах и на лесных опушках (рисунок 9б), однако сохраняет инвазионный потенциал, очевидно, только вблизи участков культивирования.



а) *сильфия пронзеннолистная*, опушка леса. 07.08.2022;
б) *мордовник шароголовый*, суходольный луг, 26.07.2019.

Рисунок 9 – Участки натурализации *сильфии пронзеннолистной* и *мордовника шароголового*

Подсолнечник клубненосный (*Helianthus tuberosus* L.) в статусе потенциально инвазивного вида [2] не проявляет высокой агрессии. В населенных пунктах встречается преимущественно в частном секторе, где формирует заросли в местах первичного заноса (свалки растительных остатков) и бывших посадок вдоль оград. Агентами распространения считаются грызуны. Однако возрастающая численность популяций вдоль дорог и водотоков свидетельствует о расширении состава распространителей и повышении инвазионного потенциала этого вида.

Гелиопсис подсолнечниковый (*Heliopsis helianthoides* (L.) Sweet) нередко культивируется в деревнях и на городских клумбах. Способен к натурализации и встречается небольшими группами в луговых и рудеральных сообществах только в отдельных регионах (таблица).

Девясил высокий (*Inula helenium* L.) разводят в садах и огородах для употребления в качестве лекарства и просто как красивое растение. Является чужеродным видом выше границы сплошного распространения на черноземах. Часто натурализуется в более северных регионах в местах антропогенного заноса. Данных пока недостаточно для определения истинного инвазионного статуса.

Заключение

Оценивая инвазионный потенциал интродуцированных таксонов семейства Астровые в Беларуси, следует отметить, что наиболее агрессивными инвазивными видами повсеместно являются золотарник канадский, золотарник гигантский и мелколепестник однолетний, к которым необходимо принятие неотложных мер по предотвращению их экспансии. К умеренно агрессивным следует отнести подсолнечник клубненосный и симфиотрихум, в отношении которых требуется разработка методов борьбы с инвазионным распространением. В категории потенциально инвазивных видов сохраняет свой статус белокопытник гибридный. В целом вклад видов этого семейства в со-

временное распространение чужеродных интродуцированных растений во всех административных регионах Беларуси очень значителен и составляет от 60 до 84 %, что указывает на его несомненную инвазионную опасность.

В процессе исследований впервые выполнена оценка инвазионного потенциала менее распространенных цветочно-декоративных растений. В итоге установлено, что к потенциально инвазивным видам на современном этапе приблизились виды рудбекии, в отношении которых требуется проведение мониторинга регионального распространения. Остальные из рассмотренных таксонов с недостаточно определенным инвазионным статусом (гайлардия крупноцветковая, гелиопсис подсолнечниковидный, девясил большой, космея дваждыперистая, мордовник шароголовый, сильфия пронзеннолистная) в селитебных ландшафтах встречаются не повсеместно, не агрессивны, но способны выходить за пределы участков культивирования и требуют уточнения динамики их расселения в нарушенных и естественных ценозах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Козловская, Н. В. Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны / Н. В. Козловская. – Минск : Наука и техника, 1978. – 128 с.
2. Черная Книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.] ; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского. – Минск : Беларус. навука, 2020. – 407 с.
3. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2017 гг. / О. М. Масловский [и др.] ; науч. ред. А. В. Пугачевский. – Минск : Беларус. навука, 2019. – 599 с.
4. Бакей, С. К. Всхожесть семян инвазивных видов растений рода Золотарник (*Solidago*) / С. К. Бакей // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 107–111. – doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-1-107-111
5. Мотыль, М. М. Ассоциированная структура газонно-травяного покрова городского ландшафта / М. М. Мотыль, А. Л. Романюк, В. В. Титок // Наука и инновации. – 2020. – № 10 (212). – С. 68–72.
6. Мотыль, М. М. Инвазия интродуцированных растений в зеленых насаждениях и лесных биогеоценозах в связи с изменением климата Беларуси / М. М. Мотыль, С. К. Бакей, Ю. И. Высоцкий // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Вып. 81. – С. 264–273.
7. *Erigeron annuus* (L.) Pers. [Electronic resource] // Oregon Flora. – Mode of access: <https://oregonflora.org/taxa/index.php?taxon=4897>. – Date of access: 02.12.2022.
8. Виноградова, Ю. К. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России / Ю. К. Виноградова, С. Р. Майоров, Л. В. Хорун. – М. : ГЕОС, 2010. – 512 с.

REFERENCES

1. Kozlovskaja, N. V. Flora Bielorusii, zakonomiarnosti jejo formirovanija, nauchnyje osnovy ispol'zovanija i okhrany / N. V. Kozlovskaja. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1978. – 128 s.
2. Chiornaja Kniga flory Bielarusi: chuzherodnyje vriedonosnyje rastienija / D. V. Dubovik [i dr.] ; pod obshch. ried. V. I. Parfionova, A. V. Pugachievskogo. – Minsk : Bielarus. navuka, 2020. – 407 s.

3. Gosudarstviennyj kadastr rastitel'nogo mira Rjespubliki Bielarus'. Osnovy kadastra. Piervichnoje obsliedovanije 2002–2017 gg. / O. M. Maslovskij [i dr.] ; nauch. ried. A. V. Pugachievskij. – Minsk : Bielarus. navuka, 2019. – 599 s.

4. Bakiej, S. K. Vskhozhest' siemian invazivnykh vidov rastienij roda Zolotarnik (Solidago) / S. K. Bakiej / Vies. Nac. akad. navuk Bielarusi. Sier. bijal. navuk. – 2019. – T. 64, № 1. – S. 107–111. – <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-1-107-111>

5. Motyl', M. M. Associirovannaja struktura gazonno-travianogo pokrova gorodskogo landshafta / M. M. Motyl', A. L. Romanyuk, V. V. Titok // Nauka i innovacii. – 2020. – № 10 (212). – S. 68–72.

6. Motyl', M. M. Invazija introducirovannykh rastienij v zielionyx nasazhdenijakh i liesnykh biogiecenezakh v sviazi s izmienieniem klimata Bielarusi / M. M. Motyl, S. K. Bakiej, Yu. I. Vysockij // Problemy liesoviedienija i liesovodstva : sb. nauch. tr. In-ta liesa Nac. akad. nauk Bielarusi. – 2021. – Vyp. 81. – S. 264–273.

7. Erigeron annuus (L.) Pers. [Elektronnyj riesurs] // Oregon Flora. – Riezhim dostupa: <https://oregonflora.org/taxa/index.php?taxon=4897>. – Data dostupa: 02.12.2022.

8. Vinogradova, Yu. K. Chiornaja kniga flory Sriedniej Rossii: chuzherodnyje vidy rastienij v ekosistiemakh Sriedniej Rossii / Yu. K. Vinogradova, S. R. Majorov, L. V. Khorun. – M. : GEOS, 2010. – 512 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.05.2024

УДК 581.8

Юрий Федорович Рой*канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина***Yuri Roy***Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: med72ved@gmail.com*

АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ СТЕБЛЯ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА И РЕАКЦИЯ ЛУБЯНЫХ ВОЛОКОН НА ОБРАБОТКУ НЕКОТОРЫМИ АГРОХИМИЧЕСКИМИ ПРЕПАРАТАМИ

Рассмотрены анатомическое строение льна-долгунца и реакция анатомических показателей волокон на поперечном срезе на ряд препаратов, внесенных согласно схеме производственных опытов в различные фазы развития. Выявлено, что анатомическое строение стебля льна имеет схожую топографию тканей с большинством стеблей двудольных растений. Отличительными особенностями можно считать наличие мощно развитых групп лубяных волокон и специфическое расположение первичной ксилемы, определяющее тип формирования стебля, а также строение вторичной ксилемы. Проведенные агротехнические мероприятия могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на количественные и качественные показатели волокон, их элементарных компонентов и характер их сложения у льна-долгунца, определяя тем самым меру сложности обработки исходного сырья и качество готовой продукции.

Ключевые слова: лен-долгунец, анатомия растений, лубяные волокна, схема производственного опыта, удобрения, регулятор роста, фазы развития.

The Anatomical Structure of the Flax Stem and the Reaction of bast Fibers to Treatment with Certain Agro-Chemical Preparations

The article considers the anatomical structure of flax and the reaction of anatomical parameters of fibers on a cross-section to a number of preparations introduced according to the scheme of production experiments in various phases of development. It was revealed that the anatomical structure of the flax stem has a similar topography of tissues with most stems of dicotyledonous plants. The presence of powerfully developed groups of bast fibers can be considered distinctive features. The specific location of the primary xylem, which determines the type of stem formation, as well as the structure of the secondary xylem. The conducted agrotechnical measures can have both a positive and a negative impact on the quantitative and qualitative indicators of fibers, their elementary components and the nature of their composition in flax, thereby determining the degree of complexity of processing the raw materials and the quality of finished products.

Key words: flax, plant anatomy, bast fibers, scheme of production experience, fertilizers, growth regulator, phases of development.

Введение

В Беларуси, и в Брестской области в частности, огромное внимание уделяется выращиванию льна-долгунца. Примерно 40 % (2,4 млн га) пахотных земель нашей страны подходит под возделывание этой культуры. Это основная прядильная культура во всех странах с умеренным климатом, возделывание которой дает три ценных вида продукции – волокно, семена и костру. Льняное волокно, благодаря таким технологическим свойствам, как прочность, гибкость, тонины, является незаменимым сырьем для текстильной промышленности. С ботанической точки зрения оно представляет собой длинные мертвые клетки механической ткани склеренхимы, которые группируются в пучки в стебле растения и придают ему прочность и эластичность.

Вышеуказанные свойства волокон определяются прежде всего особенностями их анатомического строения. Важными показателями являются количество пучков, их форма, размеры по длине, ширине и периметру, а также количество элементарных во-

локонцев в пучке и их структура [1–3]. Достижению подобных качеств способствуют множество агротехнических приемов, в число которых входят обработки агрохимическими препаратами.

Цель статьи – исследовать анатомическую структуру льна-долгунца и оценить зависимость воздействия агрохимических препаратов на анатомические показатели волокон льна-долгунца.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлся лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.). При выполнении работы применялись описательный и сравнительно-анатомический методы.

Исследования анатомического строения и корреляции показателей лубяных волокон с обработкой агрохимическими препаратами проводились на образцах стеблей льна-долгунца, выращенного на Дрогичинской межрайонной льносемяннице Брестской обл. Для анатомических исследований в смеси спирта и глицерина были зафиксированы стебли средней части растений, выращенных при оптимальной плотности посадки, принятой в сельском хозяйстве, согласно схемам производственных опытов. Из них по общепринятой в анатомии растений методике [4] были сделаны макро- и микросрезы, изготовлены постоянные препараты, на которых и проводились исследования.

Техническая длина и толщина стеблей лубяных культур во многом определяются сортом и агротехническими условиями. При плотном посеве растения формируют менее разветвленные и более длинные стебли с меньшим диаметром, в то время как при редком посеве стебли становятся толще и более ветвистыми. При одинаковых условиях выращивания более длинные стебли обычно имеют большую толщину.

При посеве и выращивании образцов на пробных площадках достигалась оптимальная плотность, чтобы повысить чистоту эксперимента.

В результате исследований описана анатомическая структура стебля льна-долгунца в условиях юго-запада Беларуси, получены количественные и качественные показатели волокон и их элементарных элементов, отличающиеся рядом показателей у особей, обработанных выбранными препаратами.

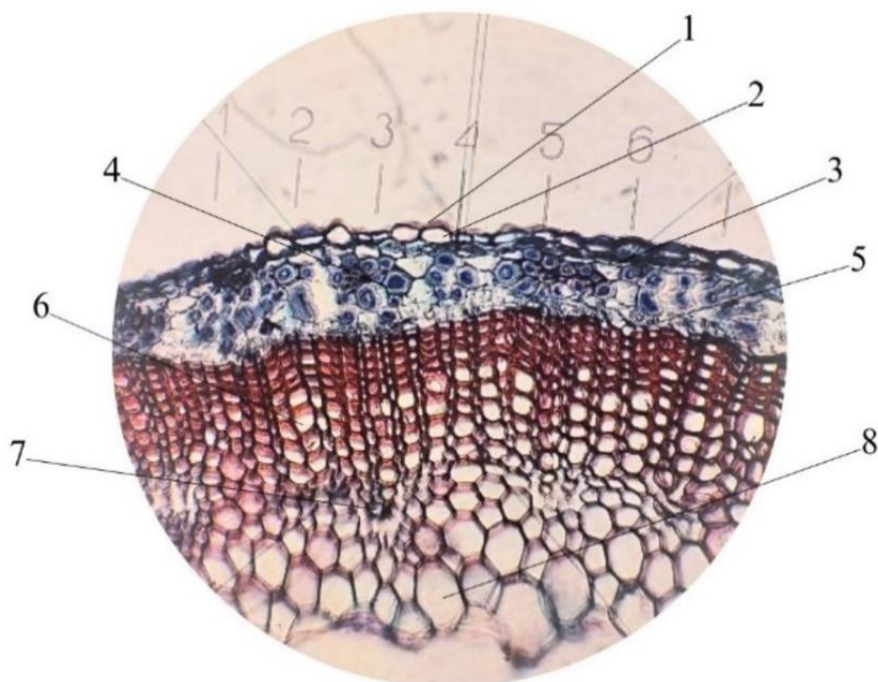
Результаты и их обсуждение

Анатомическое строение стебля льна в условиях юго-запада Беларуси.

Анализ анатомического строения однолетнего стебля показал, что топография тканей стебля льна-долгунца схожа с топографией тканей стеблей многих двудольных растений. Особенностью является мощное развитие склеренхимных волокон в первичной коре.

Снаружи стебель льна-долгунца покрыт одним слоем клеток эпидермы, наружная стенка клеток несколько утолщена, ее ширина составляет около 4 мкм, а внутренняя и боковая стенки имеют толщину не более 2 мкм, латеральный размер клеток достигает 22 мкм, а тангенциальный – 33 мкм. Снаружи эпидерма покрыта кутикулой, толщина которой составляет 2,5–3 мкм. Эпидерма укрывает паренхиму первичной коры, клетки этой ткани тонкостенны, толщина клеток не превышает 1 мкм. Размеры и формы клеток сильно варьируют, в основном они имеют уплощенную форму в радиальном направлении и их диаметр колеблется от 10 до 25–30 мкм (рисунок 1).

Внутри клеток хорошо заметны остатки протоплазмы с включениями, в стенках заметна очередная поровость. Слой первичной коры достигает ширины 120–150 мкм и образован тремя-четырьмя иногда пятью слоями клеток. В толще первичной коры располагается первичная склеренхима, это комплекс толстостенных клеток, которые выполняют механическую функцию и определяют прочность стебля.



1 – кутикула; 2 – эпидермис; 3 – коровая паренхима; 4 – лубяные волокна;
5 – камбий; 6 – вторичная ксилема; 7 – первичная ксилема; 8 – сердцевина

Рисунок 1 – Фрагмент поперечного среза стебля льна-долгунца

Склеренхимные волокна льна имеют первичное происхождение, образуются на ранних этапах роста стебля. Склеренхима позволяет молодому стеблю сохранять положение еще до формирования кольца ксилемы, именно эта ткань является ценным компонентом изучаемой нами культуры. Формирование механических волокон начинается через неделю после появления всходов. Основная часть волокон формируется в период быстрого роста стебля, этот процесс заканчивается в период цветения и ранней желтой спелости, когда происходит их созревание [5].

На ранних этапах волокна тонкостенные, с большой внутренней полостью, содержащей протопласт с многочисленными ядрами. Активный рост стенок волокон происходит в период цветения и при переходе к ранней желтой спелости. По мере роста полость клетки уменьшается, в некоторых случаях до точечной. На поперечном срезе волокна многогранной формы, чаще всего пятигранные; их диаметр варьирует от 25 до 45 мкм, толщина стенок – от 3 до 10 мкм, внутренняя полость – от 3 до 18 мкм.

Волокна между собой скреплены срединными пластинками, разрушение которых происходит в процессе мацерации, состоят они в основном из пектиновых веществ, первичная стенка представлена целлюлозой, гемицеллюлозой, пектином и часто лигнифицируется. Вторичная стенка состоит в основном из трех слоев целлюлозы, отличающихся различными показателями светопреломления. Образованные слои состоят из спирально закрученных фибрилл, волокна собраны в группы по 5–20 клеток и имеют колоссальную длину (около 20–30 мм), а иногда и значительно больше. Группы волокон прерывают схожие по размерам или меньших размеров группы клеток паренхимы первичной коры.

Под волокнами располагается несколько слоев клеток первичного луба, в конце вегетационного сезона клетки этой ткани сильно деформированы в радиальном направлении (до 10–15 мкм), а тангенциальные размеры могут достигать 25–30 мкм. Элементы вторичного луба состоят из ситовидных трубок диаметром 20–30 мкм, которые

осуществляют транспорт ассимилятов и чередующихся с участками сильно деформированных клеток лучевой паренхимы. Они также тонкостенны, имеют неправильную форму, большую вариацию размеров клеток, расположены напротив лучевой паренхимы вторичной ксилемы и сильно дилатируют (рисунок 1).

Все вышерассмотренные ткани относятся к коровой части стебля, между флоэмой и ксилемой располагается камбий. Непосредственно камбий представлен одним слоем клеток, радиальный размер которых составляет 5–6 мкм, тангенциальный – 10–20 мкм. Тангенциальный размер клеток камбия совпадает с таковым у элементов вторичной ксилемы и вторичной флоэмы. К моменту созревания стебля клетки камбия, как правило, отмирают [3]. Элементы вторичной ксилемы располагаются ровным слоем в радиальном направлении, диаметр сосудов ранней ксилемы – 20–22 мкм, они округлой формы, тонкостенные (толщина стенок не превышает 2,5 мкм). Сосуды поздней ксилемы имеют радиальные размеры не более 12 мкм, а тангенциальные – не более 15 мкм, толщина стенок 3–4 мкм. Элементы лучевой паренхимы ведут себя двояко: в одном случае имеют одинаковые размеры в ранней и поздней ксилеме, но чаще всего наблюдается незначительное увеличение диаметра клеток в поздней древесине. Средний диаметр клеток лучевой паренхимы 8–12 мкм.

Вторичную ксилему окаймляют отдельные группы элементов первичной ксилемы, находящиеся на расстоянии около 160–200 мкм друг от друга по кольцу. Расположение этих элементов отдельными пучками говорит о типе формирования стебля льна на основе прокамбиальных пучков. Перимедуллярная зона представлена паренхимными клетками диаметром не более 10–20 мкм, толщина стенок – 1,5–2 мкм, клетки неправильной формы, ширина перимедуллярной зоны не превышает 40 мкм, в центре располагаются крупные клетки сердцевины, клетки многогранные, неправильной формы, диаметром 40–65 мкм, плотно сомкнуты. К концу вегетационного сезона центральная часть стебля лизируется.

Биометрическая характеристика лубяных волокон льна-долгунца.

Качество и количество волокна льна напрямую зависят от способов возделывания этой культуры, а реакция анатомической структуры является наглядным тому подтверждением. В этом направлении опубликованы многочисленные работы [5–8].

Наше исследование структуры стебля льна было направлено на выявление корреляции между внесением некоторых препаратов и показателями лубяных волокон на поперечном срезе стебля. Схемы производственных опытов по возделыванию льна-долгунца отражены в таблице 1. На Дрогичинской льносемянной станции на разных стадиях роста льна-долгунца для выявления реакции были внесены следующие препараты согласно схемам опытов (таблица 1).

Таблица 1 – Схема производственного опыта по возделыванию льна-долгунца, (Дрогичинская межрайонная льносемянная станция)

Опыт 1 (Др-1)

Фазы развития	Наименование препарата	Норма расхода, л/га	Примечания
Всходы	Удобрение «Гидрогумат калия»	2,0	–
	Удобрение «Экогум» марки «БИО»	2,0	
	Удобрение «Экогум» марки «Цинк»	1,0	
Елочка	Экосил ВЭ	0,1	+ гербицид
	Удобрение «Иммуноакт ГК»	1,0	
Елочка, начало быстрого роста	Удобрение «Мультилен»	1,0	+ грамминицид
Бутонизация	Удобрение «Мультилен»	1,0	–

Опыт 2 (Др-2)

Фазы развития	Наименование препарата	Норма расхода, л/га	Примечания
Всходы	Удобрение «Экогум» марки «БИО»	3,0	–
	Удобрение «Экогум» марки «Цинк»	1,0	
Елочка	Удобрение «Экогум» марки «ПМКТ фосфор»	1,0	+ гербицид
Елочка, начало быстрого роста	Микроудобрение «МикроСил Бор»	0,5	+ грамминицид
	Удобрение «Экогум» марки «Цинк»	1,0	
	Удобрение «Экогум» марки «Марганец»	0,5	
Бутонизация	Удобрение «Экогум» марки «ФК»	1,0	–

Опыт 3 (Др-3)

Фазы развития	Наименование препарата	Норма расхода, л/га	Примечания
Всходы	Удобрение «Экогум» марки «БИО»	6,0	–
	Удобрение «Экогум» марки «Цинк»	2,0	
Елочка	Удобрение «Экогум» марки «ПМКТ фосфор»	2,0	+ гербицид
Елочка, начало быстрого роста	Микроудобрение «МикроСил Бор»	1,0	+ грамминицид
	Удобрение «Экогум» марки «Цинк»	2,0	
	Удобрение «Экогум» марки «Марганец»	1,0	
Бутонизация	Удобрение «Экогум» марки «ФК»	2,0	–

Опыт 4 (Др 4)

Фазы развития	Наименование препарата	Норма расхода, л/га	Примечания
Всходы	Удобрение «Экогум» марки «БИО»	6,0	–
	Удобрение «Экогум» марки «Цинк»	3,0	
	Регулятор роста растений «Экосил ВЭ»	0,05	
Елочка	Регулятор роста растений «Экосил ВЭ»	0,05	+ гербицид
	Удобрение «Экогум» марки «ПМКТ фосфор»	1,0	
Елочка, начало быстрого роста	Удобрение «Экогум» марки «БИО»	1,0	+ грамминицид
	Удобрение «Мультилен»	2,0	
	Удобрение «Иммуноакт» ГК	1,0	
Бутонизация	Удобрение «Мультилен»	1,0	
	Удобрение «Экогум» марки «ФК»	0,5	
	Регулятор роста растений «Экосил ВЭ»	0,05	

Опыт 5 (Др-5)

Фазы развития	Наименование препарата	Норма расхода, л/га	Примечания
Всходы	Удобрение «Экогум» марки «БИО»	7,0	–
	Удобрение «Экогум» марки «Цинк»	3,0	
	Регулятор роста растений «Экосил ВЭ»	0,05	
Елочка	Регулятор роста растений «Экосил ВЭ»	0,05	+ гербицид
	Удобрение «Экогум» марки «ПМКТ фосфор»	1,0	
Елочка, начало быстрого роста	Удобрение «Экогум» марки «БИО»	2,0	+ грамминицид
	Удобрение «Мультилен»	3,0	
	Удобрение «Иммуноакт» ГК	1,0	
Бутонизация	Удобрение «Мультилен»	1,0	–
	Удобрение «Экогум» марки «ФК»	1,0	
	Регулятор роста растений «Экосил ВЭ»	0,05	

Анализ постоянных препаратов показал, что самый широкий слой лубяных волокон наблюдался в образце «Др-5», его размер составил 154 мкм. Но в это же время

количество волокон в группе в этом образце самое наименьшее и равняется 12. Такой показатель, как ширина слоя волокон, не всегда может отражать количество исходного волокна, т. к. клетки могут быть расположены достаточно рыхло по отношению друг к другу, волокна могут быть одиночными и крупными, как в случае с образцом «Др-5». Наибольшее количество волокон наблюдалось в образце «Др-4»: в пучке насчитывалось до 40 волокон (таблица 2). При этом ширина слоя (кольца) волокон составляет 104,72 мкм и была ниже, чем в контроле. Кроме того, в этом образце наблюдается наибольшая плотность волокон.

Содержание волокна в стеблях льна напрямую связано с количеством пучков и размерами волокон, присутствующих на срезе. Качество льняного волокна определяется формой пучков, диаметром и однородностью волокон в составе пучков. Высококачественное волокно обычно происходит от образцов с пучками правильной удлиненно-овальной формы с ровными краями. При этом волокна должны быть мелкими и однородными по размеру. Образцы с круглыми или полиморфными волокнами, собранными в пучки с неровными краями, часто приводят к волокну низкого качества. Прочность зависит от толщины клеточной стенки элементарных волокон [10].

В нашем случае наибольшую толщину клеточной стенки имеет образец «Др-4» – 10,56 микрометров и «Др-контр.» – 10,42 мкм, наименьшую – образцы «Др-1», толщина клеточной стенки у них составляет 3,94 мкм (таблица 2).

Таблица 2 – Количественные показатели лубяных волокон стебля льна-долгунца после обработки препаратами согласно схемам опытов

Показатель							
Опыт	Ширина слоя волокон, мкм	Средний диаметр волокон, мкм	Вариация размеров волокон, мкм	Толщина стенок, мкм	Диаметр просвета, мкм	Размеры групп, мкм	Количество волокон в группе
Др-1	54,56	21,78	16,5 – 23,76	3,94	8,36	54,56 – 129,36	15
Др-2	63,36	13,2	12,76 – 16,94	4,84	5,06	63,36 – 132	19
Др-3	61,6	20,54	10,12 – 22	7,48	4,28	61,6 – 141,68	24
Др-4	104,72	23,76	17,94 – 26,9	10,56	3,1	104,72 – 237,6	41
Др-5	154	47,3	12,76 – 47,74	6,82	9,21	154 – 101,2	12
Др-контр.	129,36	32,34	24,64 – 48,84	10,42	6,76	129,36 – 142,38	26

Гибкость нитей коррелирует с размерами просветов его элементарных волокон и структурой пучков. Варианты с более узкими просветами и однотипными размерами более гибкие. У образцов «Др-3» и «Др-4» волокна можно считать самыми гибкими, т. к. эти образцы имеют наименьшие просветы, диаметры которых составляют в среднем 4,28 мкм и 3,9 мкм соответственно.

Полученные результаты анализа биометрических показателей лубяных волокон показывают, что на характер расположения групп волокон положительно влияют препараты: «Экогум» марки «БИО», марки «Цинк» и регулятор роста «Экосил ВЭ», внесенные в момент всходов растения; внесение удобрения «Экогум» марки «ПМКТ фосфор» и повторное внесение регулятора роста «Экосил ВЭ» в фазе «елочки»; удобрения «Экогум» марки «БИО», «Мультилен» и «Иммуноакт ГК» в фазе быстрого роста; вне-

сенные в фазе бутонизации «Мультилен», «Экогум» марки «ФК» и регулятор роста «Экосил ВЭ».

Отсутствие реакции показали: внесенные в период всходов удобрения «Экогум» двух марок – «БИО» и «Цинк»; в фазе «елочки» – удобрение «Экогум» марки «ПМКТ фосфор»; в фазе «елочки» и начале быстрого роста добавленные удобрения «Экогум» двух марок – «Цинк» и «Марганец» и включенное в фазу бутонизации удобрение «Экогум» марки «ФК».

Заклучение

В ходе нашего исследования мы выяснили, что анатомическое строение стебля льна имеет схожую топографию тканей с большинством стеблей двудольных растений. Отличительными особенностями этого вида можно считать наличие мощно развитых волокон первичного происхождения, специфику их заложения, особенности строения вторичной ксилемы, имеющей отличия в ранней и поздней древесине, а также специфическое расположение первичной ксилемы, свидетельствующее о типе формирования стебля.

Проведенные агротехнические мероприятия могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на количественные и качественные показатели волокон, их элементарных компонентов и характер их сложения у льна-долгунца, определяя тем самым сложность обработки исходного сырья и качество готовой продукции. Наилучшая реакция лубяных волокон в направлении однотипности, эластичности и прочности, исходя из характеристик на поперечном срезе, наблюдается при внесении препаратов согласно схемам производственных опытов «Др-3» и «Др-4». После применения этих схем лубяные волокна уменьшают общий диаметр и диаметр просветов, их размеры и толщина стенок становятся приближенными к однотипным, а тяжи волокон не имеют угловатых очертаний.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ДР-1 – Дрогичинская межрайонная льносемстанция (опыт 1);
ДР-2 – Дрогичинская межрайонная льносемстанция (опыт 2);
ДР-3 – Дрогичинская межрайонная льносемстанция (опыт 3);
ДР-4 – Дрогичинская межрайонная льносемстанция (опыт 4);
ДР-5 – Дрогичинская межрайонная льносемстанция (опыт 5);
ДР-контр. – Дрогичинская межрайонная льносемстанция (контрольный опыт);
Мкм – микрометры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тихвинский, С. Ф. Изучение качества прядильного льна / С. Ф. Тихвинский. – Л. : Колос, 1978. – 111 с.
2. Мельников, А. Н. Сравнительная анатомия стебля льна-долгунца в связи с процентом выхода волокна / А. Н. Мельников // Тр. по приклад. ботанике, генетике и селекции. – Л., 1929. – Т. 11, вып. 1. – С. 79–85.
3. Льноводство / А. Р. Рогаш [и др.] – М. : Колос, 1967. – 583 с.
4. Прозина, М. Н. Ботаническая микротехника / М. Н. Прозина. – М. : Высш. шк., 1960. – 206 с.
5. Сизов, И. А. Динамика образования лубоволокнистых пучков в стебле различных сортов льна в зависимости от условий выращивания / И. А. Сизов // Тр. по приклад. ботанике, генетике и селекции. – 1952. – Т. 29, вып. 2. – С. 52–61.

6. Гращенко, М. Г. Влияние некоторых условий выращивания льна на метрический номер волокна / М. Г. Гращенко // Тр. по приклад. ботанике, генетике и селекции. – 1970. – Т. 42, вып. 1. – С. 138–147.

7. Голуб, И. А. Инновационные приемы выращивания льна-долгунца / И. А. Голуб, Д. П. Чирик, Н. В. Степанова // Инновационные разработки АПК: резервы снижения затрат и повышения качества продукции : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 12–13 июля 2018 г., аг. Тулово / Нац. акад. наук Беларуси, Витеб. зонал. ин-т сельс. хоз-ва ; ред.: О. И. Борисенко [и др.]. – Минск, 2018. – С. 19–22.

8. Снежинский, А. А. Эффективность микробиологических и гуминовых препаратов белорусского производства в технологии возделывании льна-долгунца : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / А. А. Снежинский. – Устье, 2023. – 164 л.

9. Сафина, Н. З. Источники высокого качества волокна для селекции льна-долгунца, выделенные с использованием анатомического метода : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.05 / Н. З. Сафина. – Киров, 2003. – 114 л.

REFERENCES

1. Tikhvinskij, S. F. Izuchienije kachiestva priadil'nogo l'na / S. F. Tikhvinskij. – L. : Kolos, 1978. – 111 s.

2. Miel'nikov, A. N. Sravnitel'naja anatomija stieblia l'na-dolgunca v sviazi s procentom vykhoda volokna / A. N. Miel'nikov // Tr. po priklad. botanikie, gienetikie i sieliekcii. – L., 1929. – Т. 11, вып. 1. – С. 79–85.

3. L'novodstvo / A. R. Rogash [i dr.] – M. : Kolos, 1967. – 583 s.

4. Prozina, M. N. Botanichieskaja mikrotiekhnika / M. N. Prozina. – M. : Vyssh. shk., 1960. – 206 s.

5. Sizov, I. A. Dinamika obrazovanija lubovoloknistykh puchkov v stieblie razlichnykh sortov l'na v zavisimosti ot uslovij vyrashchivanija / I. A. Sizov // Tr. po priklad. botanikie, gienetikie i sieliekcii. – 1952. – Т. 29, вып. 2. – С. 52–61.

6. Grashchienko, M. G. Vlijanije niekotorykh uslovij vyrashchivanija l'na na mietrichieskij nomier volokna / M. G. Grashchienko // Tr. po priklad. botanikie, gienetikie i sieliekcii. – 1970. – Т. 42, вып. 1. – С. 138–147.

7. Golub, I. A. Innovacionnyje prijomy vyrashchivanija l'na-dolgunca / I. A. Golub, D. P. Chirik, N. V. Stiepanova // Innovacionnyje razrabotki APK: rieziervy snizhenija zatrat i povyshenija kachiestva produkci : matierialy Miezhhdunar. nauch.-prakt. konf., 12–13 ijulia 2018 g., ag. Tulovo / Nac. akad. nauk Bielarusi, Vitieb. zonal. in-t siel's. khoz-va ; ried.: O. I. Borisionok [i dr.]. – Minsk, 2018. – С. 19–22.

8. Sniezhinskij, A. A. Effiektivnost' mikrobiologichieskikh i guminovykh prieparatov bielorussskogo proizvodstva v tiekhnologii vozdielyvanii l'na-dolgunca : dis. ... kand. s.-kh. nauk : 06.01.09 / A. A. Sniezhinskij. – Ust'je, 2023. – 164 l.

9. Safina, N. Z. Istochniki vysokogo kachiestva volokna dla sieliekcii l'na-dolgunca, vydieliennyje s ispol'zovanijem anatomichieskogo mietoda : dis. ... kand. s.-kh. nauk : 06.01.05 / N. Z. Safina. – Kirov, 2003. – 114 l.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 11.09.2024

УДК 576.895.1:599.32:626.861 (476)

Владимир Васильевич Шималов

канд. биол. наук, доц., доц. каф. общеобразовательных дисциплин и методик их преподавания
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Vladimir Shimalov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of General Education Disciplines
and Methods of Teaching Them
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: shimalov@rambler.ru

ГЕЛЬМИНТОФАУНА МЕЛКИХ ГРЫЗУНОВ, НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА КАНАЛОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

Представлены результаты третьего периода исследований (2015–2019 гг.) гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега осушительных каналов на модельных мелиоративных системах в Брестском Полесье. Поймано 510 зверьков 8 видов. Их численность составила 12,75 особей на 100 ловушко-суток, а общая зараженность гельминтами – 65,9 %. Идентифицировано 34 вида гельминтов (7 видов трематод, по 13 видов цестод и нематод, 1 вид акантоцефалов). Акантоцефал Moniliformis moniliformis (Bremser, 1811) (хозяин – полевая мышь) является новым видом гельминтов для Беларуси. Для 5 видов гельминтов установлены новые в Беларуси хозяева. Обнаружено 9 видов гельминтов, имеющих медицинское значение и 6 видов, имеющих ветеринарное значение. Полученные результаты сравниваются с данными первого и второго периодов исследований.

Ключевые слова: гельминты, грызуны, берег мелиоративного канала, Брестское Полесье.

The Helminth Fauna of Small Rodents Living on Channel Banks of Reclamation Systems in Belorussian Polesie

The results of the 3rd period of research (2015–2019) of the helminth fauna of small rodents living on the drainage channel banks of model reclamation systems in Brest Polesie are presented. 510 animals of 8 species were caught. Their number was 12,75 individuals per 100 trap-days, and the total infection by helminths was 65,9 %. 34 species of helminths were identified (7 trematode species, 13 cestode species, 13 nematode species, 1 acanthocephalan species). Acanthocephalan Moniliformis moniliformis (Bremser, 1811) (host – striped field mouse) is a new helminth species for Belarus. New hosts in Belarus have been identified for 5 species of helminths. 9 species of helminths of medical significance and 6 species of veterinary significance were discovered. The results obtained are compared with the data of the 1st and 2nd research periods.

Key words: helminths, rodents, drainage channel bank, Brest Polesie.

Введение

Интерес к мелиоративным системам в Беларуси в 2020-х гг. увеличился в связи с необходимостью более широкого использования мелиорированных территорий в сельском хозяйстве (растениеводство, животноводство) [1; 2]. Крупномасштабная осушительная мелиорация, проведенная в 1960–80-х гг. на территории Белорусского Полесья, привела к трансформации многих природных экосистем. Появившаяся сеть мелиоративных каналов значительно изменила естественные ландшафты этого региона Беларуси. Каналы, как новые экологические ниши, стали заселяться живыми организмами, включая мелких грызунов со своим комплексом гельминтов, среди которых есть виды, имеющие медико-ветеринарное значение.

Начиная с 1996 г. нами на мелиоративных системах, расположенных в Брестском Полесье (Брестский, Жабинковский и Малоритский районы Брестской обл.), проводится периодическое гельминтологическое исследование мелких грызунов, населяющих берега осушительных каналов. Осуществлено два периода исследований: 1996–1999 гг. (первый период, фундаментальное исследование) [3] и 2005–2010 гг. (второй период, мониторинговое исследование) [4].

На берегах мелиоративных каналов, проходящих в смешанных лесах, на пахотных землях, выгонах и вдоль дорог, было отработано 15 500 ловушко-суток (л-с), установлено обитание 13 видов мелких грызунов, у которых обнаружено 47 видов гельминтов. В первый период общая зараженность гельминтами этих зверьков (11 видов) составила 64,7 % [3], а во второй (10 видов) – 56,0 % [4]. Доминировали обыкновенные полевки и полевые мыши. На берегах каналов в смешанных лесах фоновыми видами были рыжие полевки (два периода) и желтогорлые мыши (первый период), на пахотных землях – обыкновенные полевки (первый период) и полевые мыши (два периода), на выгонах и у дорог – обыкновенные полевки (два периода). В заражении каждого вида грызунов преобладал свой специфический вид гельминтов. Например, у рыжих полевок – это нематода *Heligmosomum mixtum* Schulz, 1954, у обыкновенных полевок – цестода *Paranoplocephala omphalodes* (Hermann, 1783) и нематода *Syphacia nigeriana* Baylis, 1928, у полевых мышей – нематода *Heligmosomoides polygyrus* (Dujardin, 1845), у желтогорлых мышей – нематоды *H. polygyrus*, *Syphacia frederici* Roman, 1945 и *S. stroma* (Linstow, 1884), у лесных мышей – нематода *S. stroma*. После первого периода исследований было предложено рассматривать каналы на мелиорированных территориях как одни из потенциальных очагов гельминтозов, имеющих медико-ветеринарное значение, и организовать там постоянный эколого-паразитологический мониторинг за гельминтофауной мелких грызунов [3]. Это позволило установить, что зараженность мелких грызунов гельминтами, имеющими медицинское значение, может превышать 9 % [4], а также выявить 6 видов гельминтов, имеющих ветеринарное значение [3; 4].

Цель работы – провести третий (мониторинговый) период исследований гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега каналов на модельных мелиоративных системах в Брестском Полесье, установить видовой состав гельминтов и зараженность ими мелких грызунов в условиях усилившейся антропогенной нагрузки на каналы, связанной с выкашиванием травянистой растительности на берегах и склонах каналов специальной техникой, сравнить полученные данные с предыдущими периодами исследований.

Материалы и методы исследования

В 2015–2019 гг. был проведен третий период исследований гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега осушительных каналов на модельных мелиоративных системах Брестского Полесья (Брестский, Жабинковский и Малоритский районы Брестской обл.), там, где на берегах каналов уже ранее осуществлялись подобные исследования [3; 4]. Были обследованы берега каналов, проходящих в смешанных лесах, на пахотных землях, выгонах, у грунтовых и асфальтированных дорог с разной степенью антропогенной нагрузки, связанной с выкашиванием травянистой растительности специальной техникой. Мы обратили внимание, что только берега и склоны каналов на пахотных землях, выгонах и у дорог периодически выкашивались.

Стандартно, как и в предыдущие периоды исследований, нами выставлялись вдоль берегов каналов через 1,5–2 м друг от друга давилки «Геро» по 25 штук на четыре дня, что равнялось 100 л-с. Отработано 4 000 л-с: по 1 000 л-с на берегах каналов в смешанных лесах, на пахотных землях, выгонах и у дорог. Традиционно приманкой были кусочки ржаного хлеба, порезанного кубиками, слегка обжаренные на подсолнечном масле. Отловлено 510 мелких грызунов, относящихся к восьми видам. Среди них оказалось 244 самца и 266 самок, 285 половозрелых особей и 225 неполовозрелых особей. Видовой состав, количество исследованных и зараженных гельминтами мелких грызунов представлены в таблице 1.

Животных исследовали методом полных гельминтологических вскрытий, применяя компрессирование тканей и органов. Идентификация гельминтов проводилась по литературе, приведенной в наших ранее опубликованных работах [3; 4].

При обработке материала использовали следующие показатели: экстенсивность инвазии (ЭИ), соответствующая индексу встречаемости (ИВ) [3; 4], интенсивность инвазии (ИИ) и индекс обилия (ИО).

Таблица 1 – Видовой состав, количество исследованных и зараженных гельминтами мелких грызунов

Вид животного	Количество												
	исследованных				на 100 л-с	зараженных							
	♂♂	♀♀	П	НП		♂♂	♀♀	П	НП	Т	Ц	Н	А
Соня орешниковая – <i>Muscardinus avellanarius</i> Linnaeus, 1758	1	–	–	1	0,025	–	–	–	–	–	–	–	–
Полевка обыкновенная – <i>Microtus arvalis</i> Pallas, 1778	76	96	55	117	4,3	63	73	49	87	2	60	113	–
Полевка-экономка – <i>M. oeconomus</i> Pallas, 1776	21	41	29	33	1,55	9	20	19	10	12	12	15	–
Полевка рыжая – <i>Myodes glareolus</i> (Schreber, 1780)	47	46	64	29	2,325	34	31	54	11	4	27	58	–
Мышь полевая – <i>Apodemus agrarius</i> Pallas, 1771	50	40	70	20	2,25	32	20	41	11	2	10	49	1
Мышь желтогорлая – <i>A. flavicollis</i> Melchior, 1884	40	39	59	20	1,975	26	25	40	11	1	27	31	–
Мышь лесная – <i>A. sylvaticus</i> Linnaeus, 1758	7	4	7	4	0,275	1	2	2	1	–	1	2	–
Мышь домовая – <i>Mus musculus</i> Linnaeus, 1758	2	–	1	1	0,05	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание – Символом ♂♂ обозначены самцы, ♀♀ – самки, П – половозрелые особи, НП – неполовозрелые особи, Т – трематоды, Ц – цестоды, Н – нематоды, А – акантоцефалы.

Результаты исследования и их обсуждение

По нашим наблюдениям, численность мелких грызунов на берегах мелиоративных каналов довольно высокая: в первый период исследований она составила 12,31 особь на 100 л-с, потом во втором периоде увеличилась до 18,7, а в третьем уменьшилась до 12,75. В целом доминируют обыкновенные полевки: 4,79; 4,92 и 4,3 особи на 100 л-с соответственно по периодам исследований. Они отдают предпочтение открытым пространствам, являясь в третьем периоде исследований фоновыми видами среди мелких грызунов на берегах каналов на пахотных землях (10,3 особи на 100 л-с)

и выгонах (5,3 особи на 100 л-с), а у дорог отдали доминирующее положение полевой мыши (4,2 особи на 100 л-с, тогда как у обыкновенной полевки – 1,6 особей на 100 л-с).

Обобщая три периода исследований, можно констатировать, что на берегах каналов в смешанных лесах фоновыми видами среди мелких грызунов являются рыжие полевки и желтогорлые мыши, на пахотных землях – обыкновенные полевки и полевые мыши, на выгонах – обыкновенные полевки (здесь в третьем периоде увеличилась численность полевки-экономки до 2,9 особей на 100 л-с), у дорог – обыкновенные полевки и полевые мыши (первые доминировали в двух первых периодах исследований, а вторые увеличили численность в третьем периоде; здесь в третьем периоде также увеличилась численность полевки-экономки до 1,8 особей на 100 л-с).

Всего за три периода исследований на берегах мелиоративных каналов нами было отловлено 13 видов мелких грызунов. Пять видов грызунов, появившихся в наших сборах в первом и втором периодах, исчезли в третьем. Это водяная крыса (первый период), темная полевка (второй периода), мышь-малютка (первый период), серая крыса (два периода), лесная мышовка (второй период). Орешниковая соня и домовая мышь отмечаются на берегах каналов периодически: первый вид единично на одном и том же берегу канала в смешанном лесу в первый и третий периоды исследований, а второй вид – на берегах каналов на пахотных землях (четыре экземпляра во второй период), выгонах (один экземпляр во второй период), у дорог (четыре экземпляра во второй период, два экземпляра в третий период).

Общая зараженность мелких грызунов гельминтами остается высокой. Она снизилась с 64,7 % в первом периоде до 56,0 % во втором, а потом увеличилась до 65,9 % в третьем. Самцы немного более чаще, чем самки, заражаются гельминтами (соответственно на 66,1 и 62,9 % в первом периоде; 56,5 и 55,4 % во втором; 67,6 и 64,3 % в третьем). А вот зараженность половозрелых особей значительно превышает таковую неполовозрелых. Разность в зараженности в 1,2 раза в первом периоде (72,1 % против 59,9 %) увеличилась в 1,5 раза во втором периоде (67,1 % против 45,6 %) и опять вернулась к 1,2 в третьем периоде (71,9 % против 58,2 %). Инвазированность мелких грызунов нематодами доминирует во все периоды исследований (50,7, 42,6 и 52,6 % соответственно по периодам). На втором месте находится зараженность цестодами (28,9, 22,0 и 26,9 %), на третьем – зараженность трематодами (3,5, 4,3 и 4,1 %) и как исключение – зараженность акантоцефалами (0,2 % только в третьем периоде исследований).

Интересно, что в местах, где во втором и с увеличением в третьем периодах проводится периодическое выкашивание травянистой растительности специальной техникой на берегах и склонах каналов (пахотные земли, выгоны, дороги), численность, видовой состав мелких грызунов и их общая зараженность гельминтами варьируют. Так, численность на 100 л-с уменьшилась на берегах каналов на пахотных землях (с 22 до 19 особей) и у дорог (с 14,1 до 10,6 особей), а на выгонах осталась примерно одинаковой (9,6 и 9,7 особей). Количество видов грызунов уменьшилось на берегах каналов на пахотных землях (с 9 до 6) и выгонах (с 6 до 4), а у дорог осталось на прежнем уровне (7 видов). Общая зараженность гельминтами увеличилась в 1,5 раза на пахотных землях (с 51,5 % до 76,8 %), тогда как на выгонах и у дорог уменьшилась (соответственно с 64,0 % до 61,9 % и с 53,9 % до 49,1 %). Там, где выкашивание растительности не проводится (берега и склоны каналов в смешанных лесах), численность и видовой состав мелких грызунов уменьшились (соответственно с 28,2 до 11,7 особей и с 6 до 3 видов), а общая зараженность гельминтами увеличилась с 58,3 % до 66,7 %.

Если в первом периоде у 23,3 %, а во втором у 18,7 % зверьков были выявлены гельминтоценозы (совместное обитание двух–пяти видов гельминтов у одной особи), то в третьем – у 27,3 % (два–четыре вида гельминтов).

Количество идентифицированных видов гельминтов по периодам исследований колебалось от 38 до 41 и 34. В третий период среди 34 видов гельминтов было 7 видов трематод, по 13 видов цестод и нематод, один вид акантоцефалов (таблица 2). Больше всего видов гельминтов (13) найдено у рыжей полевки (заражено 69,9 % зверьков). Далее по убыванию идут желтогорлая мышь (11 видов, заражено 64,6 %), полевая мышь (10 видов, заражено 57,8 %), обыкновенная полевка (9 видов, заражено 79,1 %), полевка-экономка (8 видов, заражено 46,8 %), лесная мышь (2 вида, заражено 27,3 %). Незараженными оказались орешниковая соя (один неполовозрелый самец) и домовая мышь (2 самца – половозрелый и неполовозрелый).

Большинство гельминтов локализовалось в пищеварительном тракте (кишечник, желудок, слепая кишка), а личинки (мезоцеркарии) трематоды *Alaria alata* (Goeze, 1782) – в легких и жировых отложениях на шее и спине, личинки цестод *Cladotaenia globifera* (Batsch, 1786), *Taenia mustelae* Gmelin, 1790 и *T. taeniaeformis* (Batsch, 1786) – в печени, личинки цестоды *Taenia martis* (Zeder, 1803) – в грудной и брюшной полостях, личинки цестоды *Mesocestoides lineatus* (Goeze, 1782) – в брюшной полости, трематода *Skrjabinoplagicorhis polonicus* (Soltyk, 1957) – в кишечнике и печени.

В заражении каждого хозяина доминировал свой вид гельминтов. Так, у обыкновенной полевки – нематода *S. nigeriana* (ЭИ 47,1) и цестода *P. omphalodes* ЭИ 33,1), у полевки-экономки – нематода *S. nigeriana* (ЭИ 17,7) и трематода *S. polonicus* (ЭИ 17,7), у рыжей полевки – нематода *H. mixtum* (ЭИ 59,1), у полевой и желтогорлой мышей – нематода *H. polygyrus* (ЭИ 50,0 и 26,6 соответственно), а также у желтогорлой мыши еще цестода *Skrjabinotaenia lobata* (Baer, 1925) (ЭИ 26,6), у лесной мыши – нематода *S. stroma* (ЭИ 18,2). А вот по численности гельминтов выделялись нематода *S. frederici* у желтогорлой мыши (ИИ 1–450; ИО 9,86), нематода *Syphacia petruszewiczii* Bernard, 1966 и личинки цестоды *C. globifera* у рыжей полевки (ИИ 1–96 и 2–386; ИО 3,95 и 4,93 соответственно) и нематода *S. nigeriana* у обыкновенной полевки (ИИ 1–92; ИО 3,74). Эта информация во многом схожа с полученной в первые два периода исследований. Только особо следует обратить внимание на полевку-экономку, которая, увеличив свою численность в третьем периоде, интенсивно включилась в циркуляцию на берегах мелиоративных каналов трематоды *S. polonicus*, приобрела много видов гельминтов, характерных обыкновенной полевке (таблица 2).

К обнаруженным в третьем периоде видам гельминтов следует добавить еще 16 (два вида трематод, по 7 видов цестод и нематод), найденных у мелких грызунов в первые два периода исследований [3; 4]. Это личинки трематод *Strigea falconis* Szidat, 1928 (хозяева – полевая и желтогорлая мыши) и *S. sphaerula* (Rudolphi, 1803) (хозяева – рыжая полевка и полевая мышь), цестоды *Paranoplocephala gracilis* Tenora et Murai, 1980 (хозяин – рыжая полевка), *Paranoplocephala* sp. (хозяева – рыжая, обыкновенная и темная полевки, полевка-экономка), *Dilepis undula* (Schränk, 1788) (хозяева – полевая и желтогорлая мыши) и *Rodentolepis straminea* (Goeze, 1782) (хозяин – полевая мышь), личинки цестод *Echinococcus multilocularis* Leuckart, 1863 (хозяева – обыкновенная и рыжая полевки), *Taenia crassiceps* (Zeder, 1800) (хозяева – обыкновенная полевка и полевая мышь) и *T. polyacantha* Leuckart, 1856 (хозяева – обыкновенная и рыжая полевки), нематоды *Calodium hepaticum* (Bancroft, 1893) (хозяин – рыжая полевка), *Liniscus papillosus* (Polonio, 1860) (хозяин – серая крыса), *Syphacia obvelata* (Rudolphi, 1802) (хозяин – домовая мышь), *S. vandenbrueli* Bernard, 1966 (хозяин – мышь-малютка) и *Rictularia cristata* Frölich, 1802 (хозяева – полевая и лесная мыши; этот вид фигурирует в первом периоде, как вид *Rictularia proni* Seurat, 1915 [3]), личинки нематод *Baylisascaris devosi* (Sprent, 1952) (хозяева – рыжая полевка и желтогорлая мышь) и *Porrocaecum* sp. (хозяева – обыкновенная и рыжая полевки, полевая и лесная мыши).

Таким образом, общее количество видов гельминтов, выявленных нами у мелких грызунов, обитающих на берегах мелиоративных каналов в Брестском Полесье, составило 50 (9 видов трематод, по 20 видов цестод и нематод, один вид акантоцефалов). Доминирует по количеству видов гельминтов рыжая полевка – 24. Полевая мышь является хозяином 22 видов, обыкновенная полевка – 21, желтогорлая мышь – 19, полевка-экономка и лесная мышь – 12, серая крыса и мышь-малютка – 5, темная полевка – 4, водяная крыса и домовая мышь – 3.

Таблица 2 – Зараженность гельминтами мелких грызунов

Виды гельминтов	Хозяин	ЭИ	ИИ	ИО
Трематоды				
Echinostomatidae				
<i>Echinostoma revolutum</i> (Frölich, 1802) ^{1, 2, 3}	Мышь полевая	1,1	1	0,011
Psilostomidae				
<i>Psilotrema spiculigerum</i> (Mühling, 1898) ³	Полевка обыкновенная	0,6	1	0,006
Notocotylidae				
<i>Notocotylus noyeri</i> Joyeux, 1922	Полевка обыкновенная	0,6	1	0,006
Plagiorchiidae				
<i>Plagiorchis arvicolae</i> Schulz et Skvorzov, 1931	Полевка-экономка	1,6	1	0,016
<i>P. elegans</i> (Rudolphi, 1802) ^{1, 2, 3}	Мышь полевая	1,1	1	0,011
	Мышь желтогорлая	1,3	9	0,11
<i>Skrjabinoplagicorhis polonicus</i> (Soltyś, 1957)	Полевка-экономка	17,7	1–13	0,95
	Полевка рыжая	1,1	1	0,011
Diplostomidae				
<i>Alaria alata</i> (Goeze, 1782), larvae ^{1, 2, 4}	Полевка рыжая	3,2	1–4	0,08
Цестоды				
Anoplocephalidae				
<i>Anoplocephaloides dentate</i> (Galli-Valerio, 1905)	Полевка обыкновенная	1,7	1–2	0,023
	Полевка-экономка	4,8	1–2	0,07
<i>Paranoplocephala omphalodes</i> (Hermann, 1783)	Полевка обыкновенная	33,1	1–32	0,76
	Полевка-экономка	12,9	1–1	0,13
Catenotaeniidae				
<i>Catenotaenia cricetorum</i> Kirschenblatt, 1949	Полевка рыжая	11,8	1–4	0,18
<i>Skrjabinotaenia lobata</i> (Baer, 1925)	Мышь желтогорлая	26,6	1–56	2,32
Hymenolepididae				
<i>Hymenolepis diminuta</i> (Rudolphi, 1819) ¹	Полевка рыжая	7,5	1–2	0,10
	Мышь полевая	5,6	1–8	0,17
	Мышь желтогорлая	3,8	1–6	0,11
	Мышь лесная	9,1	3	0,27
<i>H. horrida</i> (Linstow, 1901)	Полевка рыжая	1,1	6	0,07
<i>Rodentolepis asymmetrica</i> (Janicki, 1904)	Полевка обыкновенная	0,6	4	0,023
<i>R. fraterna</i> (Stiles, 1906) ¹	Мышь полевая	2,2	2–4	0,07
Mesocestoididae				
<i>Mesocestoides lineatus</i> (Goeze, 1782), larvae ^{1, 2, 4}	Мышь полевая	1,1	98	1,09
	Мышь желтогорлая	1,3	112	1,42
Paruterinidae				
<i>Cladotaenia globifera</i> (Batsch, 1786), larvae ³	Полевка рыжая	6,5	2–386	4,93
	Мышь полевая	3,3	52–188	3,47
Taeniidae				
<i>Taenia martis</i> (Zeder, 1803), larvae ^{1, 4}	Полевка рыжая	1,1	3	0,03

Окончание таблицы 2

<i>T. mustelae</i> Gmelin, 1790, larvae ⁴	Полевка рыжая	1,1	1	0,011
	Полевка-экономка	1,6	1	0,016
	Мышь желтогорлая	1,3	4	0,05
<i>T. taeniaeformis</i> (Batsch, 1786), larvae ^{1, 2, 4}	Полевка обыкновенная	1,2	1–1	0,012
	Полевка-экономка	1,6	1	0,016
	Мышь желтогорлая	7,6	1–2	0,09
Нематоды				
Capillariidae				
<i>Pterothominx sadovskoi</i> (Morosov, 1956)	Полевка рыжая	5,4	4–28	0,62
	Мышь желтогорлая	5,1	1–6	0,17
Trichuridae				
<i>Trichuris muris</i> (Schrank, 1788)	Полевка рыжая	2,2	1–1	0,022
Heterakidae				
<i>Heterakis spumosa</i> Schneider, 1866	Мышь полевая	2,2	1–14	0,17
Oxyuridae				
<i>Syphacia agraria</i> Sharpilo, 1973	Мышь полевая	17,8	1–86	2,44
<i>S. frederici</i> Roman, 1945	Мышь желтогорлая	21,5	1–450	9,86
<i>S. nigeriana</i> Baylis, 1928	Полевка обыкновенная	47,1	1–92	3,74
	Полевка-экономка	17,7	1–12	1,13
<i>S. petrusewiczii</i> Bernard, 1966	Полевка рыжая	9,7	1–96	3,95
<i>S. stroma</i> (Linstow, 1884)	Мышь желтогорлая	2,5	2–4	0,08
	Мышь лесная	18,2	3–16	1,73
Spirocercidae				
<i>Mastophorus muris</i> (Gmelin, 1790)	Полевка рыжая	1,1	2	0,022
	Мышь желтогорлая	1,3	6	0,08
Heligmosomidae				
<i>Heligmosomoides laevis</i> (Dujardin, 1845)	Полевка обыкновенная	19,8	1–15	0,88
	Полевка-экономка	8,1	1–3	0,11
<i>H. polygyrus</i> (Dujardin, 1845)	Мышь полевая	50,0	1–238	6,19
	Мышь желтогорлая	26,6	1–52	2,37
<i>Heligmosomum costellatum</i> (Dujardin, 1845)	Полевка обыкновенная	18,0	1–24	0,92
<i>H. mixtum</i> Schulz, 1954	Полевка рыжая	59,1	1–11	1,86
Акантоцефалы				
Moniliformidae				
<i>Moniliformis moniliformis</i> (Bremser, 1811) ^{1, 2}	Мышь полевая	1,1	1	0,011

Примечание – Индексом ¹ обозначены гельминты, известные в мире как паразиты человека; индексом ² – имеющие ветеринарное значение; индексом ³ – облигатными дефинитивными хозяевами которых являются птицы; индексом ⁴ – облигатными дефинитивными хозяевами которых являются хищные млекопитающие.

Мелкие грызуны, как и в предыдущие периоды, вовлекаются в жизненные циклы гельминтов, облигатные дефинитивные хозяева которых птицы (четыре вида гельминтов) и хищные млекопитающие (5 видов гельминтов) (таблица 2). Кроме этого, они во все периоды исследований являются хозяевами гельминтов, имеющих медико-ветеринарное значение. В третьем периоде у мелких грызунов обнаружено 9 видов гельминтов, известных в мире в качестве паразитов человека (таблица 2). Всего за три периода таких видов гельминтов выявлено 15 у 9 видов грызунов, а инвазированность их ими составила 8,2 % [5]. Если в первый период этот показатель был 7,3 %, то во второй он увеличился до 9,9 %, а в третий опять опустился до 7,3 %. Также, в третьем пе-

риоде найдено 6 видов гельминтов, которые на различной стадии развития могут паразитировать у домашних гусей и уток ((трематоды *Echinostoma revolutum* (Frölich, 1802)), кроликов (личинки цестоды *M. lineatus*), свиней (личинки трематоды *A. alata*), кошек и собак ((трематоды *A. alata* и *Plagiorchis elegans* (Rudolphi, 1802), цестоды *M. lineatus* и *T. taeniaeformis*, акантоцефал *Moniliformis moniliformis* (Bremser, 1811)) (таблица 2). Ими заражено 3,5 % исследованных зверьков. Среди грызунов их хозяевами являются полевая мышь (4 вида гельминтов), желтогорлая мышь (3 вида гельминтов), обыкновенная полевка (2 вида гельминтов) и рыжая полевка (1 вид гельминтов) (таблица 2). К ним следует еще добавить цестод *T. crassiceps*, *T. polyacantha* и *E. multilocularis*, обнаруженных у грызунов в первом и втором периодах исследований [3; 4], дефинитивными хозяевами которых могут быть домашние кошки и собаки.

Благодаря мониторингу, проведенному в третьем периоде, список гельминтов грызунов Беларуси пополнился новым видом – акантоцефалом *M. moniliformis* (хозяин – полевая мышь) [6]. Также для пяти видов гельминтов установлены новые в Беларуси хозяева: для трематоды *S. polonicus* – полевка-экономка, для трематоды *Psilotrema spiculigerum* (Mühling, 1898) – обыкновенная полевка, для трематоды *Plagiorchis arvicolae* Schulz et Skvorzov, 1931 – полевка-экономка, для трематоды *E. revolutum* – полевая мышь, для цестоды *T. taeniaeformis* – полевка-экономка. Раньше эти виды гельминтов находили в Беларуси у других хозяев [3; 4; 7; 8].

Заклучение

На берегах мелиоративных каналов в Брестском Полесье за все периоды исследований установлено обитание 13 видов мелких грызунов, из них в третьем периоде – 8 видов. Основной костяк представлен пятью видами: обыкновенная и рыжая полевки, полевка-экономка, полевая и желтогорлая мыши. Первый вид является фоновым на берегах каналов на пахотных землях, выгонах и у дорог, второй – в смешанных лесах, третий – на выгонах и у дорог (увеличена численность в третьем периоде), четвертый – на пахотных землях и у дорог, пятый – в смешанных лесах.

Обращено внимание на то, что численность мелких грызунов увеличилась во втором периоде (18,7 особей на 100 л-с), тогда как в первом и третьем была примерно одинаковой (12,31 и 12,75 особей на 100 л-с. соответственно), а вот общая зараженность гельминтами, наоборот, снизилась во втором периоде (56,0 %) и сохранилась примерно на одном и том же уровне в первом (64,7 %) и третьем (65,9 %). Уже в сборах третьего периода отсутствовала темная полевка, водяная и серая крысы, лесная мышовка, мышь-малютка. Пока сложно сказать, что является причиной этого: антропогенный фактор (за два первых периода изъято 2 227 экземпляров мелких грызунов для гельминтологических исследований, периодическое выкашивание травянистой растительности на берегах и склонах каналов, движение транспорта по дорогам вдоль каналов, сельскохозяйственные работы, выпас скота), абиотический фактор (погодные условия), цикличность, связанная с периодическим колебанием численности мелких грызунов и их зараженности гельминтами (может быть, виды грызунов и их гельминты, отсутствовавшие в сборах 2015–2019 гг., проявятся в будущем). Возможно, последующий мониторинг позволит установить основную причину отсутствия этих зверьков.

Видовой состав гельминтов, обнаруженных у мелких грызунов за три периода исследований, довольно богатый – 50 видов: 9 видов трематод, по 20 видов цестод и нематод, один вид акантоцефалов. В заражении каждого зверька доминирует свой характерный вид гельминтов. Например, у обыкновенной полевки – нематода *S. nigeriana* и цестода *P. omphalodes*, у полевки-экономки – нематода *S. nigeriana* и трематода *S. polonicus*, у рыжей полевки – нематода *H. mixtum*, у полевой и желтогорлой мышей – нематода *H. polygyrus*, а также у желтогорлой мыши еще цестода *S. lobata*, у лесной

мыши – нематода *S. stroma*. Наибольшим видовым разнообразием гельминтов выделяются рыжая полевка (24), полевая мышь (22), обыкновенная полевка (21) и желтогорлая мышь (19).

Мелкие грызуны вовлекаются в жизненные циклы гельминтов, облигатными дефинитивными хозяевами которых являются птицы и хищные млекопитающие. Также они заражаются гельминтами, имеющими медико-ветеринарное значение. Выявлено 15 видов гельминтов, известных в мире как паразиты человека, и установлено, что зараженность ими мелких грызунов по периодам исследований колеблется, возрастая с 7,3 % (первый период) до 9,9 % (второй период) и снижаясь опять до 7,3 % (третий период). Кроме этого, 9 видов гельминтов на различной стадии развития могут паразитировать у домашних животных: гусей и уток (один вид трематод), кроликов (один вид цестод), свиней (один вид трематод), кошек и собак (два вида трематод, пять видов цестод, один вид акантоцефалов).

В третьем периоде исследований выявлен один новый для фауны Беларуси вид гельминтов – акантоцефал *M. moniliformis* (хозяин – полевая мышь). Также новыми хозяевами для пяти видов гельминтов установлены обыкновенная полевка (трематода *P. spiculigerum*), полевка-экономка (трематоды *P. arvicolae* и *S. polonicus*, цестода *T. taeniaeformis*) и полевая мышь (трематода *E. revolutum*).

Считаем, что русла мелиоративных каналов, их берега (линия шириной 3–5 м) и склоны должны очищаться от древесно-кустарниковой растительности. Обязательно как минимум двухразовое в году выкашивание травянистой растительности. Глобальная чистка каналов специальной техникой должна проводиться участками и только после оценки биологами и экологами, так как в руслах каналов и по их берегам обитает много различных популяций растений и животных, а сами каналы как биотопы способствуют сохранению биоразнообразия. Можно с уверенностью утверждать, что мышь-малютка не будет селиться на берегах каналов из-за периодического их выкашивания, а если берега каналов, проходящих в смешанных лесах, будут очищены от древесно-кустарниковой растительности, то там вряд ли появятся орешниковая соя (редкий для Беларуси вид [9] и случайный на берегах мелиоративных каналов) и лесная мышовка. Численность бродячих собак, которые посещают каналы, загрязняя их берега экскрементами, содержащими большое количество яиц гельминтов, что способствует созданию и поддержанию там и на территориях, прилегающих к ним, очагов гельминтозов, имеющих медико-ветеринарное значение [10], должна обязательно регулироваться в сторону уменьшения.

Выражаю признательность своему отцу, Василию Тимофеевичу Шималову, который после первого (фундаментального) периода исследований гельминтофауны мелких грызунов, обитающих на берегах мелиоративных каналов в Брестском Полесье, рекомендовал мне продолжить здесь же мониторинговые исследования. Кроме этого, в 2023 г. опубликованы результаты гельминтологического исследования землеройковых млекопитающих, обитающих на берегах осушительных каналов модельных мелиоративных систем в Брестском Полесье [11]. Но там в таблице 2 на странице 87 ошибочно не указана малая бурозубка как хозяин трематоды *Rubestrema exasperatum* (Rudolphi, 1819). Два зараженных зверька (ЭИ 14,3; ИИ 1–1, ИО 0,14) были пойманы на берегах каналов, проходящих в смешанном лесу и у дороги.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг. [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г., № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 10.02.2021,

5/18758. – Режим доступа: www.mshp.gov.by/documents/ab2025.pdf. – Дата доступа: 04.01.2024.

2. Совецанне па пытаннях развіцця Беларускай Нацыянальнай біятэхналагічнай карпарацыі і правядзення меліорацыі [Электронны рэсурс]. – Режим доступа: www.president.gov.by/ru/events. – Дата доступа: 04.01.2024.

3. Шималов, В. В. Гельминтофауна мелких грызунов (Mammalia: Rodentia) берегов каналов на мелиорированных территориях / В. В. Шималов // Паразитология. – 2002. – Вып. 3. – С. 247–252.

4. Шималов, В. В. Мониторинг гельминтофауны мелких грызунов берегов мелиоративных каналов Белорусского Полесья / В. В. Шималов // Паразитология. – 2013. – Вып. 1. – С. 38–46.

5. Шималов, В. В. Возбудители гельминтозоонозов у мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов в Брестском Полесье / В. В. Шималов // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. пр. / Палес. аграр.-экал. ін-т НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск : Беларус. навука, 2022. – Вып. 13. – С. 161–167.

6. Shimalov, V. V. The first finding of *Moniliformis moniliformis* (Acanthocephala, Moniliformidae) in Belarus / V. V. Shimalov // Journal of Parasitic Diseases. – 2018. – Vol. 42, iss. 2. – P. 327–328.

7. Шималов, В. В. Дополнение и анализ сведений о моногенеях, трематодах и цестодах Беларуси / В. В. Шималов // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. пр. / Палес. аграр.-экал. ін-т НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск : Беларус. навука, 2022. – Вып. 13. – С. 168–172.

8. Гельминты позвоночных животных и человека на территории Беларуси : каталог / Е. И. Бычкова [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по биоресурсам. – Минск : Беларус. навука, 2017. – 316 с.

9. Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / редкол.: И. М. Качановский [и др.]. – 4-е изд. – Минск : БелЭн, 2015. – 320 с.

10. Шималов, В. В. Загрязненность мелиорированных территорий экскрементами хищных млекопитающих, содержащими яйца и личинки гельминтов / В. В. Шималов // Паразитология. – 2007. – Вып. 2. – С. 137–144.

11. Шималов, В. В. Гельминтофауна землеройковых млекопитающих (Mammalia, Soricidomorpha), населяющих берега каналов мелиоративных систем в Белорусском Полесье / В. В. Шималов // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 83–92.

REFERENCES

1. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг. [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр., 2021 г. № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 10.02.2021, 5/18758. – Режим доступа: www.mshp.gov.by/documents/ab2025.pdf. – Дата доступа: 04.01.2024.

2. Совещание по вопросам развития Белорусской Национальной биотехнологической корпорации и проведения мелиорации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.president.gov.by/ru/events. – Дата доступа: 04.01.2024.

3. Shimalov, V. V. Gelmintofauna melkikh gryzunov (Mammalia: Rodentia) bieriegov kanalov na meliorirovannykh territorijakh / V. V. Shimalov // Parazitologija. – 2002. – Вып. 3. – С. 247–252.

4. Shimalov, V. V. Monitoring giel'mintofauny mielkikh gryzunov bieiregov mieliorativnykh kanalov Bieloruskogo Polies'ja / V. V. Shimalov // Parazitologija. – 2013. – Vyp. 1. – S. 38–46.
5. Shimalov, V. V. Vozbuditeli giel'mintoazonozov u mielkikh gryzunov, nasieliajushchikh bieriega mieliorativnykh kanalov v Briestskom Polies'je / V. V. Shimalov // Pryrodnaje asiaroddzie Paliessia: asablivasci i pierspiektyvy razvicia : zb. navuk. pr. / Palies. agrar.-ekal. in-t NAN Bielarusi ; redkal.: M. V. Mikhal'chuk (hal. red.) [i insh.]. – Minsk : Bielarus. navuka, 2022. – Vyp. 13. – S. 161–167.
6. Shimalov, V. V. The first finding of *Moniliformis moniliformis* (Acanthocephala, Moniliformidae) in Belarus / V. V. Shimalov // Journal of Parasitic Diseases. – 2018. – Vol. 42, iss. 2. – P. 327–328.
7. Shimalov, V. V. Dopolnienije i analiz sviedenij o monogijenezakh, triematodakh i cestodakh Bielarusi / V. V. Shimalov // Pryrodnaje asiaroddzie Paliessia: asablivasci i pierspiektyvy razvicia : zb. navuk. pr. / Palies. agrar.-ekal. in-t NAN Bielarusi ; redkal.: M. V. Mikhal'chuk (hal. red.) [i insh.]. – Minsk : Bielarus. navuka, 2022. – Vyp. 13. – S. 168–172.
8. Giel'minty pozvonochnykh zhivotnykh i chielovieka na tierriitorii Bielarusi : katalog / Ye. Bychkova [i dr.] ; Nac. akad. nauk Bielarusi, Nauch.-prakt. centr po bioriesursam. – Minsk : Bielarus. navuka, 2017. – 316 s.
9. Krasnaja kniga Riespubliki Bielarus'. Zhivotnyje: riedkije i nakhodiashchiesia pod ugrozaj ischieznovienija vidy dikikh zhivotnykh / riedkol.: I. M. Kachanovskij [i dr.]. – 4-je izd. – Minsk : BielEn, 2015. – 320 s.
10. Shimalov, V. V. Zagriaznionnost' mieliorirovannykh tierriitorij ekskriementami khishchnykh mliekopitajushchikh, sodierzhashchimi jajca i lichinki giel'mintov / V. V. Shimalov // Parazitologija. – 2007. – Vyp. 2. – S. 137–144.
11. Shimalov, V. V. Giel'mintofauna ziemlerojkovykh mliekopitajushchikh (Mammalia, Soricidomorpha), nasieliajushchikh bieriega kanalov mieliorativnykh sistiem v Bieloruskom Polies'je / V. V. Shimalov // Viesn. Bresc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2023. – № 1. – S. 83–92.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 03.06.2024

УДК 556.531.4

Александр Александрович Волчек¹, Лилия Андреевна Кутаева²

¹д-р геогр. наук, проф., проф. каф. природообустройства
Брестского государственного технического университета

²магистр геогр. наук, аспирант 3-го года обучения
каф. городского и регионального развития

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина,
мл. науч. сотрудник лаборатории гидроэкологии и экотехнологий

Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

Alexander Volchek¹, Lilia Kutaeva²

¹Doctor of Geographical Sciences, Professor,

Professor of the Department of Environmental Engineering
of Brest State Technical University

²Master of Geographical Sciences, 3-nd Year Postgraduate Student
of the Department of Urban and Regional Development

of Brest State A. S. Pushkin University,

Junior Researcher of the Laboratory of Hydroecology and Ecotechnologies

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

e-mail: ¹Volchak@tyt.by; ²lilianabieva98@gmail.com

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МАЛЫХ РЕКАХ БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА ЗАПАДНОГО БУГА

Дана оценка содержания биогенных элементов в поверхностных водах малых рек белорусской части бассейна реки Западный Буг. Азот аммонийный и фосфор являются приоритетными загрязняющими элементами. Установлена степень гидрохимической трансформации.

Ключевые слова: биогенные элементы, малые реки, гидрохимическая трансформация, бассейн Западного Буга.

Nutrients in Small Rivers of the Belarusian Part of the Zapadny Bug Basin

An assessment of the content of nutrients in the surface waters of small rivers in the Belarusian part of the Zapadny Bug basin is given. Ammonium nitrogen and phosphorus are priority pollutants. The degree of hydrochemical transformation has been established.

Key words: nutrients, small rivers, hydrochemical transformation, Zapadny Bug basin.

Введение

Малые реки выполняют важную экологическую роль, являясь приточной системой более крупных рек. С одной стороны, малые реки, дренируя большую часть площади водосбора, определяют водность, качество, режим и другие показатели крупных водотоков. С другой стороны, их незначительные размеры и непосредственный контакт с результатами разносторонней деятельности человека определяют их высокую уязвимость. Таким образом, проведение экологического мониторинга малых пресноводных экосистем является актуальным [1]. Хозяйственная деятельность на водосборах малых рек нарушает естественный круговорот веществ, изменяя потоки биогенных элементов. Основными источниками поступления биогенных элементов в водные объекты являются точечные источники (сточные воды жилищно-коммунального хозяйства, предприятий) и рассредоточенная нагрузка (диффузное загрязнение). Увеличение содержания биогенных элементов в водной среде, главным образом азота и фосфора, приводит к развитию процессов эвтрофирования водного объекта [2].

Регулярные многолетние наблюдения за гидрохимическим состоянием малых рек практически не осуществляются, следовательно, малые реки и каналы выбраны

объектами исследования с целью оценки их устойчивости в условиях возрастающей антропогенной нагрузки. Среди рек урбанизированных территорий необходимо проследить зависимость экологического состояния малой реки от количества населения в городе, поэтому для оценки были выбраны крупный г. Брест (р. Мухавец) с населением 344 тыс. человек, средний г. Кобрин (р. Мухавец, р. Шевня) с населением 53 тыс. человек и ряд малых городов с населением до 20 тыс. человек [3].

Целью исследования является изучение пространственно-временной изменчивости содержания биогенных элементов в поверхностных водах малых рек и каналах белорусской части бассейна реки Западный Буг.

Методика исследования

В качестве первичных индикаторов выбраны следующие показатели: содержание аммонийного, нитратного, нитритного азота, фосфора и хлоридов для оценки геохимической трансформации водных объектов [4]. Отбор проб поверхностных вод осуществлялся в соответствии с нормативными документами и проводился в апреле, августе и ноябре 2022 г. [5–7]. Поскольку целью программы отбора являлась оценка качества воды по отношению к нормативам содержания (предельно допустимым концентрациям) показателей в воде, отбирались точечные пробы воды, характеризующие состав и свойства воды в данном месте в данный момент времени путем однократного отбора требуемого количества воды. В результате отобрано и проанализировано 42 пробы поверхностной воды, из которых 36 проб взято из малых рек, а 6 проб – из каналов в г. Кобрине. Анализ проб проводился на базе аккредитованной лаборатории гидроэкологии и экотехнологий Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Общая характеристика исследуемых водотоков представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика пунктов отбора проб

Тип и название водного объекта	Пункт отбора пробы
р. Мухавец	В черте г. Бреста (пункт 1)
	В черте г. Кобрин (пункт 2)
р. Лесная	В черте г. Каменца (пункт 1)
	4 км выше г. Каменца (пункт 2)
р. Пульва	В черте г. Высокое
р. Малорита	В черте г. Малориты
р. Жабинка	В черте г. Жабинки
р. Шевня	В черте г. Кобрин
р. Осиповка	Вблизи н. п. Петровичи (Брестский р-н)
р. Спановка	В черте н. п. Медно (Брестский р-н)
р. Дахловка	Вблизи н.п. Борщи (Кобринский р-н)
р. Лютая	Вблизи н. п. Остромечево (Брестский р-н)
канал Бона	В черте г. Кобрин
канал Кобринка	В черте г. Кобрин

Методика определения рН основана на измерении разности потенциалов гальванического элемента с использованием соответствующего рН-метра. В результате равновесия диссоциации значение рН пробы также зависит от температуры, поэтому вместе с измерением значения рН всегда определяют температуру пробы [8].

Сущность метода по определению содержания нитрат-ионов заключается во взаимодействии нитратов с салициловокислым натрием в сернокислой среде с образованием соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет, и последующим фото-

метрическим определением и расчетом массовой концентрации нитратов в пробе исследуемой воды [9].

Метод определения содержания массовой концентрации аммиака и ионов аммония основан на способности аммиака и ионов аммония взаимодействовать с реактивом Несслера с образованием окрашенного в желто-коричневый цвет соединения с последующим фотометрическим определением и расчетом массовой концентрации определяемых компонентов в пробе исследуемой воды [9].

Сущность метода по определению нитрит-ионов заключается во взаимодействии нитритов в исследуемой пробе воды с сульфаниловой кислотой в присутствии 1-нафтиламина с образованием красно-фиолетового окрашенного соединения с последующим фотометрическим определением и расчетом массовой концентрации нитритов в пробе исследуемой воды [9].

Метод определения ортофосфатов и полифосфатов основан на гидролизе полифосфатов, переходящих в ортофосфаты, с образованием фосфорно-молибденового комплекса, окрашенного в синий цвет, и последующем фотометрическом определении полученного окрашенного соединения [10].

Метод титриметрического определения хлоридов основан на образовании труднорастворимого осадка хлорида серебра при прибавлении раствора нитрата серебра к анализируемой воде. После полного осаждения хлоридов избыток ионов серебра реагирует с индикатором – хроматом калия – с образованием красновато-оранжевого осадка хромата серебра [11].

Результаты и их обсуждение

Основными точечными источниками загрязнения исследуемых водотоков являются: ООО «ВэстФишИнвест» (бывший рыбхоз «Соколово»); КУПП «Кобринрайводоканал»; КУП «Брестское ДЭП»; КУМПП ЖКХ «Малоритское ЖКХ»; Пружанское КУПП «Коммунальник»; КУМПП ЖКХ «Каменецкое ЖКХ»; КУМПП ЖКХ «Кобринское ЖКХ»; ОАО «Пружанский молочный комбинат»; КПУП «Брестводоканал» [12].

Вышеперечисленные предприятия имеют 125 прямых выпусков сточных вод в водные объекты, из них пять выпусков сточных вод предприятий входят в программу локального мониторинга. Сточные воды принимают следующие водотоки: р. Мухавец (57 выпусков), канал Бона (18 выпусков), р. Лесная (17 выпусков), канал Кобринка (15 выпусков), р. Малорита (10 выпусков), р. Жабинка (4 выпуска), р. Пульва и р. Шевня (по 2 выпуска). Данные гидрохимических исследований представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2 – Химический состав воды исследуемых водотоков в период весеннего половодья

Объект	Азот аммонийный, мг N/дм ³	Азот нитратный, мг N/дм ³	Азот нитритный, мг N/дм ³	Фосфаты, мгР/дм ³	Хлорид-ион, мг/дм ³	рН, ед. рН
р. Мухавец (г. Брест)	0,35	1,37	0,009	0,038	28,2	7,7
р. Мухавец (г. Кобрин)	0,39	2,56	0,003	0,049	29,6	7,7
р. Лесная (г. Каменец)	0,31	1,39	0,009	0,078	29,6	7,6
р. Лесная (4 км выше г. Каменца)	0,32	0,69	0,003	0,061	13,8	7,4
р. Пульва	0,15	1,66	0,006	0,038	26,5	7,5

Окончание таблицы 2

р. Малорита	0,53	1,16	0,006	0,058	20,8	7,4
р. Жабинка	0,11	2,04	0,016	0,060	40,9	7,8
р. Шевня	0,10	1,78	0,035	0,075	52,6	7,8
р. Осиповка	0,41	1,49	0,010	0,060	26,5	7,5
р. Спановка	0,31	1,49	0,005	0,113	12,0	7,7
р. Дахловка	0,64	1,80	0,005	0,043	13,1	7,4
р. Лютая	0,06	0,73	0,023	0,135	40,6	7,5
канал Бона	0,47	1,31	0,010	0,060	25,0	7,5
канал Кобринка	0,34	3,65	0,006	0,065	36,3	7,4
ПДК [13]	0,39	9,03	0,024	0,066	300	6,5–8,5

Примечание – Выделены значения, превышающие предельно допустимые концентрации.

Таблица 3 – Химический состав воды исследуемых водотоков в период летне-осенней межени

Объект	Азот аммонийный, мг N/дм ³	Азот нитратный, мг N/дм ³	Азот нитритный, мг N/дм ³	Фосфаты, мгР/дм ³	Хлорид- ион, мг/дм ³	рН, ед. рН
р. Мухавец (г. Брест)	0,32	0,20	0,014	0,093	16,8	7,7
р. Мухавец (г. Кобрин)	0,20	0,06	0,002	0,224	55,6	7,6
р. Лесная (г. Каменец)	0,27	0,18	0,006	0,018	53,5	7,4
р. Лесная (4 км выше г. Каменца)	0,47	0,15	0,003	0,047	29,5	7,2
р. Пульва	0,36	0,09	0,008	0,053	16,1	7,3
р. Малорита	0,29	0,18	0,007	0,690	22,4	7,5
р. Жабинка	0,40	0,09	0,007	0,244	52,8	7,1
р. Шевня	0,56	0,19	0,008	0,162	33,7	7,2
р. Осиповка	0,53	0,13	0,005	0,087	18,9	7,2
р. Спановка	0,24	0,04	0,005	0,019	40,8	7,6
р. Дахловка	0,43	0,20	0,003	0,041	26,4	7,2
р. Лютая	0,37	0,37	0,003	0,016	49,2	7,3
канал Бона	0,64	0,33	0,005	0,025	33,0	7,5
канал Кобринка	1,25	0,10	0,009	0,003	29,5	7,1
ПДК [13]	0,39	9,03	0,024	0,066	300	6,5–8,5

Примечание – Выделены значения, превышающие предельно допустимые концентрации.

Таблица 4 – Химический состав воды исследуемых водотоков в период зимней межени

Объект	Азот аммонийный, мг N/дм ³	Азот нитратный, мг N/дм ³	Азот нитритный, мг N/дм ³	Фосфаты, мгР/дм ³	Хлорид- ион, мг/дм ³	рН, ед. рН
р. Мухавец (г. Брест)	0,56	0,96	0,030	0,082	30,3	7,6
р. Мухавец (г. Кобрин)	0,52	0,89	0,019	0,010	27,5	7,5
р. Лесная (г. Каменец)	0,37	1,24	0,020	0,048	27,5	7,6

Окончание таблицы 4

р. Лесная (4 км выше г. Каменца)	0,45	1,10	0,019	0,062	16,2	7,6
р. Пульва	0,35	1,03	0,010	0,060	26,1	7,6
р. Малорита	0,45	1,07	0,016	0,048	24,7	7,4
р. Жабинка	0,33	1,88	0,019	0,087	92,4	7,6
р. Шевня	0,22	2,04	0,017	0,044	46,2	7,6
р. Осиповка	0,42	0,64	0,011	0,055	28,9	7,5
р. Спановка	0,22	0,92	0,015	0,069	9,2	7,6
р. Дахловка	0,38	1,04	0,009	0,029	19,6	7,6
р. Лютая	0,29	2,02	0,012	0,050	32,8	7,4
канал Бона	0,74	0,44	0,016	0,080	30,3	7,6
канал Кобринка	0,67	0,44	0,006	0,086	86,8	7,2
ПДК [13]	0,39	9,03	0,024	0,066	300	6,5–8,5

Примечание – Полужирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

Водородный показатель рН является одним из важнейших показателей качества вод и характеризует кислотно-основное равновесие воды. По полученным данным, значения рН не превышали пределы нормативов и составляли 7,1–7,8. Исследованная природная вода водотоков имеет нейтральную и слабощелочную реакцию. Нитриты, являясь промежуточным и наиболее неустойчивым звеном в цикле соединений азота, представляя собой продукт окисления аммиака или восстановления до нитратов, поэтому во внутригодовом распределении азота нитритного не прослеживается четкой закономерности. Повышенное содержание нитритов указывает на усиление процессов разложения органических веществ в условиях более медленного окисления нитрит-ионов в нитрат-ионы, что указывает на загрязнение водного объекта [1]. Зафиксированы разовые превышения ПДК по содержанию азота нитритного в весенний период на р. Шевне $1,5 \times$ ПДК, в зимний период на р. Мухавец (г. Брест) $1,3 \times$ ПДК уровне ПДК $9,03 \text{ мгN/дм}^3$. Наряду с этим установлено низкое содержание азота нитратного: р. Шевня – $1,78 \text{ мгN/дм}^3$, р. Мухавец (г. Брест) – $0,96 \text{ мгN/дм}^3$. В отмеченных случаях превышения вызваны недостаточной интенсивностью процесса нитрификации. В остальных пробах концентрации изменялись в пределах от 0,002 до $0,023 \text{ мгN/дм}^3$ (рисунок 1).

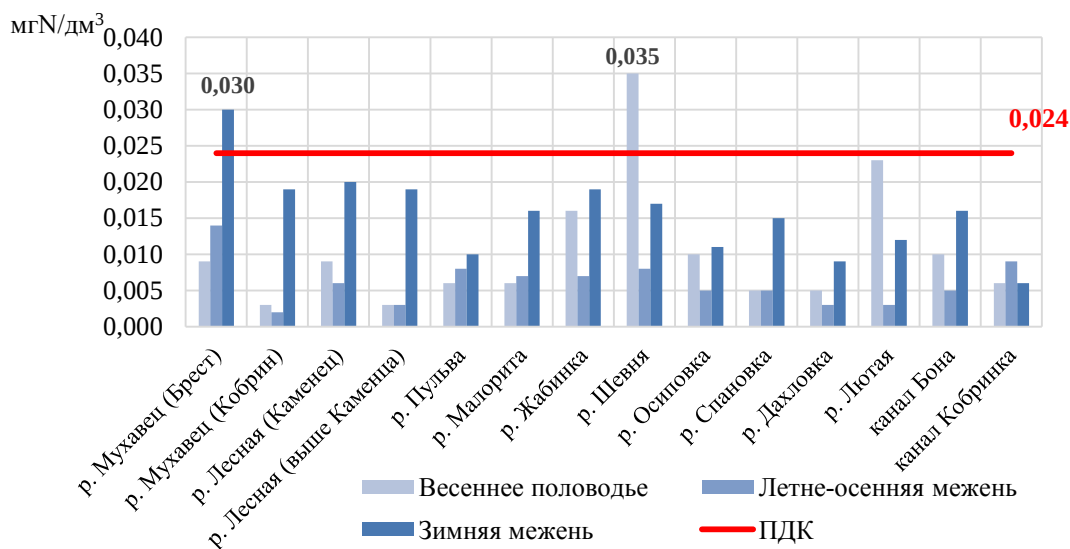


Рисунок 1 – Содержание азота нитритного

Нитраты являются конечным продуктом биохимического окисления аммиака, образующегося в результате распада белковых веществ.

В поверхностных водах нитраты находятся в растворенной форме, и их концентрация в незагрязненных водах, не превышает порядка десятков микрограммов в 1 дм³ (в пересчете на азот) [1].

Концентрация азота нитратного во всех рассматриваемых водных объектах значительно ниже ПДК и варьировалась от 0,04 до 3,65 мгN/дм³.

Основными источниками поступления ионов аммония в водотоки являются животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений.

Согласно полученным результатам, отмечалось превышение ПДК в 43 % отобранных проб. Диапазон содержания составлял от 0,06 до 0,74 мгN/дм³. Максимальная концентрация в канале Кобринка – 3,2 × ПДК – обусловлена поступлением хозяйственно-бытовых стоков и низкой ассимилирующей способностью водотока.

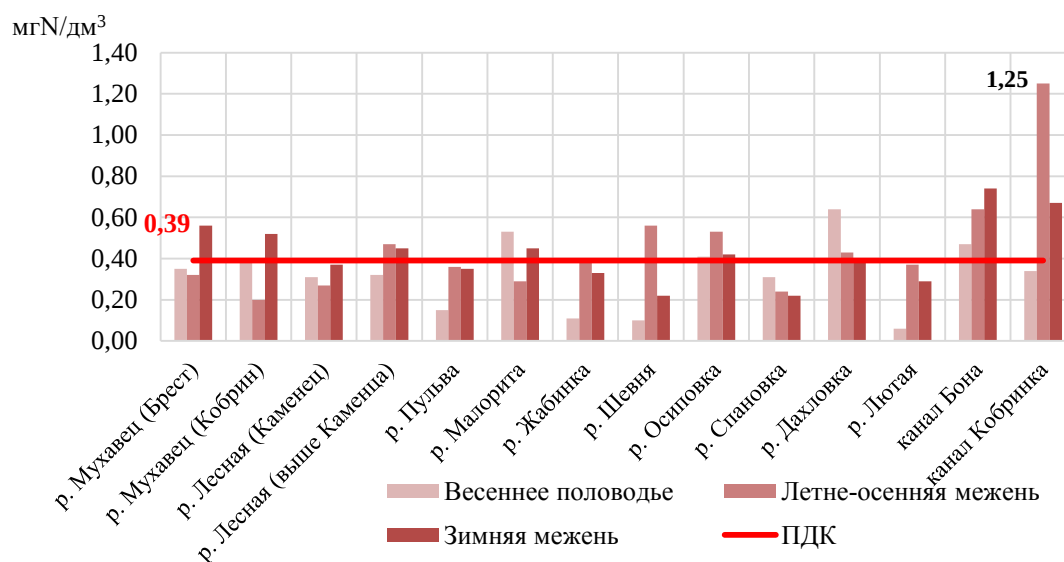


Рисунок 2 – Содержание азота аммонийного

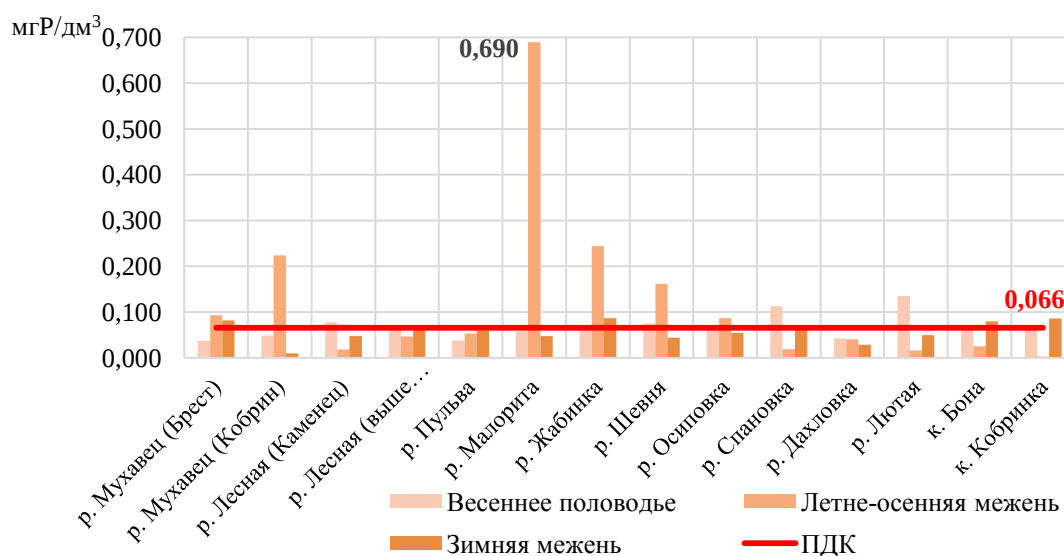


Рисунок 3 – Содержание фосфора

Поступление избытка соединений фосфора с недоочищенными и неочищенными бытовыми сточными водами и с водосбора с поверхностным стоком с полей приводит к резкому неконтролируемому приросту растительной биомассы водного объекта. Содержание соединений фосфора подвержено значительным сезонным колебаниям, минимальные концентрации наблюдаются весной и летом, максимальные – осенью и зимой. Для исследуемых водотоков высокое содержание фосфора связано с биологической активностью сине-зеленых водорослей, интенсивно проявляющейся на уже загрязненных водотоках. Максимальные концентрации фосфатов установлены в р. Малорита ($10,5 \times \text{ПДК}$), р. Жабинке ($3,7 \times \text{ПДК}$), р. Мухавец (г. Кобрин) $3,4 \times \text{ПДК}$ до г. Бреста содержание фосфатов снизилось в 2,5 раза (рисунок 3).

Увеличение содержания фосфора в водных объектах нарушает биологическое равновесие и приводит к ускорению процессов эвтрофирования водных экосистем. По данным Американского геофизического союза, загрязнение фосфором достигло опасного уровня в пресноводных бассейнах по всему миру [14], данная проблема актуальна и для водных объектов Беларуси.

Для оценки состояния водотоков на основании градации, предложенной Е. П. Овчаровой и О. В. Кадацкой [4], рассчитаны баллы гидрохимической трансформации водных объектов, которые представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Балльная оценка степени гидрохимической трансформации

Объект	Сумма баллов (весеннее половодье 2022 г.)	Сумма баллов (летне-осенняя межень 2022 г.)	Сумма баллов (зимняя межень 2022 г.)
р. Мухавец (г. Брест)	10	10	15
р. Мухавец (г. Кобрин)	11	11	10
р. Лесная (г. Каменец)	10	8	11
р. Лесная (4 км выше г. Каменца)	8	9	11
р. Пульва	9	8	10
р. Малорита	11	10	12
р. Жабинка	12	12	15
р. Шевня	13	12	13
р. Осиповка	11	10	10
р. Спановка	10	9	11
р. Дахловка	10	9	9
р. Лютая	12	8	13
канал Бона	11	9	14
канал Кобринка	12	9	12

Примечание – Полужирным выделено превышение суммарного балла 10.

Содержание азота аммонийного, азота нитритного и фосфора оценивается по следующей балльной системе: 1 балл – содержание менее 0,5 ПДК, 2 балла – содержание 0,5–1,0 ПДК, 3 балла – содержание 1,0–2,0 ПДК, 4 балла – содержание более 2,0 ПДК. Для оценки содержания азота нитратного и хлоридов предложена следующая градация: 1 балл – содержание менее 0,05 ПДК, 2 балла – содержание 0,05–0,1 ПДК, 3 балла – содержание 0,1–0,2 ПДК, 4 балла – содержание более 0,2 ПДК.

В основу градации по азоту нитратному заложена величина $0,5 \text{ мг N/дм}^3$, являющаяся пороговой для начала процессов эвтрофикации, по хлоридам – природно-антропогенная концентрация $15,0 \text{ мг/дм}^3$ [4].

Баллы по содержанию данных индикаторов суммируются для каждого водного объекта, превышение общего суммарного балла 10 указывает на превышение ассимиляционного потенциала водной экосистемы, что свидетельствует о нарушении геохимического равновесия в ней.

В р. Пульве (г. Высокое) и р. Дахловке превышение суммарного балла 10 не зафиксировано ни в одном из исследуемых периодов. Следует отметить, что в р. Шевне (г. Кобрин) и р. Жабинке (г. Жабинка) нарушено геохимическое равновесие, поскольку в 100 % случаев установлено превышение ассимиляционного потенциала.

Заклучение

Результаты исследования показали, что фосфор и азот аммонийный являются приоритетными загрязняющими элементами для исследуемых водотоков. Превышение допустимых концентраций по азоту аммонийному и фосфору отмечается в 43 и 36 % отобранных проб соответственно. Максимальная концентрация азота аммонийного установлена в канале Кобринка ($3,2 \times \text{ПДК}$), фосфора в р. Малорите ($10,5 \times \text{ПДК}$).

Нарастающая тенденция зарастания речных русел на урбанизированных территориях в связи с попаданием большого количества соединений азота и фосфора, которая более определенно проявляется на участках рек, протекающих через районы с интенсивным сельскохозяйственным производством, так и остается острой проблемой.

Гидрохимическая трансформация установлена на р. Шевне (г. Кобрин) и р. Жабинке (г. Жабинка), у данных водотоков снижена способность к самоочистке. В других исследуемых водотоках негативные процессы избыточного накопления биогенных элементов и чувствительность к эвтрофированию выражены в меньшей степени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петин, А. Н. Анализ и оценка качества поверхностных вод : учеб. пособие / А. Н. Петин, М. Г. Лебедева, О. В. Крымская. – Белгород : Изд-во БелГУ, 2006. – 252 с.
2. Волчек, А. А. Биогенные элементы на малых водосборах реки Мухавец / А. А. Волчек, И. В. Окоронко // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию БГУ, 60-летию каф. физ. географии и образоват. технологий, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко, Минск, 24–26 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; под общ. ред. П. С. Лопуха ; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. – С. 340–345.
3. Набиева, Л. А. Современное состояние малых рек урбанизированных территорий / Л. А. Набиева, А. А. Волчек // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны : сб. ст. по материалам междунар. науч.-экол. конф., посвящ. 100-летию КубГАУ, 29–31 марта 2022 г. / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Кубан. гос. аграр. ун-т им. И. Т. Трубилина ; редкол.: А. И. Трубилин [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – С. 417–420.
4. Овчарова, Е. П. Геоэкологические критерии для целей реабилитации водных объектов на урбанизированных территориях / Е. П. Овчарова, О. В. Кадацкая // Природопользование. – 2014. – Вып. 26. – С. 25–30.
5. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков : ГОСТ 17.1.5.05–85. – Введ. 01.07.86. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 15 с.
6. Вода. Общие требования к отбору проб : ГОСТ 31861–2012. – Введ. 01.01.14. – М. : Стандартинформ, 2013. – 31 с.
7. Вода. Общие требования к отбору проб : СТБ ГОСТ Р 51592–2001. – Введ. 01.11.02. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 42 с.

8. Качество воды. Определение pH : ГОСТ ISO 10523–2017. – Введ. 01.09.2018. – Минск : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. – 13 с.
9. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ : ГОСТ 33045–2014. – Введ. 01.11.2016. – Минск : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2016. – 19 с.
10. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ : ГОСТ 18309–2014. – Введ. 01.11.2016. – Минск : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2016. – 21 с.
11. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический (лабораторный) контроль и мониторинг окружающей среды. Качество воды. Определение концентрации хлоридов титриметрическим методом с нитратом серебра : СТБ 17.13.05–39–2015. – Введ. 25.05.2015. – Минск : Респ. центр аналит. контроля в области охраны окружающей среды, 2015. – 12 с.
12. Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by>. – Дата доступа: 22.03.2023.
13. Об утверждении экологических норм и правил [Электронный ресурс] : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 15 дек. 2023 г., № 15–Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441063p>. – Дата доступа: 28.04.2023.
14. Американский геофизический союз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://phys.org/>. – Дата доступа: 10.05.2023.

REFERENCES

1. Pietin, A. N. Analiz i ocenka kachiestva povierhnostnykh vod : uchieb. posobie / A. N. Pietin, M. G. Liebiebieva, O. V. Krymskaja. – Bielgorod : Izd-vo BielGU, 2006. – 252 s.
2. Volchik, A. A. Biogiennyye eliemienty na malykh vodosborakh riei Mukhaviac / A. A. Volchik, I. V. Okoronko // Razvitije geografichieskikh issliedovaniy v Bielarusi v XX–XXI vekakh : materialy miezhdunar. nauch.-prakt. konf., posviashch. 100-lietiju BGU, 60-lietiju kaf. fiz. geografii i obrazovat. tiekhnologij, 100-lietiyu so dnia rozhdienija prof. O. F. Jakushko, Minsk, 24–26 marta 2021 g. / Bielorus. gos. un-t ; pod obshch. ried. P. S. Lopukha ; riedkol.: P. S. Lopukh (gl. ried.) [i dr.]. – Minsk : BGU, 2021. – S. 340–345.
3. Nabijeva, L. A. Sovriemiennoje sostojaniye malykh riek urbanizirovannykh tierritorij / L. A. Nabijeva, A. A. Volchik // Okhrana okruzhajushchiej sriedy – osnova bieзопасnosti strany : sb. st. po materialam miezhdunar. nauch.-ekol. konf., posviashch. 100-lietiju KubGAU, 29–31 marta 2022 g. / M-vo siel. khoz-va Ros. Fiedieracii, Kuban. gos. agrar. un-t im. I. T. Trubilina ; riedkol.: A. I. Trubilin [i dr.]. – Krasnodar : KubGAU, 2022. – S. 417–420.
4. Ovcharova, Ye. P. Gieoekologichieskije kriterii dlja celiej rieabilitacii vodnykh objektov na urbanizirovannykh tierritorijakh / Ye. P. Ovcharova, O. V. Kadackaja // Prirodopol'zovanie. – 2014. – Vyp. 26. – S. 25–30.
5. Okhrana prirody. Gidrosfiera. Obshchije triebovanija k otboru prob povierkhnostnykh i morskikh vod, l'da i atmosfiernykh osadkov : GOST 17.1.5.05–85. – Vvied. 01.07.86. – M. : Izd-vo standartov, 1985. – 15 s.
6. Voda. Obshchije triebovanija k otboru prob : GOST 31861–2012. – Vvied. 01.01.14. – M. : Standartinform, 2013. – 31 s.
7. Voda. Obshchije triebovanija k otboru prob : STB GOST R 51592–2001. – Vvied. 01.11.02. – Minsk : Bielorus. gos. in-t standartizacii i siertifikacii, 2002. – 42 s.

8. Kachiestvo vody. Opriedielienije pH : GOST ISO 10523–2017. – Vvied. 01.09.2018. – Minsk : Bielorus. gos. in-t standartizacii i siertifikacii, 2018. – 13 s.
9. Voda. Mietody opriedielienija azotsodierzhashchikh vieshchiestv: GOST 33045–2014. – Vvied. 01.11.2016. – Minsk : Bielorus. gos. in-t standartizacii i siertifikacii, 2016. – 19 s.
10. Voda. Mietody opriedielienija fosforsodierzhashchikh vieshchiestv : GOST 18309–2014. – Vvied. 01.11.2016. – Minsk: Bielorus. gos. in-t standartizacii i siertifikacii, 2016. – 21 s.
11. Okhrana okruzhajushchiej sriedy i prirodopol'zovanie. Analitichieskij (laboratornyj) kontrol' i monitoring okruzhajushchiej sriedy. Kachiestvo vody. Opriedielienije koncentracii khloridov titrimietrichieskim mietodom s nitratom sieriebra : STB 17.13.05–39–2015. – Vvied. 25.05.2015. – Minsk : Rieszp. centr analit. kontrolia v oblasti okhrany okruzhajushchiej sriedy, 2015. – 12 s.
12. Central'nyj nauchno-issliedovatel'skij institut kompleksnogo ispol'zovanija vodnykh riesursov [Eliektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <http://www.cricuwr.by>. – Data dostupa: 22.03.2023.
13. Ob utvierzhdienii ekologichieskikh norm i pravil [Eliektronnyj riesurs] : postanovlienije M-va prirod. riesursov i okhrany okruzhajushchiej sriedy Rieszp. Bielarus', 15 dek. 2023 g., № 15–T // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Rieszpubliki Bielarus'. – Riezhim dostupa: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441063p>. – Data dostupa: 28.04.2023.
14. Amierikanskij gieofizichieskij sojuz [Eliektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <https://phys.org/>. – Data dostupa: 10.05.2023.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 19.09.2024

УДК 338.4-6:615.8

Оксана Ивановна Грядунова¹, Мария Руслановна Абрамук²¹канд. геогр. наук, доц., доц. каф. городского и регионального развития
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина²ведущий инженер-гидролог филиала Брестского областного центра
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды**Oksana Gryadunova¹, Maria Abramuk²**¹Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University²Leading Engineer-Hydrologist of the Branch of the Brest Regional Center
for Hydrometeorology and Environmental Monitoringe-mail: ¹gryadunova@mail.ru; ²mari.abramuk@mail.ru

ПРИРОДНО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ БЕЛАРУСИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО ТУРИЗМА

Отражены особенности лечебно-оздоровительного туризма как вида туристской деятельности. Проведен анализ основных природных ресурсов (рельефа, климата, минеральных вод, лечебных грязей) для развития санаторно-курортного хозяйства страны. Выявлены регионы с благоприятным, относительно благоприятным и неблагоприятным рельефом для развития лечебно-оздоровительного туризма. На основе оценки биоклимата установлены сезоны с наиболее благоприятными климатическими условиями для летней и зимней рекреации. Отмечена ведущая роль водных объектов и ресурсов в развитии лечебно-оздоровительного туризма на территории Беларуси.

Ключевые слова: природно-ресурсный потенциал, рельеф Беларуси, терренкур, биоклимат Беларуси, дасотерapia, водный потенциал Беларуси.

Natural and Recreational Potential of Belarus for the Development of Health Tourism

The article reflects the features of health and wellness tourism as a type of tourism. The analysis of the main natural resources (relief, climate, mineral waters, therapeutic mud) for the development of the country's health resort economy is carried out. Regions with favorable, relatively favorable and unfavorable relief for the development of health and wellness tourism are identified. Based on the assessment of the bioclimate, seasons with the most favorable climatic conditions for summer and winter recreation are established. The leading role of water bodies and resources in the development of health and wellness tourism in Belarus is noted.

Key words: natural resource potential, relief of Belarus, terrain cure, bioclimate of Belarus, dasotherapy, water potential of Belarus.

Введение

Человек в течение всей своей жизни находится под влиянием воздействия целого ряда факторов окружающей среды, влияющих на здоровье, от экологических до социальных. Здоровье – это состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезни или других дефектов. Здоровье является самой большой ценностью, сохранению которого в современных условиях следует уделять всестороннее внимание. Практически полная оторванность от природы в урбанизированной среде является одной из причин роста заболеваемости и стрессовых нагрузок и, как следствие, ухудшения демографических показателей. При условии нехватки времени в динамично развивающемся мире, а также непродолжительных отпусков единственным способом восстановления духовных и физических сил является совмещение отдыха, лечения и оздоровления.

Именно поэтому поездки с лечебно-оздоровительными целями приобретают сегодня огромную значимость во всем мире. Лечебно-оздоровительный туризм по важности можно назвать главным видом туризма, так как в его основе лежит забота о здоровье человека как главной ценности жизни.

В настоящее время сеть санаторно-курортных и оздоровительных организаций Республики Беларусь включает 287 объектов общей коечной мощностью более 60 тыс. мест, в т. ч.: 100 санаторно-курортных организаций на 27,9 тыс. мест и 187 оздоровительных организаций на 32,2 тыс. мест. При среднегодовой заполняемости около 80 % материально-техническая база здравниц позволяет ежегодно охватывать лечебно-оздоровительными услугами более 1,4 млн человек [1].

Цель исследования – оценить природно-рекреационный потенциал для развития лечебно-оздоровительного туризма Беларуси.

Исходные данные и методика исследования

Для оценки рельефа были использованы исходные данные, которыми стали карты Национального атласа Республики Беларусь [2]: горизонтальное расчленение рельефа, вертикальное расчленение рельефа, крутизна склонов рельефа, длина склонов рельефа, геоморфологическая карта. Оценка биоклимата и водных объектов была проведена с использованием данных Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» [3]. Для проведения оценки природно-ресурсного потенциала были использованы методики Е. В. Колотовой (оценка рельефа) [4], С. А. Севастьяновой [5], М. Г. Ясовеева [6], К. Ш. Хайруллина (биоклимат) [7], В. Г. Бокши (биоклимат) [8], Н. С. Шевцовой (водный потенциал) [9].

Результаты

Для развития лечебно-оздоровительного туризма наиболее благоприятна пересеченная местность, но с незначительными превышениями [4]. Рельеф Беларуси преимущественно равнинно-холмистый со средней высотой над уровнем моря 159 м. Максимальная высота над уровнем моря – 345 м (гора Дзержинская, Минская возвышенность, Дзержинский р-н Минской обл.), минимальная – 80 м (урез воды р. Неман на границе с Республикой Литва). Большая часть поверхности имеет высоты около 200 м над уровнем моря; на долю возвышенностей приходится около 10 % территории Беларуси, низменности занимают приблизительно 45 %. Поверхность равнины имеет разный характер: в рельефе сочетаются возвышенности (выше 200 м) с относительными высотами 20–30 м, равнины (высота 150–200 м) и низменности (до 150 м). Возвышенности расположены в центральных районах страны, образуя Белорусскую гряду; к северу и к югу рельеф постепенно понижается. Основные черты современного рельефа в значительной мере обусловлены материковыми оледенениями. Большая часть лечебно-оздоровительных учреждений Беларуси располагаются в Минской области (высота около 200 м).

При проведении оценки рельефа Беларуси для развития лечебно-оздоровительного туризма были выявлены следующие тенденции:

1. Густота расчленения рельефа на территории Беларуси варьируется от 0,2 до 0,8 км/км², по степени благоприятности – благоприятная, за исключением санатория «Лесное» (Докшицкий р-н Витебской обл.), где густота расчленения составляет 1 км/км².

2. Глубина расчленения рельефа на всей Гомельской, Брестской (исключение – санаторий «Магистральный» (Барановичский р-н)) и Могилевской (исключение – санаторий «Сосны» (Могилевский р-н)), санаторий «Шинник» (Бобруйский р-н)) областях составляет до 10 м, что является неблагоприятным фактором. В Гродненской обл., на большей части Витебской обл. (исключение – санаторий «Летцы» (Витебский р-н)), санаторий «Нафтан» (Новополоцкий р-н), Витебский областной госпиталь инвалидов Великой Отечественной войны «Юрцево» (Оршанский р-н) и Минской обл. (исключение – санаторий «Березина» (Березинский р-н)), санаторий «Березина-Борисов» (Бори-

совский р-н), санаторий «Рассвет-Любань» (Любанский р-н), Республиканский научно-практический центр медэкспертизы и реабилитации «Городище», «Центр медицинской реабилитации и бальнеолечения» (Минский р-н), санаторий «Белая Русь», «Нарочанка», «Нарочь», «Приозерный», «Спутник» (Мядельский р-н), оздоровительный центр «Талька» (Пуховичский р-н), детский санаторий «Случь» (Слуцкий р-н), санаторий «Волма» (Червеньский р-н) глубина расчленения составляет от 10 до 25 м, что является относительно благоприятным фактором для развития лечебно-оздоровительного туризма.

3. Показатели крутизны склонов подчеркивают общую равнинность территории Беларуси, средние значения которых составляют 1–8°; данный показатель будет относительно благоприятным для развития лечебно-оздоровительного туризма. На всей территории Брестской, Гомельской (исключение – санаторий «РУП Гомельское отделение БЖД» (Гомельский р-н)) и большей части Могилевской обл. (исключение – санатории «Сосны», «Дубровенка» (Могилевский р-н)) крутизна склонов составляет 0,25–1°, что является неблагоприятным фактором. Вся территория Витебской обл. является благоприятной (исключение – оздоровительный центр «Сосновый бор» (Чашникский р-н), санаторий «Плисса» (Глубокский р-н) по крутизне склонов. Наиболее пестрая картина наблюдается в Минской и Гродненской обл.

4. Для оздоровительных целей наиболее благоприятны крупнохолмистый или грядовый рельефы; относительно благоприятна – слабохолмистая и волнистая местность; ровная, плоская поверхность неблагоприятна, так как эстетически монотонный рельефный пейзаж неинтересен, а функционально малоприспособлен.

Наиболее привлекательными и благоприятными условиями с точки зрения оценки рельефа являются лечебно-оздоровительные учреждения, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки рельефа Беларуси для развития лечебно-оздоровительного туризма

Санаторий	Район	Геоморфологический район	Тип рельефа	Густота расчленения, км/км ²	Глубина расчленения, м/км ²	Крутизна склонов, С
Боровое	Докшицкий	Кривичская моренная равнина с краевыми ледниковыми образованиями	Грядово-холмистые и холмистые краевые ледниковые образования сожского возраста	0,8	22	4
Лесное				1	10	3
ДРОЦ «Жемчужина»	Лепельский	Сенненская моренная равнина с краевыми ледниковыми образованиями	Холмистые и волнистые моренные равнины поозерского возраста	0,6	12	3
Лепельский военный			Грядово-холмистые краевые ледниковые образования поозерского возраста	0,8	13	4
Лесные озера	Ушачский	Чашникская водно-ледниковая низина	Холмистые и волнистые моренные равнины поозерского возраста	0,8	12	4
Пралеска	Волковысский	Волковысская краевая ледниковая возвышенность	Грядово-холмистые краевые ледниковые образования поозерского возраста	0,4	25	9
Свितязь	Новогрудский	Новогрудская краевая ледниковая возвышенность	Грядово-холмистые и холмистые краевые ледниковые образования сожского возраста	0,6	20	5

Окончание таблицы 1

Белорусочка	Минский	Минская краевая ледни- ковая возвышенность	Волнистые и пологовол- нистые флювиогляциаль- ные равнины и низмен- ности сожского возраста	0,8	24	7
ДРОЦ «Ждановичи»				0,7	23	7
Криница				0,6	23	7
Зеленый бор		Минская краевая ледни- ковая возвышенность	Грядово-холмистые и холмистые краевые ледниковые образования сожского возраста	0,6	25	7
Приморский				0,8	23	8
ОЦ «Энергетик»				0,7	24	7
Курорт «Силичи»	Логойский	Центрально-Березинская водно-ледниковая равнина	Грядово-холмистые и холмистые краевые ледниковые образования сожского возраста	0,3	11	3
Рудня	Логойский	Минская краевая ледни- ковая возвышенность	Волнистые и пологовол- нистые флювиогляциаль- ные равнины и низмен- ности сожского возраста	0,8	15	5
ДРОЦ «Надежда»	Вилейский	Кривичская моренная равнина с краевыми лед- никовыми образованиями	Волнистые и пологовол- нистые флювиогляциаль- ные равнины и низмен- ности сожского возраста	0,8	10	3
ОК «Ракета»	Любанский	Минская краевая ледни- ковая возвышенность	Волнистые и пологовол- нистые флювиогляциаль- ные равнины и низмен- ности сожского возраста	0,7	22	7
Сосновый бор	Молодечненский	Минская краевая ледни- ковая возвышенность	Грядово-холмистые и холмистые краевые ледниковые образования сожского возраста	0,6	20	6
Детский санаторий «Академия здоровья»				0,8	20	6
Сосны	Могилевский	Могилевская водно- ледниково-моренная равнина	Холмистые и пологохол- мистые моренные равни- ны сожского возраста	0,6	10	4

Примечание – Степень благоприятности рельефа:

	– благоприятная;		– относительно благоприятная.
--	------------------	--	-------------------------------

Особенно важны характеристики рельефа при прокладке терренкуров.

Терренкур, терренкуротерапия (франц. *terrain* – «местность», нем. *kur* – «лече-
ние») – метод санаторно-курортного лечения, предусматривающий дозированные фи-
зические нагрузки в виде пешеходных прогулок, восхождений в гористой местности по
определенным, размеченным маршрутам.

Сегодня термином *терренкур* в основном называют маршруты, предназна-
ченные для лечебной ходьбы, а сама методика называется скандинавской, или нордической,
ходьбой.

Терренкур развивает выносливость, улучшает работу сердечно-сосудистой
системы и органов дыхания, стимулирует обмен веществ, нервную активность.

В настоящее время около 40 санаториев используют в своей работе скандинав-
скую ходьбу (таблица 2).

Таблица 2 – Санатории, которые используют терренкур для лечебно-оздоровительных целей

Санаторий	Район	Санаторий	Район
Брестская обл.		Гродненская обл.	
«Алеся»	Ивановский	«Жемчужина»	Гродненский
«Белая вежа»	Каменецкий	«Лесная поляна» ДРОЦ	Сморгонский
«Надзея»	Жабинковский	«Радуга»	Лидский
Витебская обл.		Могилевская обл.	
«Боровое»	Докшицкий	Санаторий имени К. П. Орловского	Кировский
«Лесные озера»	Ушачский	«Шинник»	Бобруйский
«Лётцы»	Витебский		
«Лесное»	Докшицкий		
Гомельская обл.			
РУП «Гомельское отделение БЖД»	Гомельский	«Солнечный берег»	Речицкий
«Золотые пески»		«Приднепровский»	Рогачевский
«Чёнки»		«Серебряные ключи»	Светлогорский
«Сосны»	Мозырский		
Минская обл.			
«Березина»	Березинский	«Журавушка»	Мядельский
«Исlochь»	Воложинский	«Нарочанка»	
«Веста»	Дзержинский	«Нарочанский берег»	
«Рудня»	Логойский	«Нарочь»	
«Рассвет-Любань»	Любанский	«Приозерный»	
«Ждановичи» ДРОЦ	Минский	«Сосны»	
«Пралеска»		«Спутник»	Слуцкий
«Приморский»		«Случь»	
«Академия здоровья»	Молодечненский	Республиканская больница спелеолечения	Солигорский
«Сосновый бор»		«Березка»	

Благодаря географическому положению и рельефу в Беларуси формируется умеренный умеренно-континентальный тип климата. Он характеризуется ярко выраженной сезонностью хода всех метеорологических элементов и неравномерным их распределением по территории. Световой (инсоляционный) режим определяется продолжительностью солнечного сияния, т. е. светлого времени, в течение которого возможно проведение различных рекреационных занятий. Недостаток продолжительности солнечного сияния, отмечающийся в северных широтах, является дискомфортным явлением.

Таблица 3 – Инсоляционный режим на территории Беларуси

Параметры	Витебск	Минск	Могилев	Гродно	Брест	Гомель
Количество часов солнечного сияния в году	1799 (т)	1790 (т)	1805 (т)	1748 (т)	1822 (т)	1857 (т)
Количество часов солнечного сияния в июле	285 (т)	269 (р)	243 (р)	262 (р)	263 (р)	275 (р)
Количество дней без солнца в году	121 (т)	104 (т)	109 (т)	106 (т)	99 (щ)	100 (щ)
Количество дней без солнца в июле	1 (щ)	1 (щ)	2 (щ)	1 (щ)	2 (щ)	1 (щ)
Количество дней без солнца в январе	21 (т)	18 (щ)	18 (щ)	19 (щ)	17 (щ)	17 (щ)

Примечание – т – тренирующий, р – раздражающий, щ – щадящий.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что по количеству часов солнечного сияния в год все исследуемые города имеют тренирующий характер, что говорит о том, что условия относительно благоприятны для людей, не страдающих тяжелыми заболеваниями.

Географическое положение Беларуси между $51^{\circ}16'$ с. ш. (пгт Комарин (Брагинский р-н Гомельской обл.)) и $56^{\circ}10'$ с. ш. (севернее Освейского озера (Верхнедвинский р-н Витебской обл.)) обуславливает оптимальный ультрафиолетовый режим и по степени комфортности территория Беларуси относится к комфортному режиму.

Высота солнца над горизонтом изменяется в летний сезон от $57^{\circ}17'$ (север) до $62^{\circ}11'$ (юг), а в зимний сезон от $10^{\circ}23'$ до $15^{\circ}17'$, что свидетельствует о дефиците ультрафиолета зимой и сильной биологической активности солнца летом.

С ветровым режимом связано воздействие воздушного потока на организм человека на уровне человеческого роста. На территории Беларуси доминируют ветры со средней скоростью от 1 до 3 м/с. Повторяемость таких ветров изменяется от 60 % (Гомель) до 88 % (Витебск). По степени ветровой нагрузки территория Беларуси характеризуется щадящим режимом воздействия, что говорит о том, что условия благоприятны для всех людей, даже с тяжелыми заболеваниями и теми, кто находится на реабилитации (таблица 4).

Таблица 4 – Количество дней и степень ветровой нагрузки на территории Беларуси

Витебск	Минск	Могилев	Гродно	Брест	Гомель
88, щадящий	75, щадящий	69, щадящий	85, щадящий	75, щадящий	60 щадящий

В биоклимате учитываются две основные характеристики влажности: относительная и абсолютная влажность. В целом для здоровья людей благоприятна относительная влажность в 40–60 %, такая влажность формируется 30–70 дней в году. Зимой почти повсеместно относительная влажность высокая, ее суточный ход не выражен, преобладают дни с влажностью 80 %. С абсолютной влажностью связано такое дискомфортное явление, как духота, которое формируется при относительной влажности более 80 % и среднесуточной температуре выше $+20^{\circ}\text{C}$. Оно наблюдается в теплый период года. Повторяемость душных дней за теплый период составляет 8–11 %, что свидетельствует о щадящем режиме воздействия. В среднем за год на юге Беларуси дождливая погода составляет 31 день, а на севере – 40–45 дней. Анализ режима осадков показал, что повторяемость дождливых погод не превышает 25 %, что свидетельствует об оптимальном режиме воздействия.

Период, благоприятный для зимней рекреации, устанавливается, когда среднесуточная температура достигает -5°C , но не ниже -25°C , при этом возможны занятия всеми видами зимнего отдыха. На юге Беларуси такие условия могут вообще не сформироваться, а на севере продолжительность такого периода может составлять 20–35 дней. Чаще всего благоприятные условия для зимней рекреации формируются в январе и продолжительность может составлять до двух недель. Зимой по продолжительности залегания снежного покрова определяют пригодность территории к занятиям лыжным туризмом. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова составляет в среднем от 77 дней на юге до 121 на севере Беларуси, что свидетельствует о тренирующем режиме.

Период, благоприятный для летней рекреации, определяется числом дней со среднесуточной температурой выше $+15^{\circ}\text{C}$, при этом становятся возможными занятия всеми видами летнего отдыха. Таких дней на территории республики насчитывается от 85 до 105. Летом важно знать повторяемость дождливых погод, которые пре-

пятствують рекреаційним заняттям. Дощливим прийнято вважати день, коли випадає більше 3 мм опадів (в денне время).

Аналіз розподілення біокліматических параметрів в течение года виявив, що найбільш комфортні умови по всім показателям для лікувально-оздоровчих цілей на території Білорусі формуються в літнє время, а найбільш дискомфортні – в зимній період, в то время як перехідні (весна і осінь) сезони характеризуються як сприятливими, так і дискомфортними умовами. Тем не менше більше 60 санаторіїв Білорусі пропонують дасотерапію. Це один из видів кліматотерапії, в основі якого лежить лікування кліматом, характерним для лісної зони. Лісний клімат відрізняється рівномірністю, чистим, багатим озоном і ефірнобальзаміческими речовинами повітрям, дуже корисний при захворюваннях органів дихання. В результаті кліматотерапії восполняются недостаток естественного ультрафіолетового облучения організму і недостаток аеріонів, тренуються механізми терморегуляції, лежачі в основі закаливання, нормалізуються реактивність і функціональний стан організму, поліпшується обмін речовин.

Водні ресурси, придатні для розвитку лікувально-оздоровчого туризму, – це екологічески чисті річки, озера, водохранилища, канали і пруды. Білорусь – держава з достаточним забезпеченням водними ресурсами багатоцільового використання. Найкраще всім забезпечені водою північно-західні райони республіки, менше всім – водороздільні просторанства і північно-східні регіони країни. Річчяна сітка Білорусі добре розвита і представлена в основному малими річками. Почти всі озера країни відносяться до категорії невеликих і неглибоких. Найбільш численною групою озер являються старичні і поймненні озера. Географія водохранилищ і прудов залежить від естественних водних об'єктів, комплексного характеру їх використання. Купання – одна из найбільш ефективних закаливаючих процедур. Сприятливими умовами для купання вважаються температура води +17° С і вище і хвилювання не більше 3 баллів. В річках, озерах, водохранилищах хвилювання вище 3 баллів практически не відмічалось, тому купальний сезон оцінюється тільки по режиму температури води. Початок купального сезону припадає на кінець травня – початок червня, кінець – август – початок вересня. Продовжителіність купального сезону від 70 днів (на річках північних районів) до 100 днів (на півдні), що оцінюється категорією, значительна. В умовах Білорусі значительна група (більше 30 %) рекреаційно-туристических зон і курортних місцевостей республіканського значення формуються на базі озерних систем, около 30 % – на водохранилищах, і около 40 % – на річках.

В Білорусі виявлено 246 місцеворождень мінеральних вод, це порядка 15 % всіх потенціальних запасів. Всього експлуатується 262 місцеворождень прісних підземних вод і 136 мінеральних. По вмісту іонів і мінеральному складу білоруські води поділяються на кілька класів: гідрокарбонатні, сульфатні, хлоридні, складного складу. В деяких водах є біологічески активні компоненти, які підвищують їх цінність: сірководорід, залізо, бром, йод, фтор.

Общі ресурси мінеральних вод і лікувальных рассолів Білорусі складають около 30 тис. м³/сут., що свідчить про повній задоволеності потребностей. На території Республіки Білорусь розповсюджені хлоридно-натрієві і сульфатно-хлоридно-натрієві мінеральні води (рисунки 1, 2), успішно застосовувані в санаторіях для лікування захворювань органів травлення, жовчного міхура, виводячих шляхів.

Хлоридно-натриевые минеральные воды

1. детский санаторий Росинка
2. санаторий Гомельского отделения БЖД
3. ДРОЦ Сидельники
4. санаторий Солнечный берег
5. санаторий Сосны
6. санаторий Чёйки
7. санаторий Приднепровский
8. ДРОЦ Птичь
9. детский санаторий Налибокская пуща
10. санаторий Приозёрный
11. санаторий им. В.И. Ленина
12. детский санаторий Свислочь

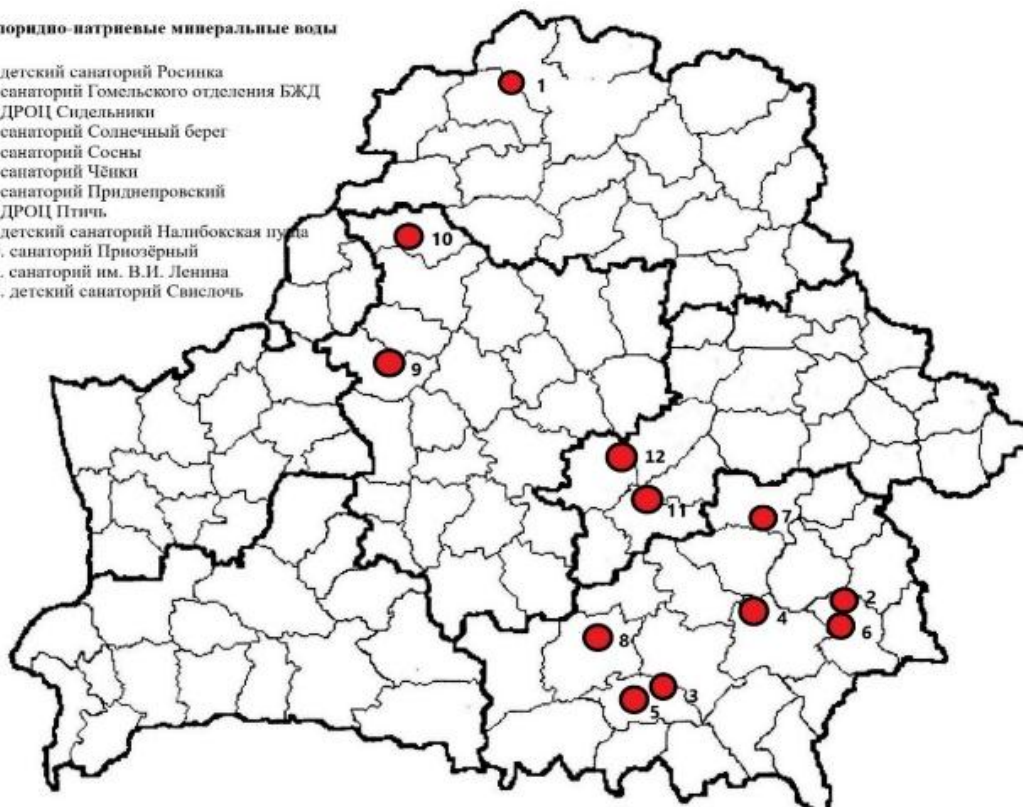


Рисунок 1 – Санатории, использующие хлоридно-натриевые минеральные воды

Сульфатно-хлоридно-натриевые минеральные воды

1. детский санаторий Налибокская пуща
2. санаторий Лёпты
3. санаторий Золотые пески
4. ДРОЦ Кристальный
5. санаторий Белая Русь
6. санаторий Сосновый бор
7. санаторий Сосны
8. оздоровительный центр Тальк
9. санаторий Нарочанский берег
10. санаторий Криница
11. санаторий Приозёрный
12. санаторий Рудня
13. санаторий Журавушка

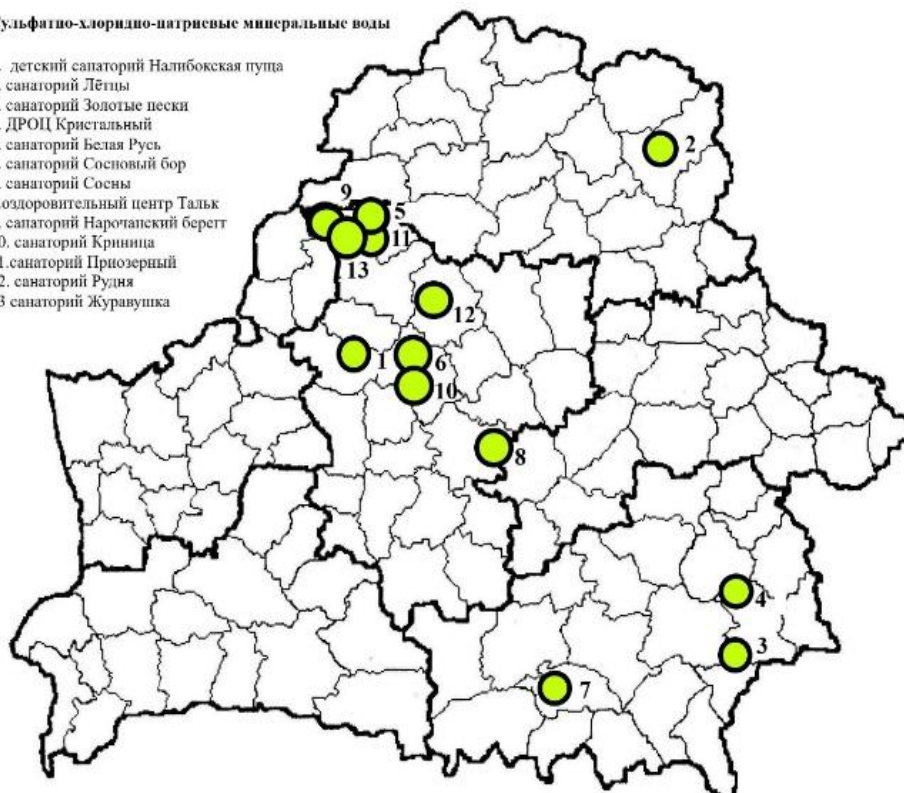


Рисунок 2 – Санатории, использующие сульфатно-хлоридно-натриевые минеральные воды

Основные виды лечения минеральной водой: бассейны с минеральной водой (санаторий «Берестье», «Боровое», ДРОЦ «Сидельники», Центр медицинской реабилитации и бальнеолечения, детский санаторий «Свислочь», «Приднепровский» и др.); ингаляция и полоскание («Ружанский», «Боровое», «Поречье», «Белорусочка», «Криница», «Пралеска», «Солнечный берег», «Рассвет-Любань», «Железнодорожник» и др.); орошение («Берестье», «Лесные озера», ДРОЦ «Жемчужина», «Золотые пески», «Березка», «Спутник», санаторий имени В. И. Ленина, «Приозерный», санаторий Гомельского отделения БЖД» и др.); питьевое лечение («Берестье», «Лесные озера», детский санаторий «Росинка», оздоровительный комплекс «Сосновый бор», «Приднепровский», «Сосны», «Криница», «Белая Русь» и др.).

Из четырех типов лечебных грязей (сульфидные, сапропелевые, торфяные, сопочные) Беларусь обладает достаточными запасами сапропелевых и торфяных грязей. В Республике Беларусь выявлено 39 видов торфа. Для получения лечебных грязей пригоден торф степенью разложения 30 % и более. Витебская область занимает первое место по торфяным запасам. Торфяные грязи используются в различных лечебно-оздоровительных организациях страны, например в детском санатории «Радуга» в Гродненской обл., в детском реабилитационном центре «Пралеска» в Гомельской обл. Уникальны по физико-химическим свойствам торфяные грязи близ г. Борисова. Особенно ценны в терапевтическом отношении сапропелевые грязи озера Глухов, озера Судобль в Минской обл. Сапропелевые грязи – донные отложения, в составе которых присутствует сероводород, который образуется путем разложения микроскопических животных и растений в пресных водоемах. Сапропелевые лечебные грязи оказывают бактерицидное воздействие на синегнойную и кишечную палочку, белый и золотистый стафилококки. Сапропель используется в следующих санаториях Беларуси: «Боровое», «Железняки», «Лесные озера» и «Сосновый бор» Витебской обл. В санаториях Беларуси используют и иловые сульфидные грязи, которые образуются на дне минеральных (соляных) водоемов. Их грязевой раствор богат солями и сероводородом. Иловые грязи оказывают бактерицидное воздействие при лечении дизентерийной, кишечной палочки, протеи и стафилококков. Иловые грязи со дна Сакского озера на Крымском полуострове используют в лечебно-профилактических целях в санаториях «Ружанский», «Чабарок».

На территории Брестской области для лечения заболеваний органов опорно-двигательного аппарата, гинекологических заболеваний, в то.ч. бесплодия, кожных заболеваний, болезней нервной системы и проблем дерматологического характера в основном используют сапропелевые лечебные грязи (рисунок 3).

В санаториях Беларуси с грязелечением используются различные виды процедур с применением грязей: внутривполостные (включают влагалищное грязелечение и ректальное грязелечение) («Березка», «Боровое», «Криница», «Радон», «Рассвет-Любань», «Серебряные ключи» и др.); гальваногрязевые процедуры («Алеся», «Белая Русь», «Березина-Борисов», «Альфа-Радон», «Буг», «Боровое» и др.); грязевые ванны («Василек», детский санаторий «Академия здоровья», «Волма», «Журавушка», «Машиностроитель», «Нарочь», «Плисса», «Серебряные ключи» и др.); местные аппликации («Белая вежа», «Белорусочка», «Берёзка», «Веста», «Вяжути» и др.); общие аппликации («Березина», «Боровичок», «Боровое», ДРОЦ «Жемчужина», «Золотые пески»).

Сапропелевые лечебные грязи

1. санаторий Гомельского отделения БЖД
2. детский санаторий Росинка
3. Лепельский военный санаторий
4. ДРОЦ Жемчужина
5. Машиностроительный санаторий
6. ДРОЦ Сидельники
7. санаторий Лётцы
8. санаторий Приднепровский
9. санаторий Сосны
10. санаторий Лесное
11. санаторий Альфа-Радон
12. санаторий Поречье

13. детский санаторий Налибокская пуща
14. санаторий им. К. П. Орловского
15. санаторий Свитязь
16. санаторий Берёзка
17. санаторий Криница
18. санаторий Белая Русь
19. санаторий Пралеска
20. санаторий Подъельник
21. санаторий им. В.И. Ленина
22. санаторий Радон
23. санаторий Дубровка
24. санаторий Шинник

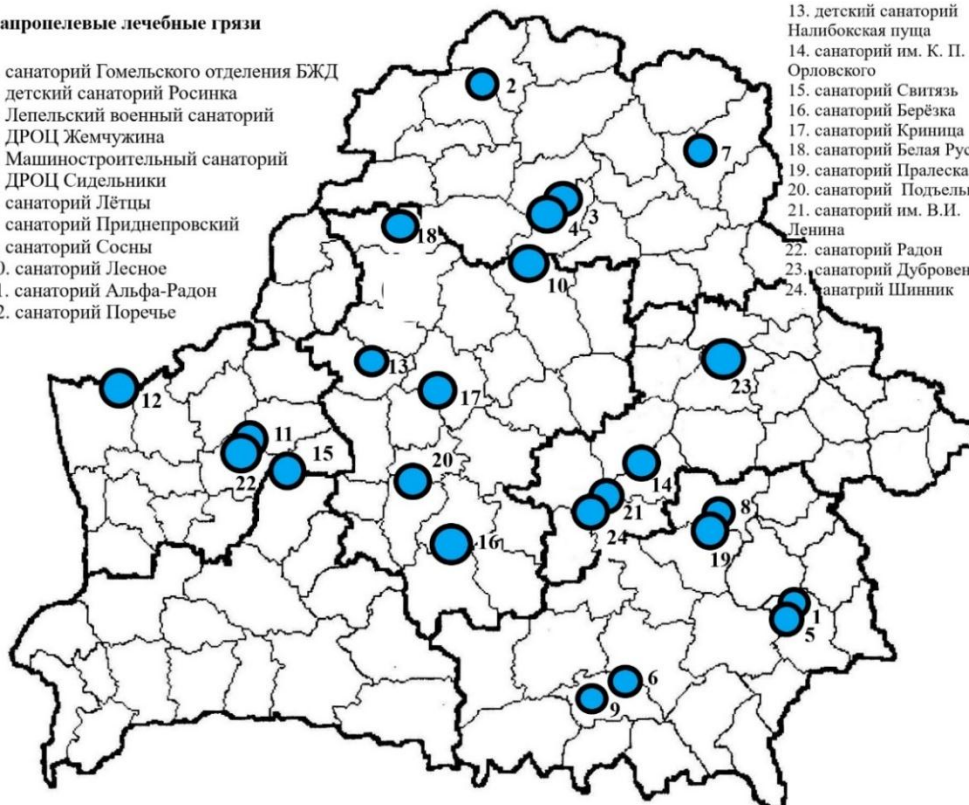


Рисунок 3 – Санатории, использующие сапропелевые лечебные грязи

Заклучение

Для развития лечебно-оздоровительного туризма Беларуси имеется достаточная база природных ресурсов и условий, но необходима разработка программ брендинга, где будут представлены «местные» традиционные виды лечебно-оздоровительных услуг, многолетний успешный опыт развития отрасли, высококвалифицированный кадровый потенциал.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Республиканский центр по оздоровлению и санаторно-курортному лечению населения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tco.by/>. – Дата доступа: 01.05.2024.
2. Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.
3. Справочник по климату [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.archive.org/web/20180411162414/http://www.pogoda.by/climat-directory/>. – Дата доступа: 01.05.2024.
4. Колотова, Е. В. Рекреационное ресурсоведение / Е. В. Колотова. – М. : Рос. междунар. акад. туризма, 1999. – 135 с.
5. Севастьянова, С. А. Эколого-экономическая оценка рекреационных ресурсов : учеб. пособие / С. А. Севастьянова. – СПб.: СПбГИЭУ, 2008. – 190 с.
6. Организация санаторно-курортной и туристско-оздоровительной деятельности / М. Г. Ясовеев [и др.] ; под науч. ред. проф. М. Г. Ясовеева. – Минск : БГПУ, 2016. – 264 с.
7. Хайруллин, К. Ш. Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей / К. Ш. Хайруллин. – СПб. : Гидрометеиздат, 2005. – 231 с.
8. Бокша, В. Г. Медицинская климатология и климатотерапия / В. Г. Бокша, Б. В. Богуцкий. – Киев : Здоров'я, 1980. – 256 с.

9. Шевцова, Н. С. Природный туристско-рекреационный потенциал рек Республики Беларусь: методика комплексной полимасштабной оценки, профилирующие виды использования и лимитирующие факторы / Н. С. Шевцова // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. «Науки о Земле». – 2022. – Т. 41. – С. 118–139.

REFERENCES

1. Riepublikanskij centr po ozdorovljeniju i sanatarno-kurortnomu liechieniju nasie-lienija [Eliektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <https://rco.by/>. – Data dostupa: 01.05.2024.
2. Nacyjanal’ny atlas Bielarusi. – Minsk : Bieltartahrafija, 2002. – 292 s.
3. Spravochnik po klimatu [Eliektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <http://web.archive.org/web/20180411162414/http://www.pogoda.by/climat-directory/>. – Data dostupa: 01.05.2024.
4. Kolotova, Ye. V. Riekrieacionnoje riesursovidienije / Ye. V. Kolotova. – M. : Ros. miezhdunar. akad. turizma, 1999. – 135 s.
5. Sievast’janova, S. A. Ekologo-ekonomichieskaja ocenka riekrieacionnykh riesursov : uchieb. posobie / S. A. Sievast’janova. – SPb. : SPbGIEU, 2008. – 190 s.
6. Organizacija sanatarno-kurortnoj i turistsko-ozdorovitel’noj diejatel’nosti / M. G. Jasoviejev [i dr.] ; pod nauch. ried. prof. M. G. Jasoviejeva. – Minsk : BGPU, 2016. – 264 s.
7. Khajrullin, K. Sh. Klimatichieskije riesursy i mietody ikh predstavlienija dlja prikladnykh celiej / K. Sh. Khajrullin. – SPb. : Gidromietieoizdat, 2005. – 231 s.
8. Boksha, V. G. Miedicinskaja klimatologija i klimatotierapija / V. G. Boksha, B. V. Boguckij. – Kijev : Zdorov’ja, 1980. – 256 s.
9. Shevcova, N. S. Prirodnyj turistsko-riekrieacionnyj potencial riek Riepubliki Bielar-us’: mietodika komplieksnoj polimasshtabnoj ocenki, profilirujushchije vidy ispol’zovanija i limitirujushchije faktory / N. S. Shevcova // Izv. Irkut. gos. un-ta. Sier. «Nauki o Ziemlie». – 2022. – Т. 41. – S. 118–139.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 19.09.2024

УДК 631.423.3

Наталья Николаевна Костюченко¹, Александр Александрович Волчек²¹науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

²д-р геогр. наук, проф., проф. каф. природообустройства
Брестского государственного технического университета**Natalya Kostyuchenko¹, Alexander Volchek²**¹Researcher of the Polesie Agrarian-Ecological Institute
of National Academy of Sciences of Belarus²Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Environmental Management
of Brest State Technical University

e-mail: kost-n@rambler.ru

**СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА В ПОЧВЕ
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ ПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА
В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

Рассмотрено воздействие длительного хранения подстилочного навоза крупного рогатого скота в полевых условиях на содержание подвижных соединений фосфора в дерново-подзолистой песчаной почве. На протяжении трех лет исследований прослеживается динамика содержания данных соединений в пахотном и подпахотном горизонтах. Установлено, что такой способ хранения приводит к накоплению подвижного фосфора, в результате чего его содержание в пахотном слое почвы в месте хранения навоза и на расстоянии 1 м от него оценивается как высокое. Максимальная концентрация исследуемых соединений в пахотном и подпахотном горизонтах почвы зафиксирована в весенний период при 20 месяцах хранения навоза. После удаления его с места хранения и использования отмечено достаточно быстрое снижение содержания данного элемента в почве.

Ключевые слова: подстилочный навоз, фосфор, почва.

**Content of Mobile Phosphorus Compounds in Soil
During Long-Term Storage of Litter Manure in Field Conditions**

The article examines the impact of long-term storage of cattle manure under field conditions on the content of mobile phosphorus compounds in soddy-podzolic sandy soil. Over the course of 3 years of research, the dynamics of the content of these compounds in the arable and subarable horizons has been traced. It has been established that this storage method leads to the accumulation of mobile phosphorus, as a result of which its content in the arable soil layer at the place where manure is stored and at a distance of 1 m from it is assessed as high. The maximum concentration of the studied compounds in the arable and subarable soil horizons was recorded in the spring after 20 months of manure storage. After removing it from the place of storage and use, a fairly rapid decrease in the content of this element in the soil was noted.

Key words: litter manure, phosphorus, soil.

Введение

Животноводческие комплексы оказывают существенное и разноплановое воздействие на окружающую среду [1]. Основным отходом данных предприятий является навоз, который образуется в больших объемах и требует значительных площадей для хранения, поэтому иногда его складывают в штабеля на полях вблизи мест внесения. В Беларуси проведено недостаточно исследований по оценке влияния отходов животноводства на химический состав почвы, не изучена в полной мере самоочищающаяся способность почв после использования отходов животноводства [2].

Навоз в своем составе содержит элементы питания, необходимые растениям, в форме органических соединений животного и растительного происхождения. Одним из важнейших элементов, оказывающим влияние на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, является фосфор. В почвах данный элемент содержится в малоподвижных формах, коэффициент его использования растениями составляет 3–5 %.

Однако недостаток фосфора приводит к значительному недобору урожая, поскольку он способствует формированию и развитию корневой системы растений на ранних этапах органогенеза. Восполнить недостаток фосфорных удобрений в более поздние периоды их развития невозможно. При достаточной обеспеченности фосфором сельскохозяйственные культуры лучше переносят засушливые условия периода вегетации, в них усиливаются морозо- и зимостойкость [3; 4].

Внесение удобрений в научно обоснованных дозах компенсирует вынос элементов питания с урожаем и увеличивает их запасы в почвах [5]. Длительное поступление высоких доз удобрений приводит к накоплению в почве избыточных количеств химических элементов. Высокое содержание фосфора затрудняет усвоение растениями железа, цинка, марганца, нарушает их питание, вследствие чего снижается объем и качество товарной продукции.

Фосфор обычно аккумулируется в пахотном слое почвы [6], но на супесчаных почвах, подстилаемых песками, внесение высоких доз органики приводит к проникновению его в более глубокие почвенные горизонты, что увеличивает риск загрязнения грунтовых вод [7].

Цель статьи – оценка влияния длительного хранения в полевых условиях подстильного навоза крупного рогатого скота на содержание подвижных соединений фосфора в пахотном и подпахотном горизонтах дерново-подзолистой песчаной почвы.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили в ОАО «Племзавод Мухавец» Брестского р-на Брестской обл. на дерново-подзолистых песчаных почвах. Объектом исследований являлся участок поля, отведенный для складирования и хранения подстильного навоза крупного рогатого скота. Размеры штабеля – $127 \times 4 \times 1$ м (~510 т). Пробы почвы отбирали в соответствии с требованиями ГОСТа 17.4.3.01-83 весной, летом и осенью при хранении навоза 8–12 (2021 г.), 20–24 (2022 г.), 30 (2023 г.) месяцев.

Место отбора – 1, 2, 5, 25 м от штабеля, а также внутри контура штабеля навоза спустя два и четыре месяца после его использования. Глубина отбора почвенных проб составляла 0–25 см (пахотный слой) и 25–40 см (подпахотный слой). Точечные пробы, отобранные с пробных площадок на расстоянии 1 м, соединяли в одну объединенную пробу массой 1,5 кг, аналогично поступали с пробами на расстоянии 2, 5 м и т. д.

На поле, где осуществлялось хранение штабеля подстильного навоза, севооборот представлен следующими культурами: рапс (2021 г.), пшеница (2022 г.), кукуруза (2023 г.).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя: pH – 5,7; содержание гумуса – 1,9 %, подвижных форм P_2O_5 – 108 мг/кг и K_2O – 91 мг/кг почвы.

Концентрацию подвижных форм фосфора в почве устанавливали методом Кирсанова в модификации ЦИНАО на спектрофотометре СФ-56 (ГОСТ 26207-91). Для экстракции исследуемых соединений использовали раствор соляной кислоты в концентрации 0,2 моль/дм³ при отношении почвы к раствору 1 : 5.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что хранение подстильного навоза в полевых условиях сопровождалось накоплением подвижных соединений фосфора в верхнем слое почвы, что согласуется с литературными данными [6–9]. Наибольшее содержание данного элемента зафиксировано в весенний период на расстоянии 1 м от штабеля, а максимальное его количество отмечено при хранении навоза в течение 20 месяцев – 567 мг/кг почвы, что в 1,5 раза выше, чем при хранении в течение 8 месяцев и в 2,1 раза ниже по сравнению с хранением в течение 30 месяцев (рисунок 1).

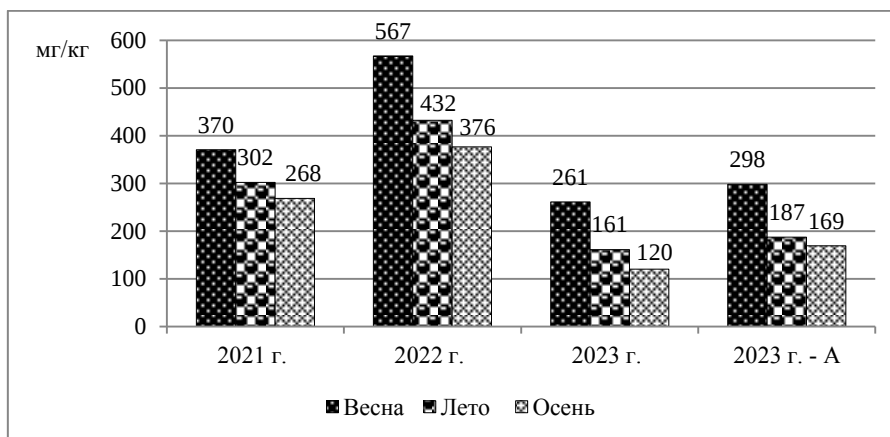


Рисунок 1 – Содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое почвы на расстоянии 1 м от штабеля навоза и в месте его хранения (А)

Согласно градации агрохимической группировки минеральных почв по содержанию фосфора вышеуказанное значение соответствовало очень высокому уровню концентрации данного элемента [10] и в 2,5 раза превышало оптимальный показатель верхнего предела его содержания для песчаных почв [11]. Отсутствие экологических норм не позволяет оценить безопасность почвы с вышеуказанным содержанием фосфора.

В подпахотном горизонте почвы концентрация подвижных соединений фосфора изменялась аналогично пахотному горизонту и на расстоянии 1 м от штабеля к 20 месяцам хранения подстилочного навоза в полевых условиях достигла своего максимального значения – 150 мг/кг, превышая более чем в 3 раза концентрации данного элемента при 8 и 30 месяцах хранения навоза (рисунок 2).

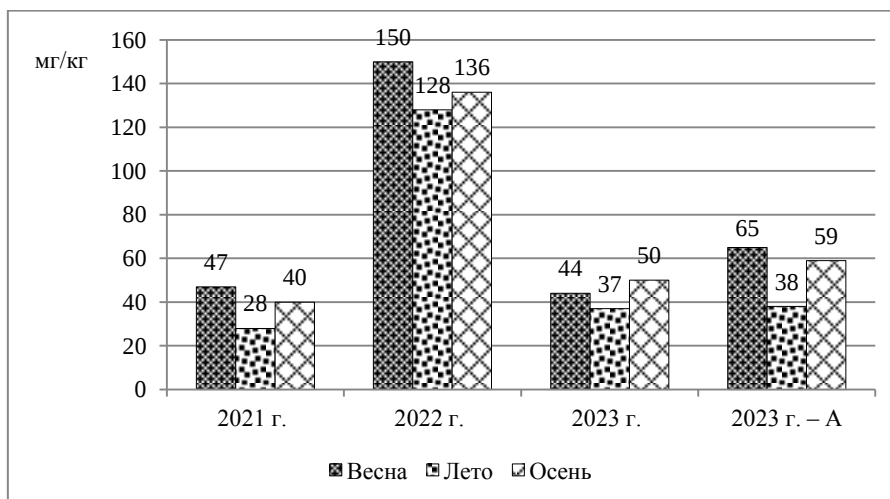


Рисунок 2 – Содержание подвижных соединений фосфора в подпахотном слое почвы при удалении на 1 м от штабеля навоза, а также в месте его хранения (А)

Внутри контура удаленного штабеля навоза, хранившегося на протяжении 30 месяцев, содержание подвижных форм фосфора в мае на глубине 0–25 см оказалось равным 298 мг/кг и незначительно отличалось от почвы, отобранной на расстоянии 1 м от места хранения органического удобрения. В обоих случаях количество фосфора оценивалось как высокое. Латеральной миграции данного элемента способствовали изменения структуры почвы в результате сезонных процессов замораживания – оттаивания, а также засухи [12; 13]. В подпахотном горизонте в месте хранения навоза и на рассто-

янии 1 м от контура ранее расположенного штабеля концентрации подвижных соединений фосфора составили соответственно 65 и 44 мг/кг, что в 5,9 и в 4,6 раз ниже по сравнению с пахотным горизонтом почвы.

С мая по сентябрь количество подвижного фосфора в верхнем слое почвы снижалось. На расстоянии 1 м от штабеля при хранении навоза 8–12 месяцев концентрация исследуемых соединений уменьшилась в 1,4 раза, 20–24 месяца – в 1,5 раза и 30 месяцев – в 2,2 раза и составила, соответственно, 268, 376 и 120 мг/кг (рисунки 1, 3). Однако снижение концентраций подвижного фосфора при хранении навоза на протяжении 24 месяцев не сопровождалось изменением уровня его содержания в пахотном слое почвы и в течение вышеуказанного времени оценивалось как высокое.

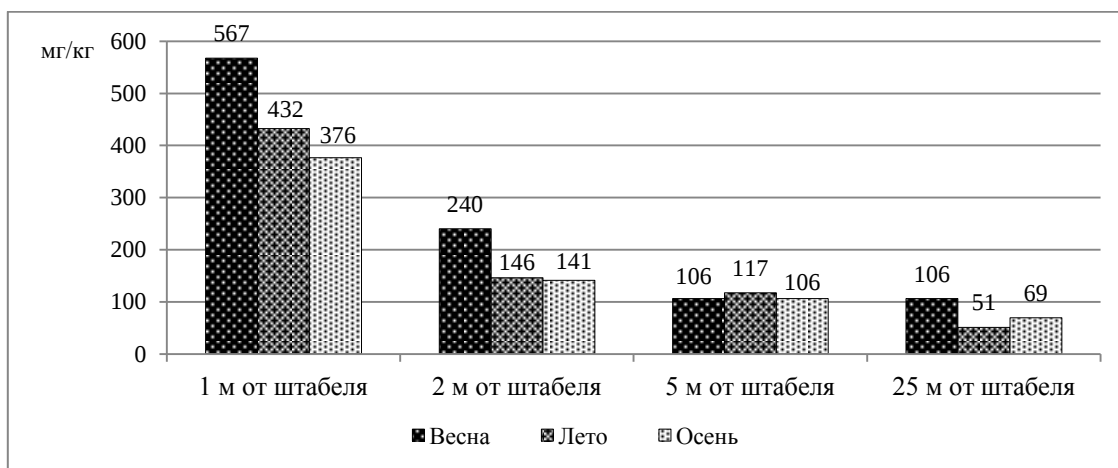


Рисунок 3 – Содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое дерново-подзолистой песчаной почвы при хранении навоза в полевых условиях 20–24 месяца (2022 г.)

Удаление навоза с места складирования привело к снижению содержания подвижных соединений фосфора в пахотном слое почвы: в месте хранения навоза с высокого (298 мг/кг) к повышенному (169 мг/кг), в 1 м от ранее расположенного штабеля – с высокого (261 мг/кг) к среднему (120 мг/кг), в 2 и 5 м – с повышенного (227 и 175 мг/кг) к низкому (98 и 83 мг/кг), в 25 м – со среднего (139 мг/кг) к низкому (80 мг/кг) (рисунок 4).

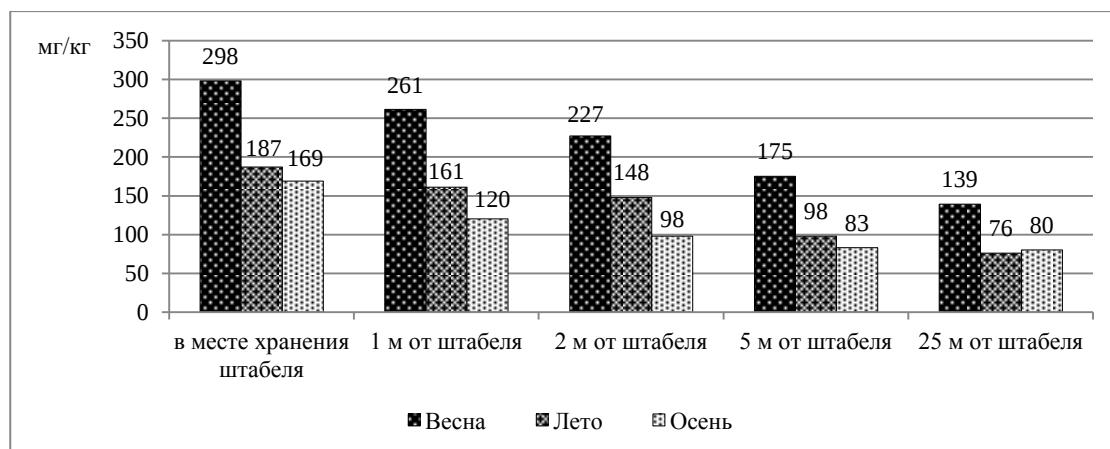


Рисунок 4 – Содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое дерново-подзолистой песчаной почвы после удаления штабеля навоза, хранившегося в течение 30 месяцев (2023 г.)

Уменьшение концентраций подвижных форм фосфора в пахотном слое почвы отмечено не только в течение вегетационного периода, но и с увеличением расстояния от штабеля. Так, при хранении навоза в течение 20–24 месяцев концентрация фосфора с мая по сентябрь в верхнем слое почвы на расстоянии 2 м от штабеля оказалась ниже в среднем в 2,7 раза, а на расстоянии 5 м – в 4,1 раза, 25 м – в 5,3 раза по сравнению с пробами почвы, отобранными на расстоянии в 1 м (рисунок 3). При увеличении срока хранения органического удобрения до 30 месяцев с последующим его использованием содержание фосфора на расстоянии 2, 5 и 25 м от штабеля было ниже, чем на расстоянии 1 м от штабеля в среднем в 1,2, 1,5 и 1,8 раза соответственно (рисунок 4).

Удаление подстилочного навоза с места хранения способствовало достаточно быстрому снижению содержания в почве данного элемента. Так, за вегетационный период концентрация подвижного фосфора в пахотном слое почвы в 1 м от контура ранее расположенного навоза снизилась в 2,2 раза и оказалась равной 120 мг/кг, что близко к оптимальному содержанию –150–230 мг/кг – для песчаных почв [11]. В 2 м от места хранения штабеля его количество в осенний период составило 98 мг/кг и приближалось к первоначальному значению, полученному при определении агрохимической характеристики почвы. Вероятно, из-за большой водопроницаемости и низкой влагоемкости дерново-подзолистой песчаной почвы исследуемые соединения с атмосферными осадками быстро просачивались вглубь почвенного профиля [14]. На расстоянии 5 и 25 м от контура штабеля содержание подвижных соединений фосфора низкое – 83–80 мг/кг.

В подпахотном горизонте почвы динамика изменения содержания подвижных соединений фосфора имела такую же тенденцию, как и в пахотном: увеличение их количества к 20 месяцам хранения штабеля навоза с последующим снижением как во времени, так и при увеличении расстояния от места складирования. Ранее упоминалось, что наибольшая концентрация подвижного фосфора отмечена в весенний период на расстоянии 1 м от штабеля при 20 месяцах хранения навоза и оказалась равной 150 мг/кг. На расстоянии 2 м от штабеля концентрация фосфора в мае в подпахотном слое почвы составила 68 мг/кг, что в 2,2 раза ниже по сравнению с расстоянием в 1 м, но в 2,3 и в 3,6 раза выше, чем на расстоянии 5 м и 25 м. При 30 месяцах хранения навоза с последующим его удалением содержание фосфора в 2 м от штабеля снизилось до 32 мг/кг, или в 2,1 раза по сравнению с 20 месяцами хранения, и незначительно отличалось от проб, отобранных на протяжении 1–25 м от контура штабеля, а интервал варьирования концентраций составил от 32 до 44 мг/кг (таблица).

Таблица – Содержание подвижных соединений фосфора в подпахотном слое почвы при длительном хранении подстилочного навоза в полевых условиях, мг/кг

Расстояние от штабеля, м	Весна	Лето	Осень
20–24 мес. хранения навоза			
1	150	128	136
2	68	89	32
5	29	32	нпо
25	19	20	нпо
30 мес. хранения навоза			
В месте хранения	65	38	59
1	44	37	50
2	32	нпо	35
5	37	нпо	28
25	36	нпо	25

Примечание – нпо – ниже предела обнаружения прибора (менее 20 мг/кг).

Осенью содержание подвижного фосфора в подпахотном слое почвы на расстоянии 1–25 м от ранее расположенного штабеля незначительно отличалось от значений, полученных в мае, и составило 25–50 мг/кг. Внутри контура удаленного штабеля подстилочного навоза в подпахотном горизонте почвы концентрация подвижных соединений фосфора весной оказалась 65 мг/кг, т. е. в 1,5 раза выше, чем на расстоянии 1 м от штабеля, и в 4,6 раза ниже, чем в пахотном горизонте. Осенью количество данного элемента в месте складирования навоза и на расстоянии 1 м от него оказалось на одном уровне – 50–59 мг/кг (таблица 1).

Следует также отметить, что в летний период на расстоянии 2–25 м от места хранения штабеля содержание подвижных соединений фосфора в подпахотном горизонте уменьшилось по сравнению с весенним периодом и оказалось ниже предела обнаружения прибора, т. е. менее 20 мг/кг, а к осени увеличилось до 25–35 мг/кг (в зависимости от расстояния). Снижение концентраций исследуемых соединений в летний период обусловлено потреблением элемента сельскохозяйственной культурой (кукурузой) в процессе своего роста и развития, а увеличение его содержания в почве к осени – следствие созревания культуры и явления корневой адсорбции [15].

Максимальная разница по концентрации фосфора между пахотным и подпахотным горизонтами почвы оказалась при сроке хранения навоза 8–12 месяцев и составила 7,9 раза в весенний период и 6,7 раза – в осенний, что объясняется низкой миграцией данного элемента в более глубокие почвенные горизонты в связи с аккумулятивной функцией почвы, корневых систем растений и бактерий [16–18]. При увеличении срока хранения навоза до 20–24 месяцев отличия по содержанию фосфора сократились до 3,8 раза весной и 2,8 раза осенью, что свидетельствует об увеличении поступления фосфора в нижележащий слой почвы.

Заключение

Таким образом, при длительном хранении подстилочного навоза в полевых условиях максимальное содержание подвижных соединений фосфора в дерново-подзолистой песчаной почве отмечено при 20 месяцах хранения штабеля и составляет в пахотном слое 567 мг/кг почвы, а в подпахотном – 150 мг/кг.

Удаление навоза с места хранения способствовало достаточно быстрому снижению содержания данного элемента в пахотном слое почвы. В месте хранения навоза количество подвижного фосфора за вегетационный период уменьшилось с высокого (298 мг/кг) к повышенному (169 мг/кг), в 1 м от ранее расположенного штабеля – с высокого (261 мг/кг) к среднему (120 мг/кг), что в первом случае соответствует оптимальному содержанию данного элемента в почве, а во втором – близко к таковому. На расстоянии 2 м от контура штабеля концентрация исследуемых соединений снизилась с повышенной (227 мг/кг) к низкой (98 мг/кг) и приближалась к первоначальному значению, полученному при определении агрохимической характеристики почвы. В подпахотном горизонте почвы содержание фосфора внутри контура штабеля навоза в мае и сентябре составило 65 и 59 мг/кг, на расстоянии 1 м от штабеля – 44 и 50 мг/кг, 2 м – 32 и 35 мг/кг.

С целью рационального использования удобрений при посеве сельскохозяйственных культур в местах ранее расположенных штабелей навоза необходимо корректировать фосфатный режим почвы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование загрязнения почвенного покрова животноводческими комплексами / В. А. Рыбак [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. – 2007. – № 12. – С. 165–169.

2. Кольга, Д. Ф. Новые технологии и технические средства утилизации навоза на животноводческих фермах и комплексах / Д. Ф. Кольга, Н. В. Казаровец. – Минск : БГАТУ, 2014. – 144 с.
3. Фосфор в почвах и системе удобрений сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / В. Г. Сычев [и др.] // Плодородие. – 2023. – № 5. – С. 47–50.
4. Чекмарев, П. А. Мониторинг содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах Белгородской области / П. А. Чекмарев, С. В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – № 2. – С. 5–9.
5. Агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях / И. В. Гурина [и др.]. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. – 484 с.
6. Мерзлая, Г. Е. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур / Г. Е. Мерзлая, И. В. Щеголева, М. В. Леонов // Перспективное свиноводство. Теория и практика. – 2012. – № 6. – С. 3–8.
7. Тарасов, С. И. Влияние длительного регулярного применения бесподстилочного навоза на плодородие, экологическую безопасность дерново-подзолистой супесчаной почвы / С. И. Тарасов, М. Е. Кравченко, Т. А. Бужина // Техника и технологии в животноводстве – 2020. – № 2 (38). – С. 90–99.
8. Костюченко, Н. Н. Агрохимический состав почвы, используемой для хранения подстилочного навоза / Н. Н. Костюченко, А. А. Волчек // Почвоведение в прошлом, настоящем и будущем : материалы междунар. научн.-практ. конф., Баку, 5–6 дек. 2022 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Азербайджана, ун-т Хазар ; редкол.: В. Гасанов [и др.]. – Баку, 2023. – С. 238–241.
9. Костюченко, Н. Н. Динамика содержания подвижных соединений фосфора и калия в почве при хранении подстилочного навоза в полевых условиях / Н. Н. Костюченко А. А. Волчек // Сб. науч. тр. – Краснодар. – 2024. – Вып. 2 : Экол. география: соврем. векторы в науке. – С. 128–133.
10. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2020. – 48 с.
11. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020) / И. М. Богдевич [и др.] ; под общ. ред. И. М. Богдевича ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
12. Zhao, Y. Critical review on soil phosphorus migration and transformation under freezing-thawing cycles and typical regulatory measurements [Electronic resource] / Y. Zhao, Y. Li, F. Yang // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 751. – P. 141614. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141614>. – Date of access: 13.06.2024.
13. Research progress on the effects of droughts and floods on phosphorus in soil-plant ecosystems based on knowledge graph / W. Bi [et al.] // HydroResearch. – 2023. – Vol. 6. – P. 29–35.
14. Смирнов, П. М. Агрохимия / П. М. Смирнов, Э. А. Муравин. – 2-е изд. – М. : Колос, 1984. – 304 с.
15. Магницкий, К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К. П. Магницкий. – М. : Моск. рабочий, 1972. – 271 с.
16. Анализ состояния фосфора в агросерых почвах Владимирского ополья / Д. В. Карпова [и др.] // Агрохим. вестн. – 2016. – № 3. – С. 15–19.
17. Самофалова, И. А. Химический состав почв и почвообразующих пород / И. А. Самофалова. – Пермь : ФГОУ ВПО Перм. ГСХА, 2009. – 130 с.

18. Акімова, А. С. Круговорот соединений фосфора в почве [Электронный ресурс] / А. С. Акімова // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2023. – № 8 (134). – Режим доступа: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.38>. – Дата доступа: 13.06.2024.

REFERENCES

1. Issliedovaniye zagriazneniya pochviennogo pokrova zhivotnovodchieskimi komplikatsami / V. A. Rybak [i dr.] // Viestn. Poloc. gos. un-ta. Sier. F. – 2007. – № 12. – S. 165–169.
2. Kol'ga, D. F. Novye tiekhnologii i tiekhnichieskiye sriedstva utilizacii navoza na zhivotnovodchieskikh fiermakh i kompleksakh / D. F. Kol'ga, N. V. Kazarovec. – Minsk : BGATU, 2014. – 144 s.
3. Fosfor v pochvakh i sistiemie udobrienij siel'skokhoziajstviennykh kul'tur v Riespublikie Bielarus' / V. G. Sychiov [i dr.] // Plodorodije. – 2023. – № 5. – S. 47–50.
4. Chiekmariov, P. A. Monitoring sodierzhanija podvizhnykh form fosfora i kalija v pakhotnykh pochvakh Bielgorodskoj oblasti / P. A. Chiekmariov, S. V. Lukin // Dostizhenija nauki i tiekhniki APK. – 2020. – № 2. – S. 5–9.
5. Agroekologichieskoje obosnovaniye viedienija siel'skokhoziajstviennogo proizvodstva na mieliorirujemykh dlitel'no ispol'zujemykh, narushennykh i zagriaznionnykh ziemliakh / I. V. Gurina [i dr.]. – Riazan' : FGBOU VPO RGATU, 2014. – 484 s.
6. Miorzlaja, G. Ye. Ispol'zovaniye svinogo navoza dlja udobrienija siel'skokhoziajstviennykh kul'tur / G. Ye. Miorzlaja, I. V. Shchiogolieva, M. V. Lieonov // Pierspiektivnoje svinovodstvo. Tieorija i praktika. – 2012. – № 6. – S. 3–8.
7. Tarasov, S. I. Vlijanije dlitel'nogo rieguliarnogo primienienija biespodstilochnogo navoza na plodorodije, ekologichieskuju biezopasnost' diernovo-podzolistoj supieschanoj pochvy / S. I. Tarasov, M. Ye. Kravchienko, T. A. Buzhina // Tiekhnika i tiekhnologii v zhivotnovodstvie. – 2020. – № 2 (38). – S. 90–99.
8. Kostiuchienko, N. N. Agrokhimichieskij sostav pochvy, ispol'zujemoj dlja khranienija podstilochnogo navoza / N. N. Kostiuchienko, A. A. Volchiek // Pochvoviedienije v proshlom, nastojshchem i budushchem : materialy miezhdunar. nauchn.-prakt. konf., Baku, 5–6 diek. 2022 g. / In-t pochvoviedienija i agrokhimii NAN Azierbajdzhana, un-t Khazar ; riedkol.: V. Gasanov [i dr.]. – Baku, 2023. – S. 238–241.
9. Kostiuchienko, N. N. Dinamika sodierzhanija podvizhnykh sojedinenij fosfora i kalija v pochvie pri khranienii podstilochnogo navoza v polievnykh uslovijakh / N. N. Kostiuchienko, A. A. Volchiek // Sb. nauch. tr. / KubGAU. – Krasnodar, 2024. – Vyp. 2 : Ekol. gieografija: sovriem. viektory v naukie. – S. 128–133.
10. Mietodika krupnomasshtabnogo agrokhimichieskogo i radiacionnogo obsliedovaniya pochv siel'skokhoziajstviennykh ziemiel' Riespubliki Bielarus' / I. M. Bogdievich [i dr.] ; Nac. akad. nauk Bielarusi, In-t pochvoviedienija i agrokhimii. – Minsk : In-t sistiem. isslied. V APK NAN Bielarusi, 2020. – 48 s.
11. Agrokhimichieskaja kharaktieristika pochv siel'skokhoziajstviennykh ziemiel' Riespubliki Bielarus' (2017–2020) / I. M. Bogdievich [i dr.] ; pod obshch. ried. I. M. Bogdievicha ; In-t pochvoviedienija i agrokhimii – Minsk : In-t sistiem. isslied. v APK NAN Bielarusi, 2022. – 276 s.
12. Zhao, Y. Critical review on soil phosphorus migration and transformation under freezing-thawing cycles and typical regulatory measurements [Electronic resource] / Y. Zhao, Y. Li, F. Yang // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 751. – P. 141614. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141614>. – Date of access: 13.06.2024.

13. Research progress on the effects of droughts and floods on phosphorus in soil-plant ecosystems based on knowledge graph / W. Bi [et al.] // HydroResearch. – 2023. – Vol. 6. – P. 29–35.
14. Smirnov, P. M. Agrokhimija / P. M. Smirnov, E. A. Muravin. – 2-je izd. – M. : Kolos, 1984. – 304 s.
15. Magnickij, K. P. Diagnostika potrebnosti rastenij v udobrienijakh / K. P. Magnickij. – M. : Mosk. rabochij, 1972. – 271 s.
16. Analiz sostojanija fosfora v agrosierykh pochvakh Vladimirskogo opol'ja / D. V. Karpova [i dr.] // Agrokhim. viestn. – 2016. – № 3. – S. 15–19.
17. Samofalova, I. A. Khimichieskij sostav pochv i pochvoobrazujushchikh porod / I. A. Samofalova. – Pierm': FGOU VPO Pierm. GSKhA, 2009. – 130 s.
18. Akimova, A. S. Krugovorot sojedinenij fosfora v pochvie [Elektronnyj riesurs] / A. S. Akimova // Miezhdunar. nauch.-issled. zhurn. – 2023. – № 8 (134). – Riezhim dostupa: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.38>. – Data dostupa: 13.06.2024.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 22.09.2024

УДК 551.4:628.4(476.7)

Евгений Александрович Кухарик¹, Екатерина Николаевна Басалай²¹канд. геол.-минерал. наук, доц., зав. лабораторией современной геодинамики и палеогеографии
Института природопользования Национальной академии наук Беларуси²канд. геогр. наук, проректор по идеологической и воспитательной работе
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина**Evgeniy Kukharik¹, Katsiaryna Basalai²**¹Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,
Head of the Laboratory of Modern Geodynamics and Paleogeography
of Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus²Candidate of Geographical Sciences, Vice-Rector for Ideological and Educational Work
of Brest State A. S. Pushkin Universitye-mail: ¹shzhk@mail.ru; ²basalaiekaterina@yandex.ru

ТЕХНОМОРФЫ КОММУНАЛЬНОГО ТИПА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ БЕЛАРУСИ: ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЛИЯНИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ*

Рассмотрены особенности формирования и функционирования аккумулятивных и денудационных техноморф коммунального типа на территории юго-западного региона Беларуси. Установлено, что в пределах полигонов и мини-полигонов к настоящему времени накоплено около 13 млн м³ техногенных отложений. Показано, что эксплуатация полигонов твердых коммунальных отходов приводит к формированию устойчивых геохимических аномалий в покровных отложениях и загрязнению поверхностных вод.

Ключевые слова: техноморфы коммунального типа, полигон твердых коммунальных отходов, юго-западная Беларусь.

Technomorphs of Public Utility Type of the Southwestern Belarus Area: Formation Features and Influence on the Geological Environment

The features of formation and distribution of both accumulative and denudation technomorphs of public utility type in the territory of the South-West region of Belarus are considered. It is established that within the boundaries of polygons and mini-polygons about 13 million m³ of technogenic deposits have been accumulated by now. It's shown that the exploitation of household waste disposal sites leads to the formation of stable geochemical anomalies in cover deposits and pollution of surface waters.

Key words: technomorphs of public utility type, household waste disposal site, south-western Belarus.

Введение

Изменение компонентов природной среды, в том числе и литосферы, в настоящее время происходит в условиях все более возрастающего техногенного воздействия. Это обусловлено прежде всего ростом численности населения на планете Земля, что влечет за собой увеличение производительных сил человека, вовлечение в сферу его жизнедеятельности новых территорий и потребление все больших объемов природных ресурсов. Одним из негативных последствий перечисленных выше процессов является ежегодное возрастание объемов образующихся твердых отходов, значительная часть которых аккумулируется и захоранивается в пределах специально созданных полигонов и стихийных свалок, которые являются техноморфами коммунального типа [1]. Они сформированы техногенными отложениями, состоящими из мусора и отходов различных фракций и состава, а также слоями изолирующих грунтов. Твердые отходы,

*Часть результатов по поверхностным водам, представленных в данной статье, получена в течение 2022–2023 гг. при выполнении проекта Х22Б-010 (№ госрегистрации 20220931) при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (руководитель – Н. В. Михальчук; исполнители – А. В. Безручко и др.).

как правило, не разлагаются в течение сотен лет и, как правильно отмечает П. А. Водопьянов, не входят в структуру природных круговоротов вещества и энергии [2]. Важно отметить, что образование и дальнейшее существование действующих и/или рекультивированных полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) и свалок не только приводит к техногенным изменениям рельефа земной поверхности, но также сказывается на формировании устойчивых ареалов загрязнения покровных отложений и поверхностных вод. Это обуславливает постоянное внимание к рассматриваемой проблеме специалистов в области геоэкологии, региональной геологии и геоморфологии не только в Беларуси [1; 3–8], но и в странах ближнего и дальнего зарубежья [9–13].

Определенный интерес для изучения особенностей образования и функционирования полигонов твердых коммунальных отходов и стихийных свалок как техногенных морфообразований на земной поверхности и источников загрязнения покровных отложений и поверхностных вод является территория юго-западной Беларуси. Этот регион отличается относительно развитой промышленной инфраструктурой, наличием крупных населенных пунктов, что, естественно, влечет за собой образование заметных объемов твердых отходов, складываемых или захораниваемых на площадках полигонов или несанкционированных свалок.

Целью исследования является установление особенностей формирования техноморф коммунального типа и их влияния на геологическую среду юго-западного региона Беларуси, а также оценка их воздействия на геохимический фон покровных отложений и поверхностных вод прилегающих к ним территорий.

Материалы и методы исследования

Изучение основных параметров техноморф коммунального типа (площадь, высота, объем накопленных отходов и др.) производилось в период с 2017 по 2024 г. при выполнении полевых работ на территории юго-западной Беларуси. Внимание было уделено полигонам ТКО, которые являются относительно крупными объектами, действующими вблизи городских населенных пунктов, а также мини-полигонам, в основном приуроченным к сельским поселениям, и отдельным стихийным свалкам. Полученные материалы были дополнены данными дистанционных съемок, что позволило составить схему распространения техноморф коммунального типа и подсчитать занимаемую ими совокупную площадь и примерный объем аккумулированных отходов. При описании сформированных техноморф коммунального типа авторы опирались на опубликованную генетическую классификацию техногенных геологических процессов и создаваемого ими рельефа [1].

Отбор проб покровных отложений производился по профилям в зоне влияния полигонов ТКО на удалении 10, 30, 60, 110 и 200 м. Изученные объекты расположены вблизи д. Саки Жабинковского р-на (два профиля, 10 проб), д. Медно Брестского р-на (три профиля, 15 проб), д. Омелино Брестского р-на (три профиля, 15 проб), д. Суходол Каменецкого р-на (три профиля, 15 проб). Отобранные пробы изучены при помощи спектрального анализа в филиале «Центральная лаборатория» РУП «Научно-производственный центр по геологии». Геохимической аномалией считалось содержание микроэлемента, превышающее кларк концентрации в два и более раза. Кларки концентрации для отдельных микроэлементов определялись по [14].

При оценке воздействия на поверхностные воды в качестве объектов исследований выступали полигоны ТКО городов Бреста, Кобрин, Пинска и Лунинца. Отбор проб воды производился как непосредственно в пределах полигонов, так и в их контактной полосе и санитарно-защитных зонах (СЗЗ). Для оценки поверхностных вод в зонах влияния полигонов ТКО выполнен отбор проб из прудов (на территории полигона ТКО г. Лунинца, в контактной с полигоном ТКО г. Кобрин полосе на удалении

от полигонов городов Пинска и Бреста на расстояние 400 м) и обводных каналов (в контактной зоне полигонов ТКО городов Пинска и Лунина и на удалении в юго-восточном направлении от полигона ТКО г. Пинска на 200–250 м).

Химико-аналитические исследования проб проводились в лабораториях Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси (гидроэкологии и экотехнологий, биогеохимии) по стандартным методикам измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь.

Оценка гидрохимического состояния поверхностных вод в зонах влияния полигонов ТКО осуществлялась по трем группам показателей:

1) содержание макрокомпонентов (сухой остаток, сульфаты, хлориды, аммоний-ионы, нитрат-ионы, фосфат-ионы, окисляемость бихроматная (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК₅);

2) содержание органических соединений (нефть и нефтепродукты (НП) и анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ);

3) концентрация тяжелых металлов (ТМ) и микроэлементов (МЭ) – свинца (Pb), кадмия (Cd), меди (Cu), цинка (Zn), марганца (Mn), никеля (Ni), кобальта (Co), хрома (Cr), молибдена (Mo), ртути (Hg), селена (Se), сурьмы (Sb), мышьяка (As) и олова (Sn).

Кроме того, в пробах вод определялся показатель pH.

Определение содержания хлоридов в водах осуществлялось титриметрическим методом; сухой остаток – гравиметрическим методом; НП – флуориметрическим методом; ХПК – бихроматным методом; pH – потенциометрическим методом; азота нитратного, аммонийного и фосфора фосфатного – фотометрическим методом на спектрофотометре СФ-56. Определение содержания в водах ТМ и МЭ выполнялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре с пламенным атомизатором SOLAAR M6 MkII.

Оценка гидрохимического состояния поверхностных вод в зонах влияния полигонов ТКО производилась путем сравнения фактических данных, полученных в лабораториях, с нормативами предельно допустимых концентраций (ПДК) [15] путем использования геохимического показателя – коэффициента концентрации (K_c), представляющего собой отношение фактической концентрации загрязнителя (C) к ПДК.

Результаты и их обсуждение

Согласно принятой авторами классификации, в состав коммунального типа входят техноморфы аккумулятивного и денудационного генезиса, сформированные в результате сооружения, эксплуатации и рекультивации полигонов ТКО и свалок. По данным Брестского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды, на территории юго-западной Беларуси насчитывается 18 крупных полигонов ТКО, приуроченных к городским населенным пунктам, и 196 мини-полигонов. Совокупная площадь, занятая техноморфами коммунального типа, в регионе оценивается в 260 га. Однако это значение может быть увеличено за счет стихийных свалок, число которых определить невозможно.

К аккумулятивному подтипу относятся техноморфы, представленные насыпями твердых коммунальных и бытовых отходов, ограждающими валами и кавальерами, насыпными основаниями площадок полигонов, сооружаемых в процессе строительства, а также постройки хозяйственной зоны (рисунок 1). В процессе эксплуатации полигонов накапливается слой твердых отходов и формируется насыпь, которая увеличивается в размерах по мере их поступления. После накопления слоя мощностью 2–2,5 м производится его уплотнение при помощи специальной техники и изоляция слоем грунта

мощностью 0,15–0,25 м. В совокупном объеме техногенных накоплений, размещающихся в пределах полигонов ТКО, доля изолирующих грунтов достигает 10 %.



*а – полигон ТКО г. Пинска недалеко от д. Вулька-Городищенская Пинского р-на Брестской обл.;
б – полигон ТКО около д. Медно Брестского р-на Брестской обл.*

Рисунок 1 – Поверхности техноморф коммунального типа

Наиболее мощные по объему аккумуляции твердых отходов сосредоточены в пределах 18 крупных полигонов ТКО. Примером крупного объекта для хранения и захоронения отходов является полигон ТКО г. Пинска, расположенный вблизи д. Вулька-Городищенская Пинского р-на Брестской области. Эксплуатация первого участка ведется с 1973 г., и, по нашим оценкам, за это время был накоплен слой отходов объемом 2,6 млн м³, а высота сформированной техноморфы достигает 20–25 м, иногда более. По данным проведенных нами расчетов, суммарный объем накопленных твердых отходов на всех 18 крупных полигонах региона составляет около 11,1 млн м³.

На мини-полигонах также накапливаются твердые отходы, однако в значительно меньших объемах. Так, на мини-полигонах вблизи деревень Омелино и Медно Брестского р-на Брестской обл. сосредоточено около 35 000 и 6 800 м³ твердых отходов соответственно, а на мини-полигоне вблизи г. п. Ружаны Пружанского р-на Брестской обл. – около 3 700 м³. Выполненные расчеты показали, что на всех мини-полигонах юго-западного региона Беларуси всего аккумуляровано около 1,9 млн м³ отходов.

Подтип денудационного рельефа представлен выемками полигонов большой, средней и малой мощности и мини-полигонов, выровненными участками полигонов, выемками обводных каналов и водоотводных канав, чашами прудов и дезинфицирующих ванн. Трансформация рельефа земной поверхности в связи с проявлением техногенных геологических процессов деструктивного вида начинается с начала сооружения полигона: при строительстве котлована производственной зоны, которая занимает до 95 % площади полигона, изымаются природные грунты, производится их замена изолирующими составами и смесями. Кроме этого, для контроля за состоянием подземных вод предусматривается строительство колодцев, скважин, а для обеспечения концентрированного сбора жидких фильтратов из тела насыпи твердых отходов – обводных каналов и канав, которые также классифицируются как денудационные техноморфы коммунального типа (рисунок 2).



Рисунок 2 – Русло обводного канала на территории полигона ТКО г. Пинска недалеко от д. Вулька-Городищенская Пинского р-на Брестской обл.

Эксплуатация полигонов ТКО сопровождается формированием устойчивых геохимических аномалий в покровных отложениях и поверхностных водах. Так, в зонах воздействия полигонов ТКО установлено повышенное содержание В, Nb, Р, Cu, Pb, Mn, Co, Cr (содержание отдельно взятого микроэлемента превышает кларк концентрации в 1,5–2 раза), а также аномальные значения S, Ni, Y, Ba, Zr (содержание отдельно взятого микроэлемента превышает кларк концентрации в 2 и более раза). В случае неправильного устройства обводных канав и каналов или нарушения их функционирования происходит загрязнение поверхностных вод. По макрокомпонентам (содержание сухого остатка, сульфатов, хлоридов, нитрат-ионов) в пределах полученные значения полигонов не превышают нормативов ПДК. Наиболее высокие уровни загрязнения отмечены для азота аммонийного, фосфора фосфатного и органических веществ по ХПК в водах обводных каналов. Так, в воде обводного канала полигона ТКО г. Пинска содержание азота аммонийного в 4,4–4,6 раза превышает норматив ПДК, содержание органических веществ по ХПК – в 6,9 раза. Высокие концентрации азота аммонийного характерны и для полигона ТКО г. Лунина – коэффициент концентрации находится в пределах 2,1–7,9. В поверхностной воде полигона ТКО г. Лунина отмечаются также превышения ПДК по фосфору фосфатному (в 1,1–3,2 раза) и органическим веществам по ХПК (в 2,6–3,1 раза). По органическим веществам в пределах нормативов ПДК находятся АПАВ. Содержание НП в воде прудов и каналов находится ниже или на уровне ПДК (полигон ТКО г. Лунина), или в 1,2–1,5 раза превышает его (все остальные полигоны).

По содержанию МЭ и ТМ гидрохимическое состояние является в основном благополучным: отмечено их отсутствие в пробах Cd, Co, Se, Sb, As и Sn. Концентрации

Pb, Ni и, кроме единичных случаев, Cu (пруд, полигон ТКО г. Луинец), Cr (канал, полигон ТКО г. Пинска) и Mo (канал, полигон ТКО г. Лунина) не превышают значенный ПДК. По содержанию МЭ и ТМ в обводных каналах возле северной границы полигона ТКО г. Пинска норматив ПДК превышен по Mn; в воде канала, расположенного по потоку грунтовых вод в юго-восточном направлении, превышение является максимальным по Mn и составляет 16,9 раза.

В воде канала отмечено присутствие Cr. В водах прудов отмечаются незначительные (в 1,3 раза) превышения ПДК по Cu и Zn (пруд на территории полигона ТКО г. Лунина), по Zn – в 1,3 раза и Mn в 1,8 раза (пруд возле полигона ТКО г. Бреста), по Mn – в 3,1 раза (пруд при въезде на полигон ТКО г. Кобрин).

При оценке гидрохимического состояния поверхностных вод в зонах влияния полигонов необходимо учитывать воздействие на них от других источников. Например, обводной канал возле полигона ТКО г. Лунина расположен между телом полигона и картами городских очистных сооружений, пруд около полигона ТКО г. Пинска – в непосредственной близости от сельхозугодий, каналы возле этого полигона – в контакте с сельскохозяйственными землями (северное направление) или являются частью мелиорированных агроландшафтов (юго-восточное направление).

Заклучение

1. В результате складирования и захоронения отходов формируются своеобразные аккумулятивные и денудационные техноморфы коммунального типа. Совокупное количество этих морфообразований на территории юго-западного региона Беларуси составляет 214, а объем аккумулированных отходов достигает 13 млн м³.

2. Эксплуатация полигонов ТКО сопровождается формированием устойчивых геохимических аномалий в покровных отложениях. В зоне воздействия полигонов ТКО установлено повышенное содержание B, Nb, P, Cu, Pb, Mn, Co, Cr (содержание в 1,5–2 раза больше кларка концентрации), а также аномальные значения S, Ni, Y, Ba, Zr (содержание в 2 и более раза больше кларка концентрации).

3. Поверхностные воды в зонах влияния полигонов ТКО отличаются в целом благоприятной гидрохимической ситуацией. Среди макрокомпонентов содержание сухого остатка, сульфатов, хлоридов и нитратов и среди органических соединений содержание АПАВ не превышает нормативы ПДК для поверхностных вод.

Наиболее высокие уровни загрязнения в группе макрокомпонентов отмечены для азота аммонийного и органических веществ по ХПК в водах обводных каналов, где их содержание может в 7,9 и 6,9 раза соответственно превышать нормативы ПДК.

По ТМ и МЭ отмечено отсутствие в водах Cd, Co, Se, Sb, As и Sn; концентрации Pb, Ni и, кроме единичных случаев, Cu, Cr и Mo не превышают нормативов ПДК.

Константными загрязнителями поверхностных вод по отношению к нормативам ПДК являются органические вещества по ХПК и азот аммонийный с диапазонами концентраций, соответственно, 65,7–172,0 и 0,48–3,1 мг/дм³, превышения которых отмечены в 83 % проанализированных проб; к приоритетным загрязнителям относятся марганец (75 % проб) и нефтепродукты (67 % проб).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кухарик, Е. А. Современные геологические процессы на территории юго-западной Беларуси / Е. А. Кухарик. – Минск : Беларус. навука, 2024. – 156 с.
2. Водопьянов, П. А. На переломе эпох: выбор стратегии созидания будущего / П. А. Водопьянов. – Минск : Беларус. навука, 2023. – 469 с.

3. Китиков, В. О. Ресурсный и экологический анализ технологий обращения с твердыми коммунальными отходами / В. О. Китиков, И. В. Барановский, И. И. Вага ; под ред. В. О. Китикова. – Минск : Беларус. навука, 2023. – 196 с.
4. Михальчук, Н. В. Типизация полигонов твердых коммунальных отходов Брестской области по эксплуатационным показателям / Н. В. Михальчук, Е. Н. Басалай, А. В. Безручко // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 2. – С. 123–128.
5. Хомич, В. С. Техногенные гидрогеохимические аномалии в зонах воздействия полигонов твердых отходов / В. С. Хомич, Н. В. Ковальчик, Т. И. Кухарчик // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2006. – № 1. – С. 65–70.
6. Лебедзева, Л. Д. Геолага-гідрагеалагічныя крытэрыі выбару месцаў захавання адходаў вытворчасці і спажывання ў Беларусі / Л. Д. Лебедзева // Літасфера. – 2000. – № 12. – С. 142–145.
7. Кухарик, Е. А. Техногенные морфообразования коммунального типа на территории юго-западной Беларуси / Е. А. Кухарик // Сб. материалов XXII Респ. науч.-практ. конф. молодых ученых, Брест, 15 мая 2020 г. : в 2 ч. ; под общ. ред. А. Е. Будько. – Брест : БрГУ, 2020. – Ч. 1. – С. 41–42.
8. Техногенные грунты : учеб. пособие / А. Н. Галкин [и др.]. – Минск : Выш. шк., 2020. – 192 с.
9. Сбор и переработка твердых коммунальных отходов / Л. И. Соколов [и др.]. – М. : Инфра-Инженерия, 2017 – 176 с.
10. Рельеф и человек / Г. Ф. Уфимцев [и др.] ; отв. ред. Т. М. Сковитина, А. А. Щетников. – М. : Науч. мир, 2007. – 200 с.
11. Розанов, Л. Л. Технолитоморфная трансформация окружающей среды / Л. Л. Розанов ; отв. ред. Ю. Г. Симонов. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 184 с.
12. Belevi, H. Long-term behavior of municipal solid waste landfills / H. Belevi, P. Baccini // Waste Management & Research. – 1989. – Vol. 7, iss. 1. – P. 43–56. DOI: 10.1016/0734-242X(89)90007-4
13. Peloggia, A. U. G. Geological classification and mapping of technogenic (artificial) ground: a comparative analysis / A. U. G. Peloggia // Revista do Instituto Geológico. – 2018. – Vol. 39 (2). – P. 1–15. DOI:10.5935/0100-929X.20180005
14. Матвеев, А. В. Геохимия четвертичных отложений Беларуси / А. В. Матвеев, В. Е. Бордон. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 191 с.
15. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов [Электронный ресурс] : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 30 марта 2015 г., № 13 : с изм. и доп. от 26 мая 2017 г., № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21529808>. – Дата доступа: 02.10.2024.

REFERENCES

1. Kukharik, Je. A. Sovriemiennye geologichieskiye processy na territorii jugo-zapadnoj Bielarusi / Je. A. Kukharik. – Minsk : Bielarus. navuka, 2024. – 156 s.
2. Vodop'janov, P. A. Na pierielomie epokh: vybor strategii sozidaniya budushchiego / P. A. Vodop'janov. – Minsk : Bielarus. navuka, 2023. – 469 s.

3. Kitikov, V. O. Riesursnyj i ekologichieskij analiz tiekhnologij obrashchienija s tvordymi kommunal'nymi otkhodami / V. O. Kitikov, I. V. Baranovskij, I. I. Vaga ; pod ried. V. O. Kitikova. – Minsk : Bielarus. navuka, 2023. – 196 s.

4. Mikhal'chuk, N. V. Tipizacija poligonov tvordykh kommunal'nykh otkhodov Briestskoj oblasti po ekspluatacionnym pokazatieliam / N. V. Mikhal'chuk, Je. N. Basalaj, A. V. Biezruchko // Aktual'nyje problemy nauk o Ziemlie: issliedovanija transgranichnykh riegionov : sb. materialov VI Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., Briest, 26–28 okt. 2023 g. : v 2 ch. / In-t prirodopol'zovanija NAN Bielarusi, Briest. gos. un-t im. A. S. Pushkina, Briest. gos. tiekhn. un-t ; riedkol.: S. A. Lysienko (gl. ried.) [i dr.]. – Briest : BrGU, 2023. – Ch. 2. – S. 123–128.

5. Khomich, V. S. Tiekhnogiennyje gidrogeokhimichieskije anomalii v zonakh vozdiejstvija poligonov tvordykh otkhodov / V. S. Khomich, N. V. Koval'chik, T. I. Kukharchik // Viestn. BGU. Sier. 2, Khimija. Biologija. Gieografija. – 2006. – № 1. – S. 65–70.

6. Liebiedzieva, L. D. Hieolaha-hidrahiealahichnyja kryteryi vybaru miescau zakhavanija adkhodau vytvorchasci i spazhyvannia u Bielarusi / L. D. Liebiedzieva // Litasfiera. – 2000. – № 12. – S. 142–145.

7. Kukharik, Je. A. Tiekhnogiennyje morfoobrazovanija kommunal'nogo tipa na territorii jugo-zapadnoj Bielarusi / Je. A. Kukharik // Sb. materialov XXII Riesp. nauch.-prakt. konf. molodykh uchionykh, Briest, 15 maja 2020 g. : v 2 ch. ; pod obshch. ried. A. Je. Bud'ko. – Briest : BrGU, 2020. – Ch. 1. – S. 41–42.

8. Tiekhnogiennyje grunty : uchieb. posobie / A. N. Galkin [i dr.]. – Minsk : Vysh. shk., 2020. – 192 s.

9. Sbor i pierierabotka tvordykh kommunal'nykh otkhodov / L. I. Sokolov [i dr.]. – M. : Infra-Inzhenerija, 2017 – 176 s.

10. Riel'jef i chieloviek / H. F. Ufimcev [i dr.] ; otv. ried. T. M. Skovitina, A. A. Shchietnikov. – M. : Nauch. mir, 2007. – 200 s.

11. Rozanov, L. L. Tiekhnolitomorfnaia transformacija okruzhajushchiej sriedy / L. L. Rozanov ; otv. ried. Ju. G. Simonov. – M. : Izd-vo NC ENAS, 2001. – 184 s.

12. Belevi, H. Long-term behavior of municipal solid waste landfills / H. Belevi, P. Baccini // Waste Management & Research. – 1989. – Vol. 7, iss. 1. – P. 43–56. DOI: 10.1016/0734-242X(89)90007-4

13. Peloggia, A. U. G. Geological classification and mapping of technogenic (artificial) ground: a comparative analysis / A. U. G. Peloggia // Revista do Instituto Geológico. – 2018. – Vol. 39 (2). – P. 1–15. DOI:10.5935/0100-929X.20180005

14. Matviejev, A. V. Gieokhimija chietviertichnykh otlozhenij Bielarusi / A. V. Matviejev, V. Je. Bordon. – Minsk : Bielarus. navuka, 2013. – 191 s.

15. Ob ustanovlienii normativov kachiestva vody povierkhnostnykh vodnykh objektov [Elektronnyj riesurs] : postanovlienije M-va prirodnnykh riesursov i okhrany okruzhajushchiej sriedy Riesp. Bielarus', 30 marta 2015 g., № 13 : s izm. i dop. ot 26 maja 2017 g., № 16 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Riespubliki Bielarus'. – Riezhim dostupa: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21529808>. – Data dostupa: 02.10.2024.

УДК 551.1/4(476.6)

**Анна Николаевна Маевская¹, Максим Альбертович Богдасаров²,
Николай Николаевич Шешко³, Татьяна Анатольевна Шелест⁴**

¹магистр геогр. наук, исследователь, преподаватель каф. городского и регионального развития
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²д-р геол.-минерал. наук, проф., член-кор. Национальной академии наук Беларуси,
проф. каф. городского и регионального развития
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³канд. техн. наук, доц., нач. науч.-исслед. части, доц. каф. природообустройства
Брестского государственного технического университета

⁴канд. геогр. наук, доц., нач. науч.-исслед. сектора,
доц. каф. городского и регионального развития

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Anna Mayevskaya¹, Maksim Bahdasarau², Nikolay Sheshko³, Tatiana Shelest⁴

¹Master of Geographical Sciences, Researcher,
Lecturer of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University

²Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus,
Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University

³Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department,
Associate Professor of the Department of Environmental Management
of Brest State Technical University

⁴Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of Research Sector,
Associate Professor of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: ¹maevskaya.anna@inbox.ru; ²bogdasarov73@mail.ru; ³optimum@tut.by; ⁴tashelest@mail.ru

СТРУКТУРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ГИС-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ*

Представлен опыт создания набора структурно-геологических картосхем кайнозойских отложений территории Гродненской области Республики Беларусь. Процесс построения картосхем состоял из нескольких последовательных этапов, реализованных в программной среде ArcGIS. По итогам картографирования, которое было выполнено с использованием наиболее полных материалов геологического бурения, детализированы особенности залегания горизонтов кайнозойской толщи на территории региона. Сформированный цифровой картографический материал характеризуется высокоточной пространственной привязкой. Его можно быстро и своевременно корректировать с учетом новых литературных данных, материалов инженерно-геологических и гидрологических изысканий.

Ключевые слова: Гродненская область, кайнозойские отложения, база данных, ГИС-технологии, структурно-геологические карты.

Structural-Geological GIS-Mapping of the Cenozoic Sediments of the Territory of the Grodno region of the Republic of Belarus

The paper presents the experience of creating a set of structural-geological cartograms of Cenozoic sediments of the Grodno region of the Republic of Belarus. The process of mapping consisted of several consecutive stages realized in ArcGIS software environment. According to the results of mapping, which was performed using the most complete materials of geological drilling, the features of Cenozoic strata horizons occurrence on the territory of the region were detailed. The formed digital cartographic material is characterized by high-precision spatial reference. It can be quickly and timely corrected taking into account new literature data, materials of engineering-geological and hydrological surveys.

Key words: Grodno region, Cenozoic sediments, database, GIS-technologies, structural-geological maps.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках выполнения задания «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений территории Брестской и Гродненской областей как основы для прогнозирования новых наиболее доступных месторождений минерального сырья» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Введение

По тектоническому районированию территории Беларуси [1] Гродненская обл. большей своей частью приурочена к крупной положительной тектонической структуре – Белорусской антеклизе, протягивающейся за границы региона в центральные районы страны и на сопредельную территорию Польши. Лишь юго-западный участок Гродненской обл. выходит за границы антеклизы, занимая пространство прилегающей отрицательной структуры – Подляско-Брестской впадины, отделенной от антеклизы Свислочьским разломом. Глубина залегания кристаллического фундамента на большей части территории региона высокая, местами достигает до +0,1 км [2].

В структуре платформенного чехла Гродненской области весьма широко представлены кайнозойские отложения. Именно с кайнозойским периодом связано формирование современного рельефа, гидрографической сети этой территории, а также накопление мощных и разнообразных в литологическом отношении отложений, которые играют важную роль в регионе ввиду нескольких особенностей. Во-первых, кайнозойские отложения служат источником различных полезных ископаемых, прежде всего общераспространенных полезных ископаемых [3], во-вторых, выступают тем субстратом, на котором осуществляется хозяйственная деятельность в области. Указанные особенности свидетельствуют об актуальности работ по детализации строения и структуры кайнозойских отложений на территории региона.

Цель настоящего исследования заключалась в детализации строения кайнозойских отложений на территории Гродненской области путем создания с применением ГИС-технологий комплекта цифровых погоризонтных структурно-геологических картосхем на основе интерпретации данных о геологическом строении данной территории. Созданные цифровые картосхемы и привязанные к ним цифровые базы данных геологической информации послужат основой для решения разноплановых задач, стоящих перед геологической отраслью в Республике Беларусь в целом и в Гродненской обл. в частности.

Материалы и методика исследования

Информационной базой исследования послужили материалы буровой изученности территории Гродненской обл., предоставленные Институтом природопользования Национальной академии наук Беларуси и Научно-производственным центром по геологии Минприроды Республики Беларусь. Специфика используемых материалов заключается в следующем:

- 1) большой объем сведений (представлена информация более чем о 20 характеристиках по более чем 2 000 скважин);
- 2) разноплановый формат данных (информация представлена в числовом, знаковом и беззнаковом видах, в текстовом и иных видах);
- 3) геопространственный контекст (по каждой скважине указана пространственная позиция – широта/долгота);
- 4) неравномерность сети данных бурения, что видно на рисунке 1.

Наряду с описанной базой данных авторами использовались накопленные предшественниками обширные материалы о геологическом строении области, которые применялись для оценки корректности выполняемых в ходе моделирования построений.

Процедура построения каждой структурно-геологической картосхемы, которая была реализована в среде ArcGIS, базировалась на методике, включающей несколько этапов, описание которых приводится ниже. В ее основу был положен алгоритм обработки данных геологического бурения, разработанный авторами ранее и успешно апробированный на буровых данных территории Брестской обл. [4].

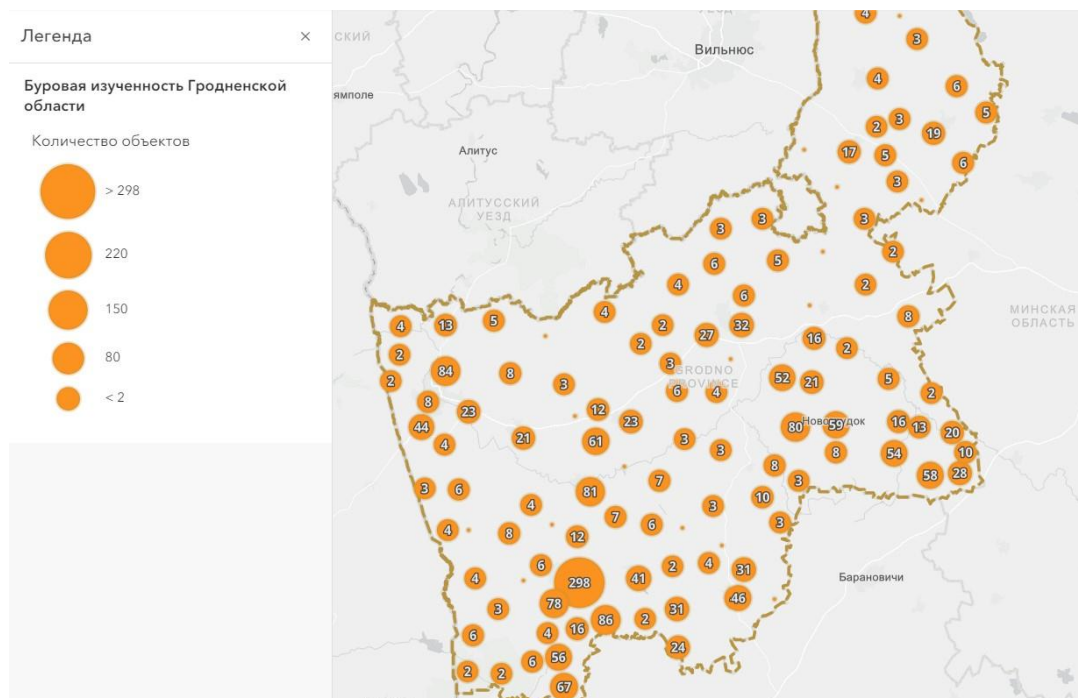


Рисунок 1 – Концентрация буровых скважин на территории Гродненской обл.

Этап 1. Подготовка данных экспортированию в ГИС-оболочку, включавшая такие шаги, как:

1) создание сводной таблицы MS Access на основе нескольких связанных между собой таблиц;

2) форматирование данных в MS Excel: удаление дубликатов столбцов, корректировку стратиграфических названий и индексов в соответствии с актуальной стратиграфической схемой, добавление столбцов «Кровля слоя» и «Подошва слоя», расчеты абсолютных отметок залегания подошвы и кровли;

3) экспорт данных в ГИС-оболочку на основе встроенной функции ArcGIS «Добавить XY данные».

Этап 2. Проверка корректности первичных данных включала такие шаги, как:

1) поиск «выбросов» в данных на основе применения инструмента кригинг (kriging);

2) удаление скважин, включающих ошибочные показатели.

Этап 3. Построение моделей подошвы и кровли пластов. Направлено на создание первичных моделей подошвы и кровли, которые стали основой для установления неточностей, возникающих в процессе моделирования поверхностей раздела стратиграфических слоев. Для построения моделей был использован инструмент Topo to Raster, позволяющий создавать наиболее точные модели строения подземного рельефа.

Этап 4. Верификация моделей, которая включала следующие шаги:

1) переклассификация растровых поверхностей по значениям ячеек подошва, кровля (например, подошва четвертичной системы и кровля неогеновой системы);

2) вычитание переклассифицированных растров, по итогам которого формировались два типа поверхностей: а) поверхности, где ошибки в построении отсутствовали, не требующие дальнейшей обработки; б) поверхности, имеющие ошибки в построении и требующие проведения процедуры уравнивания.

Этап 5. Уравнивание поверхностей. Реализовывалось только применительно к моделям раздела стратиграфических слоев, которые имели ошибки в построении.

Этап 6. Построение растров распределения мощностей отложений. Выполнялось на основе сформированных и обработанных растров подошвы и кровли отложений. Создание таких растров производилось путем вычитания раstra подошвы из раstra кровли. Дополнительно выполнялись расчеты мощности вскрыши, которая дает представление о величине толщи пород над верхней поверхностью горизонта.

Этап 7. Построение изогипс. Выполнялось в автоматическом режиме с применением встроенного инструмента ArcGIS «Изолинии» на основе созданных и обработанных растровых моделей подошвы, кровли, мощности отложений, мощности вскрышных пород.

Этап 8. Компонировка и оформление итоговых карт. Процедура компоновки каждой картосхемы включала размещение всех ее элементов, формирование общего вида картосхемы, с учетом основных рекомендаций по картасоставлению. Также на данном этапе выполнялась разработка дизайнерских приемов оформления и символизации картосхем, способов отображения картографического изображения. Подбирались интервалы классов, цвета, типы линий и другие графические элементы. Принимая во внимание тот факт, что разработанные материалы планировалось использовать в цифровом виде, окончательно оформленные скомпонованные карты экспортировались в виде растровых изображений в формате tif с разрешением 300 dpi.

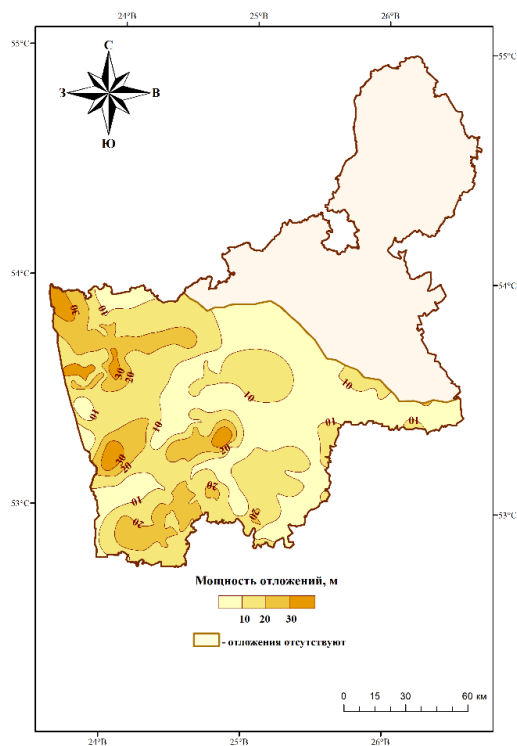
Результаты и обсуждение

В результате работы, проведенной по описанной выше методике, созданы цифровые модели погоризонтных структурно-геологических картосхем (схемы залегания подошвы, кровли, мощности отложений, мощности вскрышных пород) для палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложений Гродненской обл.

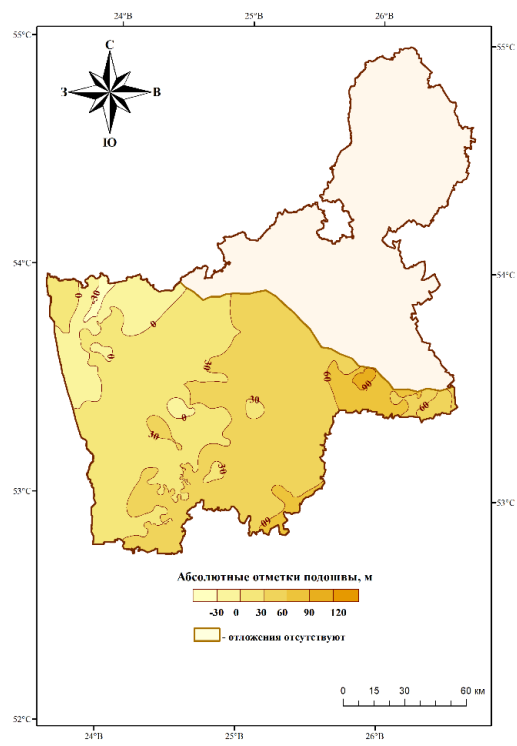
Анализ полученных картографических материалов позволил детализировать особенности геологического строения кайнозойских отложений исследуемого региона.

Палеогеновые отложения сконцентрированы в южной половине территории Гродненской обл. (рисунок 2) и вскрыты здесь в 930 скважинах. Перекрывается толща палеогеновых пород неогеновыми (на отдельных участках) и четвертичными отложениями. В литологическом отношении палеогеновая толща сложена отложениями киевского горизонта (P2kv) эоцена, харьковского горизонта (P2-3hr) верхнего эоцена – нижнего олигоцена. Анализ гипсометрии подошвы описываемых образований (рисунок 2а) показывает, что наиболее высокое положение они занимают в юго-западных и западных частях региона (80–90 м), наименьшее – в восточных (до –20–30 м). Глубина их залегания в среднем составляет 152 м. Представление о мощности палеогеновых отложений дает рисунок 2б. Средняя мощность толщи описываемых отложений составляет 15–20 м. Максимальные показатели (30 м и более) отмечаются на ограниченных участках в западной части региона. Мощность вскрышных пород изменяется от 50–60 м на севере области до 150 м и более в ее южных и восточных частях.

Неогеновые отложения в границах Гродненской обл. занимают незначительные площади (рисунок 3). Они вскрыты здесь в 710 скважинах и в виде отдельных пятен отмечаются в южных, юго-восточных и западных частях региона. Залегая на палеогеновых породах, они непосредственно подстилают четвертичную толщу. В литологическом отношении неогеновая толща Гродненской области сложена аккумуляциями бриневского (P3–N1br) и антопольского (N1an) надгоризонтов миоцена, а также колочинского надгоризонта (N2kl) плиоцена. Абсолютные отметки подошвы описываемых образований в среднем составляют около 50 м (рисунок 3а). Глубина залегания отложений варьирует от 70–80 до 170–180 м. Средняя мощность отложений колеблется в интервале 40–45 м, при этом максимальные показатели (55,8 м) характерны для южных частей области (рисунок 3б). Мощность вскрышных пород в среднем составляет 160 м.

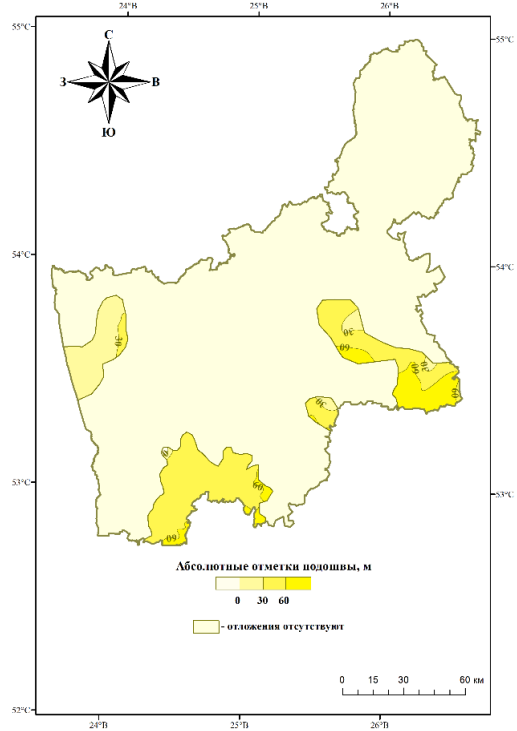


а) картосхема изогипс палеогеновых отложений на территории Гродненской обл.

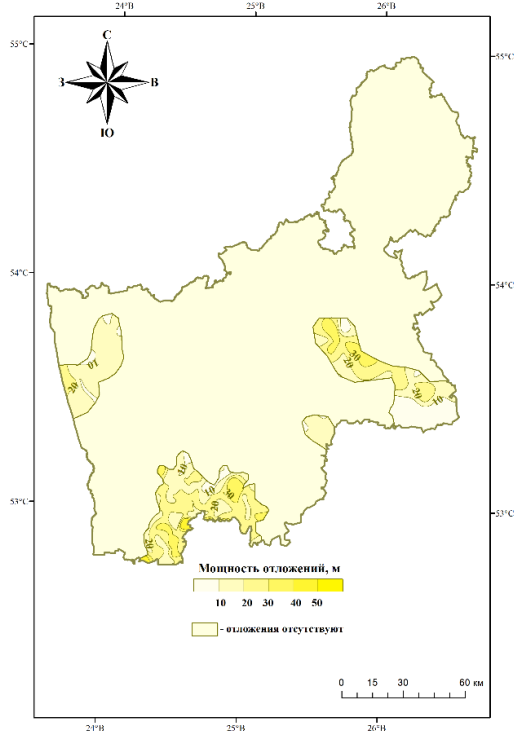


б) картосхема изопахит палеогеновых отложений на территории Гродненской обл.

Рисунок 2 – Структурные картосхемы, выполненные для палеогеновых отложений Гродненской обл.



а) картосхема изогипс неогеновых отложений на территории Гродненской обл.



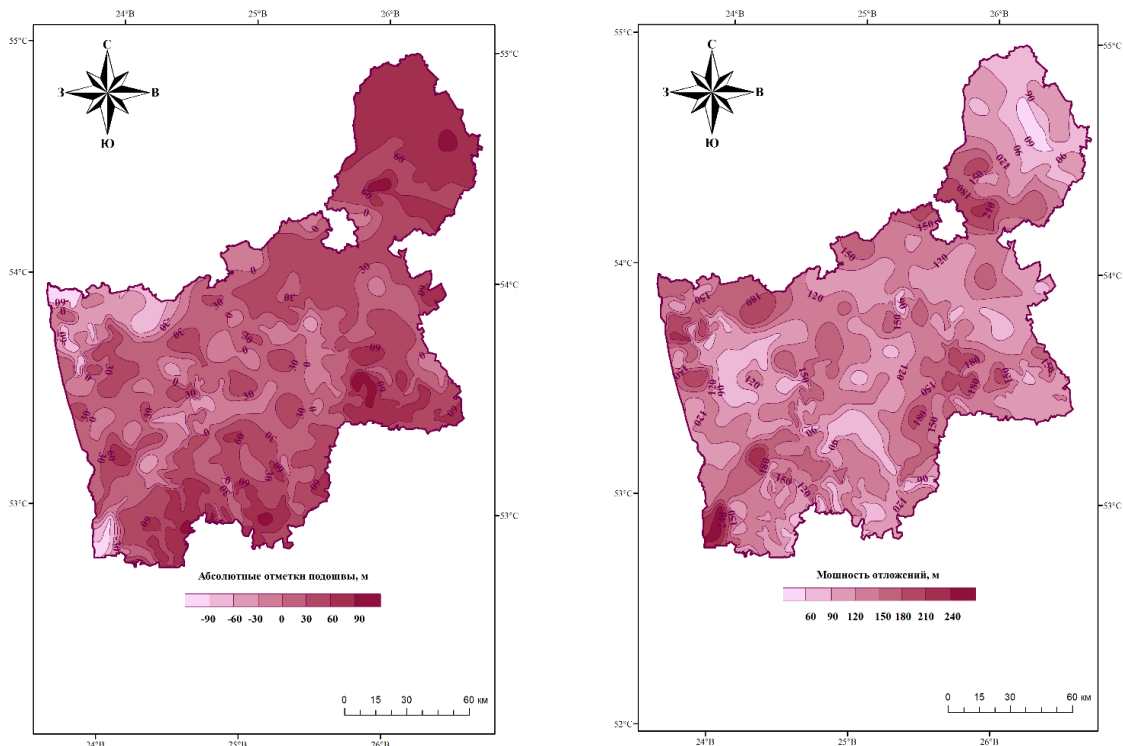
б) картосхема изопахит неогеновых отложений на территории Гродненской обл.

Рисунок 3 – Структурные картосхемы, выполненные для неогеновых отложений Гродненской обл.

Четвертичные образования в пределах территории Гродненской обл. сплошным чехлом покрывают более древние образования (рисунок 4). Сведения об отложениях квартера на территории области представлены более чем по 2 000 скважин. Толща четвертичных пород в пределах исследуемого региона расчленяется на ледниковые и разделяющие их межледниковые горизонты. В соответствии с современной стратиграфической шкалой в ее составе выделяются отложения плейстоценового отдела, сформированные шестью горизонтами среднего подотдела и двумя горизонтами верхнего подотдела, которые, в свою очередь, перекрываются судобльским горизонтом голоценового отдела.

Поверхность подошвы четвертичных отложений неровная. Абсолютные отметки ее залегания изменяются от -168 до 183 м (рисунок 4а). При этом наиболее высокое положение они занимают на севере и в юго-восточных и восточных частях области (более 100 м).

Мощность четвертичных пород в среднем составляет 120 м (рисунок 4б) и достигает своих максимальных значений (более 200 м) в понижениях и на склонах древних водоразделов.



а) картосхема изогипс четвертичных отложений на территории Гродненской обл.

б) картосхема изопахит четвертичных отложений на территории Гродненской обл.

Рисунок 4 – Структурные картосхемы, выполненные для четвертичных отложений Гродненской обл.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе впервые применительно ко всей толще кайнозойских отложений территории Гродненской обл. составлены цифровые комплекты:

- 1) структурно-геологических картосхем, отражающих строение подошвы и кровли горизонтов кайнозойской толщи;
- 2) картосхем изопахит, отражающих характеристики мощностей горизонтов кайнозоя и пространственные особенности распределения отложений;

3) картосхем изопакит вскрышных пород, отражающих сведения о перекрывающих толщах каждого горизонта.

Выполненные картографические материалы позволили детализировать накопленные предшественниками сведения об особенностях геологического строения стратиграфических подразделений кайнозоя в границах территории Гродненской обл. Они имеют высокоточную пространственную привязку.

Представленная на картах информация доступна к ее быстрому и максимально полному использованию при геолого-съёмочных и поисково-разведочных работах, в учебном процессе при подготовке специалистов-геологов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нацыянальны атлас Беларусі / Кам. па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі, Белкартаграфія ; рэдкал.: М. У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.

2. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.] ; под ред. А. С. Махнача. – Минск : ИГН НАНБ, 2001. – 814 с.

3. Модельный кодекс о недрах и недропользовании для государств – участников СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iacis.ru/public/upload/files/1/140.-pdf?ysclid=ldwtzuniil168437426>. – Дата доступа: 19.02.2023.

4. Маевская, А. Н. Алгоритм обработки данных геологических изысканий с применением ГИС-технологий (на примере материалов буровой изученности территории Брестской области) / А. Н. Маевская, Н. Н. Шешко, М. А. Богдасаров // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2020. – № 2. – С. 94–103.

REFERENCES

1. Nacyjanal'ny atlas Bielarusi / Kam. pa ziamiel'nykh resursakh, hieadezii i kartahrafii, Bielkartahrafija ; redkal.: M. U. Miasnikovich [i insh.]. – Minsk : Bielkartahrafija, 2002. – 292 s.

2. Gieologija Bielarusi / A. S. Makhnach [i dr.] ; pod ried. A. S. Makhnacha. – Minsk : IGN NANB, 2001. – 814 s.

3. Model'nyj kodeks o niedrakh i niedropolzovanii dlja gosudarstv – uchastnikov SNG [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <https://iacis.ru/public/upload/files/1/140.-pdf?ys-clid=ldwtzuniil168437426>. – Data dostupa: 19.02.2023.

4. Majevskaia, A. N. Algoritm obrabotki dannykh gieologichieskikh izyskanij s primienieniem GIS-tiekhnologij (na primierie matierialov burovoj izuchiennosti tierritorii Bries-tskoj oblasti) / A. N. Majevskaia, N. N. Sheshko, M. A. Bogdasarov // Viesn. Bresc. un-ta. Sier. 5, Khimija. Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2020. – № 2. – S. 94–103.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 08.07.2024

УДК 911.3 (476)+342.26

Александр Александрович Сидорович*канд. геогр. наук, доц., доц. каф. городского и регионального развития
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина***Alexandr Sidorovich***Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor
of the Department of Urban and Regional Development
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: brestsid@gmail.com***ВЫПОЛНЕНИЕ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ
КАК ФАКТОР ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПОСЕЛЕНИЙ***

Установлено, что за период 1938–2023 гг. статус центров районов имели 189 поселений, из них 118 выполняют соответствующие функции в настоящее время, а 71 поселение утратило такой статус к 1962 г. Утрата функций райцентров лишила поселения значительного импульса социально-экономического и демографического развития. За межпереписной период 1959–2019 гг. численность населения бывших районных центров снизилась на 29 %. В бывших райцентрах, имеющих в настоящее время статус городов, численность населения увеличилась на 30 %. В сельских поселениях, обладавших ранее статусом райцентров, людность снизилась на 22 %. Наибольшая убыль населения (37 %) зафиксирована в городских поселках. При этом в целом в действующих райцентрах отмечен прирост населения в 204 %, а без учета Минска и городов областного подчинения – в 150 %. Численность населения 19 городских поселков, выступающих в роли центров существующих районов, увеличилась на 88 %.

Ключевые слова: система расселения, демографическое развитие, районные центры, административные функции, административно-территориальное деление, Беларусь, городские поселения.

**Performance of Administrative Functions as a Factor
of Demographic Development of Settlements**

It has been established that for the period 1938–2023, 189 settlements had the status of district centers, of which 118 perform the corresponding functions at present, and 71 lost this status by 1962. During the intercensal period of 1959–2019, the population of the former district centers decreased by 28,6 %. In the former district centers, which now have the status of a city, the population increased by 30,2 %. In rural settlements that previously had the status of district centers, the population decreased by 21,5 %. The largest population (37,3 %) decline was recorded in urban settlements. At the same time, in the existing district centers, an increase of 204 % was noted, and without taking into account Minsk and cities of regional subordination – 150 %. The population of 19 urban settlements, which serve as centers of existing districts, increased by 88 %.

Key words: system of settlement, demographic development, district centers, administrative functions, administrative-territorial division Belarus, urban settlements.

Введение

Территориальный каркас организации жизни населения представлен сетью населенных пунктов. Центральное место в этой сети занимают городские поселения как наиболее крупные точки экономического развития и концентрации населения, производства, информационных и финансовых потоков. Все поселения образуют иерархическую систему политико-административной и социально-экономической соподчиненности. За счет различных функциональных связей обеспечивается единство и целостность территории. Вместе с тем формирование сети поселений представляет собой сложный многофакторный и длительный процесс [1]. Среди всего многообразия факторов развития поселений особое место занимает выполнение ими административных функций. Очевидно, что чем выше уровень выполняемых функций, тем в большей степени это стимулирует приток населения и инвестиций. Административная функция поселения в системе государственно-управленческой иерархии находится в зависимости от демографического потенциала, уровня развития социально-экономической базы, экономико-географического положения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ (грант № Г23ИП-035) (№ госрегистрации 20231011).

Цель исследования – оценить роль административной функции в демографическом развитии поселений на примере центров административно-территориальных районов Беларуси во второй половине XX – начале XXI в.

Материалы и методика исследования

Административный центр – населенный пункт, в котором находятся местный Совет депутатов и исполнительный и распорядительный орган. В соответствии с Законом Республики Беларусь от 5 мая 1998 г. № 154-З «Об административно-территориальном устройстве Республики Беларусь» выделяется три уровня административно-территориального деления:

- первый уровень: столица Беларуси и области;
- второй (базовый) уровень: города областного подчинения и районы;
- третий (первичный) уровень: города районного подчинения, поселки городского типа (городские, курортные и рабочие поселки) и сельские населенные пункты [2].

В круг данного исследования входят населенные пункты, выполняющие либо выполнявшие во второй половине XX в. роль центров административно-территориальных районов. Вместе с тем действующая система административно-территориального устройства Беларуси «область – район – сельсовет» сформировалась в январе 1938 г., когда в составе Белорусской ССР (БССР) были образованы Витебская, Гомельская, Минская, Могилевская и Полесская области [3]. В феврале 1938 г. Центральным исполнительным комитетом БССР было принято постановление об организации районного административно-территориального деления созданных областей, в составе которых было образовано 90 районов. Осенью 1939 г. с включением в состав БССР Западной Беларуси число областей возросло до 10, в составе которых находился 191 район.

В западных регионах Беларуси 4 декабря 1939 г. были образованы пять областей: Барановичская, Белостокская, Брестская, Вилейская и Пинская [4]. Затем, 15 января 1940 г., был принят Указ Президиума Верховного Совета БССР «Об образовании районов в Барановичской, Белостокской, Брестской, Вилейской и Пинской областях Белорусской ССР», в соответствии с которым в этих областях упразднялось деление на уезды и вводилось районное деление [5, с. 98–103]. В соответствии с ним на территории Западной Беларуси был создан 101 район, из которых с центрами в пределах современных границ Беларуси – 79. Значительный урон Беларуси был нанесен немецко-фашистскими захватчиками в ходе Второй мировой войны. В стране было разрушено 209 городов и городских поселков, 9 200 сел и деревень [6, с. 42]. После освобождения территории Беларуси по Договору между СССР и Польской Республикой о советско-польской государственной границе от 16 августа 1945 г. 18 районов Белостокской и три района Брестской области (Гайновский, Клещельский, Семятичский) передавались Польше.

С целью повышения эффективности организационно-административного управления в послевоенное время шел поиск оптимальной схемы административно-территориального деления страны, продолжавшийся вплоть до середины 1960-х гг. В 1956–1962 гг. доминировал тренд на укрупнение районов, что, безусловно, предполагало упразднение ряда районов. Самое масштабное упразднение районов имело место в декабре 1962 г., когда из 123 районов 46 прекратили свое существование. Однако уже в 1965–1966 гг. с учетом целесообразности разукрупнения ряда районов было вновь образовано 40 районов (17 в 1965 г. и 23 в 1966 г.).

Далее на протяжении более 30 лет сложившееся административно-территориальное деление на уровне областей и районов оставалось неизменным. Лишь 29 декабря 1989 г. был образован 118-й район – Дрибинский (ранее был упразднен в 1959 г.) для переселения лиц, оказавшихся на пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС территориях Могилевской области.

Таким образом, хронологические рамки исследования охватывают 1938–2023 гг. Анализ современного административно-территориального устройства Беларуси не представляет особой сложности. Ключевым источником выступает информационно-картографический ресурс «Публичная карта Беларуси» (<https://map.nca.by/>) Национального кадастрового агентства Беларуси [7], который может быть дополнен различными публикациями и информационными ресурсами Национального статистического комитета Республики Беларусь [8]. В то же время установление административно-территориального устройства в предшествующие периоды представляет собой более сложную задачу, которая многократно усложняется необходимостью сбора не дискретной информации об административно-территориальном делении на конкретные выборочные даты заявленного исследовательского периода, а континуальных сведений за этот период.

В связи с тем что изменение административного статуса закрепляется юридически, первичным источником информации выступают сборники нормативно-правовых документов, в частности Указы Президиума Верховного Совета Белорусской ССР, Указы Президента Республики Беларусь и др. [5, 9–11]. Однако методическая проблема заключается в установлении всего спектра таких документов. Это требует привлечения дополнительных источников информации, позволяющих минимизировать вероятность пропуска (упущения) факта выполнения тем или иным поселением роли районного центра. Такими источниками являются статистические сборники и бюллетени [12–17], справочники по административно-территориальному делению [18–21], картографические материалы [22–26] и энциклопедические издания [27]. Перекрестный анализ различных источников позволил установить, что за период 1938–2023 гг. статус центров административно-территориальных районов имели 189 поселений, из которых 118 выполняют соответствующие функции в настоящее время и 71 населенный пункт утратил такой статус фактически за период 1940–1962 г. (рисунок 1).



Рисунок 1 – Поселения Беларуси, утратившие статус районных центров за период 1938–2023 гг.

Сравнение динамики численности населения (относительного прироста/убыли) действующих районных центров с аналогичным показателем поселений, утративших такой статус, а также сопоставление изменения численности населения по отдельным категориям поселений (города, поселки городского типа и сельские поселения) позволяет оценить степень влияния административного статуса на демографическое развитие поселений. В качестве источников данных о численности населения целесообразно использовать результаты переписей населения, позволяющие в полной мере охватить все населенные пункты, и в первую очередь сельские, сведения о численности населения которых представлены в научной публицистике весьма ограниченно и хронологически разнородно, а в статистических изданиях не представлены и вовсе. Поскольку упразднение районов происходило в 1956–1962 гг., то в качестве начала периода предлагается рассматривать год первой послевоенной переписи населения – 1959. Таким образом, к этому времени одна часть районов была упразднена, а районные центры утратили такой статус не более чем за три года до переписи населения. Другая же часть районов была упразднена, а их районные центры лишились своего статуса не позднее трех лет после переписи. Следовательно, предложенное начало периода позволяет анализировать демографическое развитие бывших районных центров в относительно равных условиях с точки зрения административного статуса. В качестве окончания аналитического периода рассматривается год последней переписи – 2019, что позволяет оценить динамику людности за 60-летний период.

Результаты исследования и их обсуждение

Утрата функции центра административно-территориального района лишала поселения значительного импульса социально-экономического и демографического развития, напрямую затрагивая интересы населения. При прочих равных условиях в период послевоенного восстановления средства в первоочередном порядке направлялись в районные центры, в то время как остальные поселения, в т. ч. городские, получали финансирование по остаточному принципу. Как правило, понижение административного статуса было обусловлено упразднением административно-территориальных районов. Однако в ряде случаев это происходило из-за переноса центра и перевода местных органов власти в другие поселения того же района, обладавшие бóльшим потенциалом развития, более выгодным транспортно-географическим положением или подвергшемся меньшим разрушениям в ходе Второй мировой войны. По нашим подсчетам, 12 поселений утратили статус районных центров в связи с его переносом в другие поселения района: Валевка, Куренец, Коссово, Ленин, Дуниловичи, Плиса, Новоелья, Новая Мышь, Василишки, Жабчицы, Сураж и Паричи. Примечательно, в Дуниловичском р-не при переносе центра из Дунилович в Воропаево новый центр получил статус городского поселка, будучи до этого деревней. Схожая ситуация произошла с Коссовским районом, административный центр которого в сентябре 1947 г. был перемещен из г. Коссово в рабочий поселок Ивацевичи, чей категориальный статус сразу же был повышен до городского поселка.

В целом за период 1959–2019 гг. численность населения бывших районных центров снизилась на 28,6 %. Однако по отдельным категориям поселений имеют место значительные отличия. В городах, ранее обладавших статусом районных центров, численность населения увеличилась на 30,2 %. В бывших центрах районов, относящихся в настоящее время к сельским поселениям, людность снизилась на 21,5 %. Наибольшая же убыль населения (37,3 %) зафиксирована в городских поселках (рисунок 2).

Между тем детальный анализ динамики демографического потенциала бывших райцентров в разрезе категорий поселений позволяет выявить ряд особенностей и закономерностей.

Во-первых, рост численности населения городов, бывших ранее административными центрами районов, обеспечен поселениями, получившими импульс развития уже после ликвидации соответствующих районов благодаря своему экономико- и физико-географическому положению.

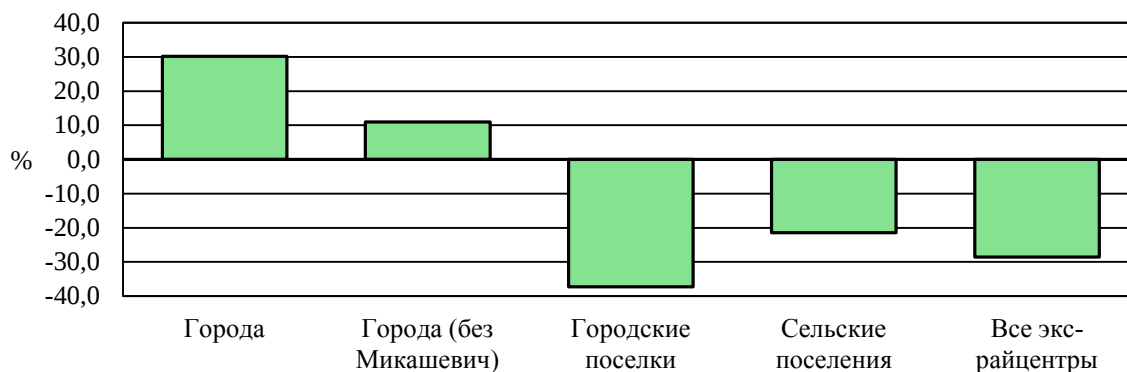


Рисунок 2 – Динамика численности населения бывших райцентров за период 1959–2019 гг., %

В одних случаях экономическое, а вместе с ним и демографическое развитие, обуславливалось расширением и модернизацией действующих предприятий (Заславль, Высокое, Скидель). Так, в Скиделе за 1959–2019 гг. численность населения выросла с 5,5 тыс. до 10,4 тыс. человек, или на 90 % (рисунок 3). Скидель получил статус города лишь в 1974 г., хотя статус райцентра утратил в 1962 г. По данным переписи 1970 г., численность его населения достигла 7,8 тыс. человек. Экономическую базу города составляли крупнейший в Гродненской области маслосырзавод (создан в 1939 г.), первый в стране сахарный завод (сдан в эксплуатацию в 1951 г. как первый Белорусский сахарный завод, в настоящее время – ОАО «Скидельский сахарный комбинат»), мелькомбинат (образован в 1967 г., в настоящее время – одна из крупнейших в стране агропромышленных компаний ОАО «Агрокомбинат Скидельский»).

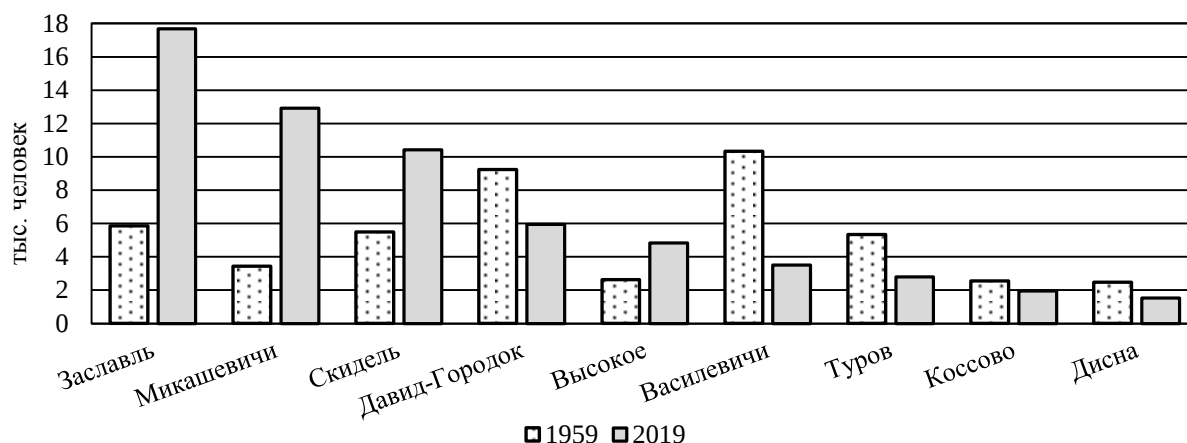


Рисунок 3 – Динамика численности населения современных городов – бывших райцентров за период 1959–2019 гг.

В других случаях интенсификация экономической деятельности достигалась созданием новых предприятий, в т. ч. на основе разработки местных залежей полезных ископаемых. В Микашевичах численность жителей увеличилась с 3,4 тыс. в 1959 г.

До 12,9 тыс. в 2019 г. До 2005 г. Микашевичи имели статус рабочего поселка. В 1976 г. здесь была сдана в эксплуатацию первая очередь комбината нерудных материалов, базирующегося на разработке одноименного месторождения строительного камня.

В то же время численность населения Василевич сократилась почти в три раза, и это несмотря на то, что статус города поселение получило в 1971 г., хотя административный функционал был утрачен еще в 1959 г. В отличие от приведенных выше примеров здесь не было создано крупных промышленных предприятий, способных стать драйверами развития.

Экономический сектор Василевич представляли маслодельный завод и мебельная фабрика. Аналогичная траектория развития была характерна для Давид-Городка, Дисны, Коссова и Турова.

Примечательно, что, по данным переписи населения 1959 г., в Василевичах, имевших в то время статус поселка городского типа, проживало 10,3 тыс. человек, что было больше, чем, например, в Рогачеве (10,2 тыс.), Хойниках (10,1 тыс.) или Петрикове (7,2 тыс.).

Во-вторых, обращает на себя внимание тот факт, что численность населения сельских поселений (бывших районных центров) снижалась плавнее, чем в городских поселках.

Фактическая сельскохозяйственная специализация большинства городских поселков после утраты статуса районного центра не могла восполнить сокращения занятости ни по числу, ни по содержанию сокращаемых рабочих мест в структурах местных органов власти и в структурах, связанных с обслуживанием населения района. Например, в 19 городских поселках численность населения за период 1959–2019 гг. сократилась более чем на 50 %, превысив 3/4 в Езерище, Любче, Стрешине, Сопецкине и Порозово (рисунок 4).

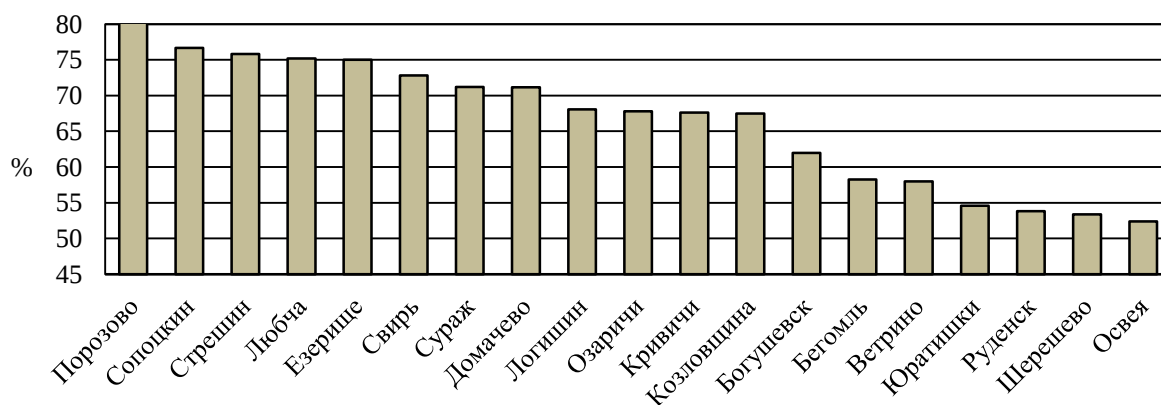


Рисунок 4 – Динамика численности населения современных городских поселков (бывших райцентров) с наибольшей относительной убылью населения за период 1959–2019 гг., %

Вместе с тем увеличение людности имело место лишь в 9 из 45 городских поселков – бывших районных центрах. Относительный прирост за период 1959–2019 гг. составил в них от 1 % в Ружанах до 138 % в Коханово (рисунок 5).

Фактором демографического роста послужили создаваемые в них промышленные предприятия (Коханово, Ивенец) либо военные городки (Плещеницы, Ружаны). Примечательно, что в Коханово и Радошковичах имел место значительный абсолютный прирост населения, составивший 2,3 тыс. и 3,6 тыс. человек соответственно.

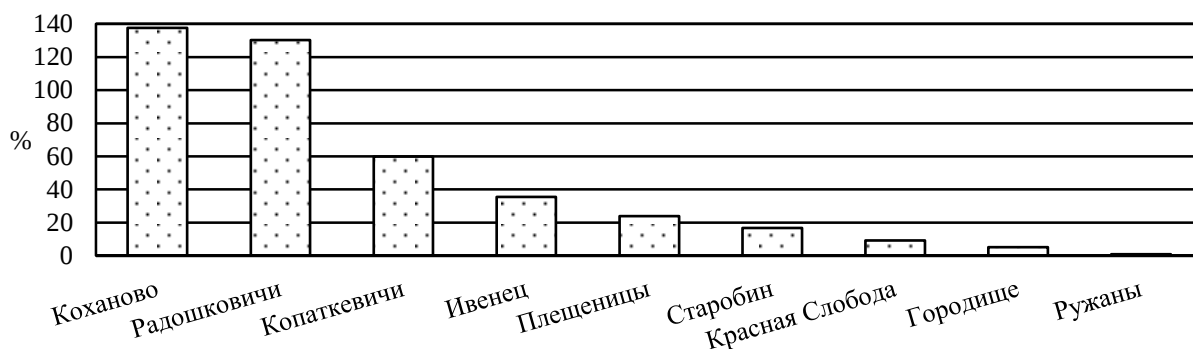
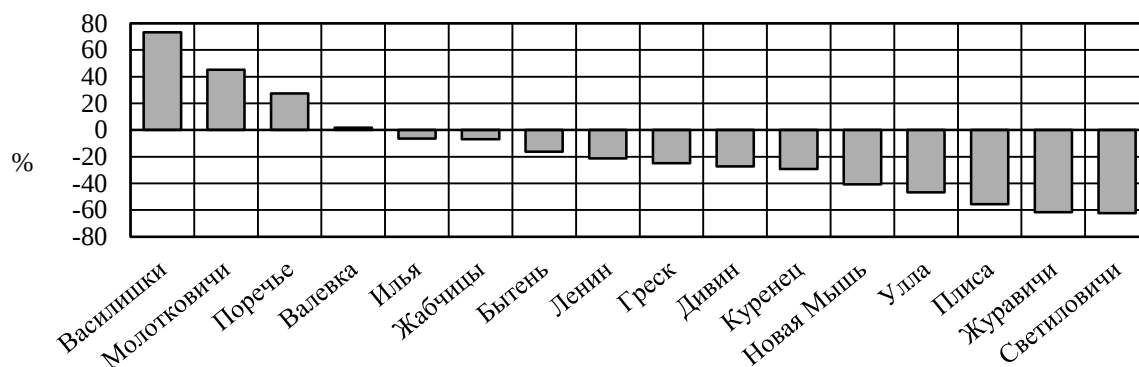


Рисунок 5. – Динамика численности населения современных городских поселков (бывших райцентров) с наибольшим относительным приростом населения за период 1959–2019 гг., %

В-третьих, среди сельских поселений, в которых в 1940–1950-е гг. размещались районные органы власти, также имеются поселения с положительной динамикой численности населения: Василишки (73 %), Молотковичи (45 %), Поречье (28 %) и Валевка (2 %) (рисунок 6). И если в отношении первых трех поселений превалирует экономическая компонента роста демографического потенциала, то в отношении агрогородка Валевка увеличение людности в первую очередь обусловлено так называемым эффектом низкой базы. Действительно, в 1959 г. в Валевке проживало 390 человек, в 2019 г. – 397 человек, т. е. абсолютный прирост составил всего семь человек. Фактором роста населения в Василишках послужило образование в 1987 г. совхоза-комбината «Василишки» Белорусского республиканского объединения по племенному делу в животноводстве (в настоящее время – ОАО «Василишки»). Для Молоткович катализатором развития послужили Пинская городская загородная больница (сейчас – филиал Пинской центральной больницы, создана в 1958 г.) и вспомогательная специальная школа-интернат (открыта в 1963 г., фактически переведена из д. Городище Пинского р-на), совхоза «Молотковичи», образованного в 1969 г. и специализирующегося на мясном скотоводстве (до 2023 г. – ОАО «Молотковичи», в настоящее время предприятие прекратило деятельность в результате реорганизации). В Поречье градообразующими субъектами выступают Поречская государственная санаторная школа-интернат Гродненского р-на (образована в 1961 г.) и санаторий «Поречье» филиала ОАО «Белагроздравница» (образован в 1983 г. как межколхозный санаторий «Поречье» Белорусского республиканского объединения межколхозных здравниц «Белмежколхозздравница» Совета колхозов БССР).



Примечание – Данные по агрогородку Дуниловичи отсутствуют.

Рисунок 6 – Динамика численности населения современных сельских поселений – бывших райцентров за период 1959–2019 гг., %

В трех сельских поселениях (Плиса, Журавичи и Светиловичи) сокращение численности населения за период 1959–2019 гг. превысило 1/2. Депопуляция характерна и для сельских поселений, которые во второй половине XX в. имели статус городских поселков: Куренец, Ленин и Улла. Численность населения в указанных поселениях снизилась на 29, 21 и 47 % соответственно. Общей чертой таких поселений выступает, как правило, отсутствие субъектов хозяйствования, не связанных с сельским хозяйством и выходящих за рамки стандартного спектра социального-культурного обслуживания населения (дом культуры, детский сад, школа, объекты розничной торговли, почтовое отделение).

Для оценки влияния административного статуса на демографическое развитие поселений целесообразно сравнить показатели динамики населения экс-райцентров и действующих центров районов. Как свидетельствуют расчетные данные, представленные на рисунках 2 и 7, выполнение административных функций в действительности оказывается мощным фактором социально-экономического, а через него и демографического развития. С одной стороны, статус районного центра предполагает формирование административных структур управления (исполнительный комитет, Совет депутатов), а также структур социально-бытового и культурного обслуживания населения всего района (организации жилищно-коммунального хозяйства, здравоохранения, специального и дополнительного образования, транспорта, связи, банковской сферы и др.). С другой стороны, в сравнении с другими населенными пунктами районов их центры при прочих равных условиях получают первоочередное финансирование на благоустройство, создание и модернизацию социальной инфраструктуры и улично-дорожной сети, жилищного строительства. Так, если в целом все экс-райцентры за период 1959–2019 гг. потеряли 29 % всего населения, то действующие районные центры, напротив, продемонстрировали трехкратный прирост (204 %). Даже при исключении из расчетов Минска и городов областного подчинения остальные районные центры в совокупности также характеризуются значительным приростом населения – 150 % (в кратном выражении – 2,5 раза).

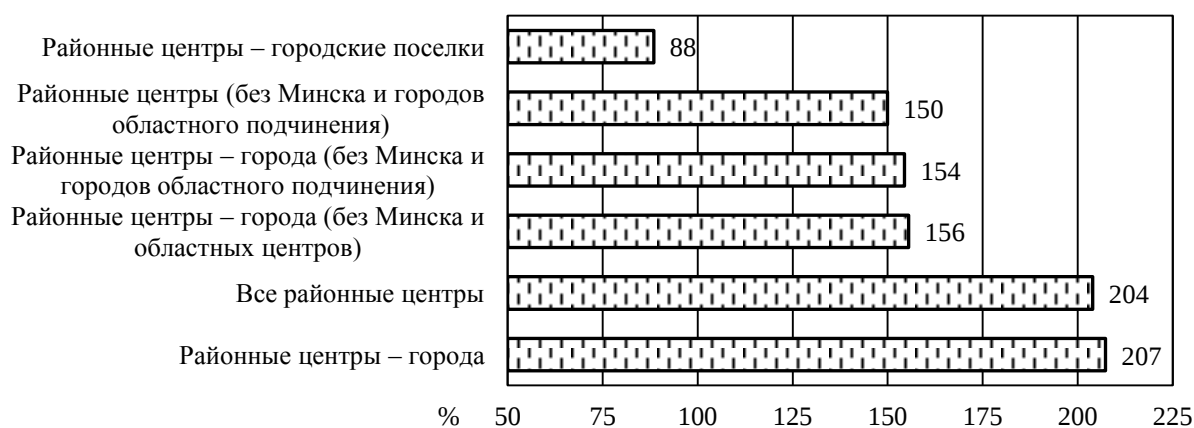


Рисунок 7 – Динамика численности населения современных сельских поселений (экс-райцентров) за период 1959–2019 гг., %

Не менее впечатляющ общий прирост населения отмечен и в районных центрах – городских поселках. За анализируемый период численность населения 19 городских поселков, выступающих в роли центров существующих районов, увеличилась на 88 % против 37 % общей убыли людности в совокупности в 45 городских поселках – бывших райцентрах (рисунки 2 и 8).

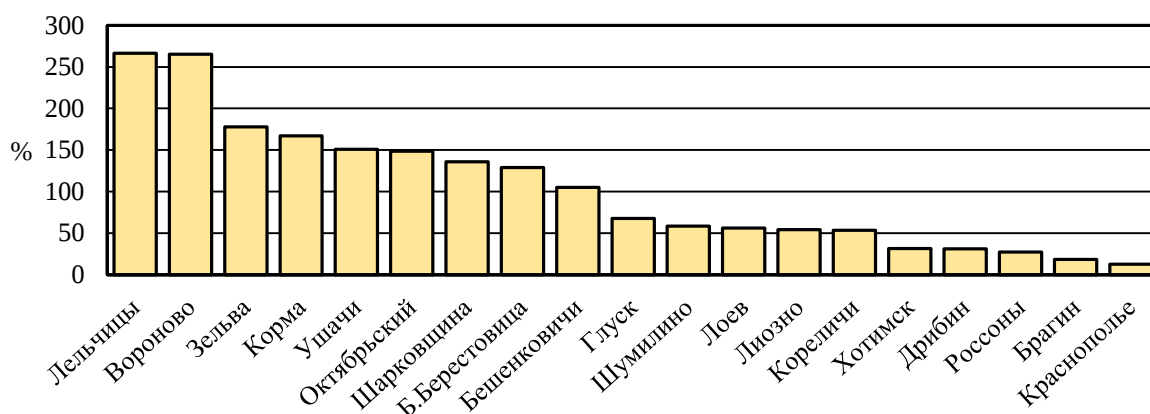


Рисунок 8. – Динамики численности населения городских поселков (районных центров) за период 1959–2019 гг., %

Вариация относительного прироста населения составила от 13 % в Краснопол'е до 266 % в Лельчицах. Практически во всех из них людность выросла более чем на 1/2, за исключением Брагина, Краснопол'я и Хотимска, относящихся к регионам, пострадавшим от аварии на Чернобыльской АЭС. Зато за период 1959–1989 гг. (затрагивает первые три года «постчернобыльского» периода) число жителей в них выросло на 114, 109 и 61 % соответственно.

За период 1959–2019 гг. менее 50 %-ный прирост населения отмечен также в Россонах, занимающих крайне периферийное положение и не имеющих созданной в советский период индустриальной базы, и Дрибине, занимающем промежуточное положение между действующими райцентрами и экс-райцентрами, поскольку статус районного центра ему был возвращен в 1989 г. после 30-летнего перерыва.

В то же время сельские поселения (экс-райцентры) за 60-летний период потеряли 22 % своего населения, хотя в целом в Беларуси численность сельских жителей сократилась с 5,58 млн до 2,11 млн человек, или на 62 %. Это позволяет констатировать, что утраченный в недавнем прошлом (около полувека назад) административный статус в перспективе дает определенные преимущества по сравнению с поселениями, не имевшими такового.

Заклучение

За период 1938–2023 гг. статус центров административно-территориальных районов имели 189 поселений, из них 118 выполняют соответствующие функции в настоящее время, а 71 населенный пункт утратил такой статус фактически за период с 1940 по 1962 г. Утрата функций райцентров лишала поселения значительного импульса социально-экономического и демографического развития. Сельские поселения не смогли впоследствии дорасти до городских, а городские поселения (бывшие райцентры) стали терять свой демографический потенциал за счет миграционного оттока в более перспективные в социально-экономическом плане поселения.

В целом за межпереписной период 1959–2019 гг. численность населения бывших районных центров снизилась на 29 %. В городах, ранее обладавших статусом районных центров, численность населения увеличилась на 30 %. В бывших центрах районов, относящихся в настоящее время к сельским поселениям, людность снизилась на 22 %. Наибольшая же убыль населения (37 %) зафиксирована в городских поселках. При этом действующие районные центры продемонстрировали прирост в 204 %, а без учета Минска и городов областного подчинения – 150 %.

Численность населения 19 городских поселков, выступающих в роли центров существующих районов, увеличилась на 88 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сидорович, А. А. Формирование современной сети городских поселений Беларуси / А. А. Сидорович // Вес. БДПУ. Сер. 3, Фізика. Матэматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2021. – № 3 (109). – С. 22–31.

2. Сидорович, А. А. Городские поселения как элементы административно-функциональной системы Беларуси / А. А. Сидорович // Социально-экономическая география в XXI веке: новые реалии и практические возможности : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., 19–20 нояб. 2021 г., Минск / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. А. Антипова (гл. ред.), А. П. Безрученко, А. В. Дыдышко. – Минск : БГУ, 2022. – С. 208–210.

3. Административно-территориальное устройство БССР : справочник : в 2 т. / Гл. архив. упр. при Совете министров БССР, Ин-ут философии и права АН БССР ; отв. сост.: А. И. Карпачева. – Минск : Беларусь, 1985. – Т. 1, № 57. – С. 86–87.

4. Об образовании Барановичской, Белостокской, Брестской, Вилейской и Пинской областей в составе Белорусской ССР [Электронный ресурс] : Указ Президиума Верхов. Совета СССР, 4 дек. 1939 г. // Электронная библиотека исторических документов. – Режим доступа: <https://docs.historyrussia.org/ru/-nodes/131068-ob-obrazovanii-baranovichskoy-belostokskoy-brestskoy-vileyskoy-i-pinskoy-oblastey-v-sostave-belorusskoy-ssr-ukaz-ot-4-dekabrya-1939-g>. – Дата доступа: 22.11.2023.

5. Сборник законов Белорусской ССР и указов Президиума Верховного Совета Белорусской ССР / сост. Е. Я. Бурдзевецкий [и др.]. – Минск : Президиум Верхов. Совета БССР, 1974. – Т. 1 : 1938–1973 гг. – 670 с.

6. Торжественное заседание Верховного Совета БССР и Центрального комитета КПБ, посвященное 40-летию Белорусской Советской Социалистической Республики и Коммунистической партии Белоруссии (3 января 1959 года) : стеногр. отчет. – Минск : Госиздат БССР. Ред. соц.-экон. лит., 1959. – 149 с.

7. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс] // Национальное кадастровое агентство Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://map.nca.by/>. – Дата доступа: 07.01.2024.

8. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Белстат. – Минск, 2023. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 11.09.2023.

9. ЭТАЛОН-ONLINE [Электронный ресурс] : информ.-поиск. система. – Режим доступа: <https://etalonline.by/>. – Дата доступа: 17.07.2023.

10. Сборник законов Белорусской ССР и указов Президиума Верховного Совета Белорусской ССР : в 3 т. / сост. Е. Я. Бурдзевецкий [и др.]. – Минск : Президиум Верхов. Совета БССР, 1975. – Т. 2 : 1938–1974 гг. – 626 с.

11. Сборник законов Белорусской ССР и указов Президиума Верховного Совета Белорусской ССР : в 3 т. / сост. Е. Я. Бурдзевецкий [и др.]. – Минск : Президиум Верхов. Совета БССР, 1976. – Т. 3 : 1938–1975 гг. – 349 с.

12. Интерактивная информационно-аналитическая система «Итоговые данные переписей населения Республики Беларусь» [Электронный ресурс] / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://census.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 02.03.2023.

13. 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: 02.01.2022.

14. Население Республики Беларусь. Итоги переписи населения Респ. Беларусь 1999 года : стат. сб. / М-во статистики и анализа Респ. Беларусь. – Минск : Информстат, 2000. – 194 с.

15. Официальный сайт Института демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» [Электронный ресурс] / Институт демографии НИУ ВШЭ. – М., 2021. – Режим доступа: <http://demoscope.ru>. – Дата доступа: 25.06.2021.

16. 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.

17. Численность населения СССР по переписи на 15 января 1959 года по республикам, краям, областям, национальным округам, районам, городам, поселкам городского типа, районным центрам и крупным сельским населенным местам (по административно-территориальному делению на 1 января 1960 г.). – М. : Центр. стат. упр. при Совете Министров СССР, 1960. – 523 с.

18. СССР: административно-территориальное деление союзных республик на 1 января 1980 года : справочник / Президиум Верхов. Совета СССР ; сост. В. А. Дударев, Н. А. Евсеева ; ред. Ю. Макотинская. – М. : Известия, 1980. – 701 с.

19. СССР: административно-территориальное деление союзных республик на 1 января 1951 года : справочник / Информ.-стат. отд. при Секретариате Президиума Верхов. Совета СССР. – 7-е изд. – М. : Известия, 1951. – 495 с.

20. СССР: административно-территориальное деление союзных республик на 1 октября 1938 года : справочник / Информ.-стат. отд. при Секретариате Президиума Верхов. Совета СССР. – М. : Власть советов, 1938. – 328 с.

21. СССР: административно-территориальное деление союзных республик: изменения, происшедшие за время с 1/X 1938 г. по 1/III 1939 г. / Информ.-стат. отдел при Секретариате Президиума Верхов. Совета Союза ССР. – М. : Изд-во Вед. Верхов. Совета РСФСР, 1939. – 143 с.

22. Концевой, В. С. Белорусская ССР [Карта] : [полит.-адм. карта] : адм. границы на 28 сент.1949 г. / В. С. Концевой ; сост., оформ. и отпечатано на Гос. картогр. ф-ке № 3 ГУГК г. Минска в 1950 г. – 1 : 600 000. – М. : Глав. упр. геодезии и картографии СССР, 1950. – 1 карта.

23. Леонович, М. В. Республика Беларусь [Карта] : [полит.-адм. карта] : адм. деление на 1 янв. 2004 г. / М. В. Леонович, Л. В. Шкляревич ; сост. и подг. Мин. картогр. ф-кой в 2004 г. – 1 : 1 000 000. – Минск : Белкартография, 2004. – 1 карта.

24. Пейхвассер, В. Н. Белорусская ССР [Карта] : [полит.-адм. карта] : адм. деление на сент. 1983 г. / В. Н. Пейхвассер, Е. В. Большакова ; сост. и подг. ф-кой № 2 ГУГК в 1983 г. – 1 : 600 000. – М. : Глав. упр. геодезии и картографии СССР, 1983. – 1 карта.

25. Пейхвассер, В. Н. Республика Беларусь [Карта] : [полит.-адм. карта] : адм. деление на авг. 1993 г. / В. Н. Пейхвассер, О. И. Дубенкова ; сост. и подг. Мин. картограф. ф-кой в 1993 г. – 1 : 1 000 000. – Минск : Белгеодезия, 1993. – 1 карта.

26. Соболева, В. С. Белорусская ССР [Карта] : [полит.-адм. карта] : адм. границы на 9 нояб. 1954 г. / В. С. Соболева ; сост. и подг. Мин. картограф. ф-кой в 1954 г. – 1 : 600 000. – М. : Глав. упр. геодезии и картографии СССР, 1954. – 1 карта.

27. Регионы Беларуси : энциклопедия : в 7 т. / редкол.: Т. В. Белова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2009–2021.

REFERENCES

1. Sidorovich, A. A. Formirovanije sovremiennoj seti gorodskikh posielienij Bielarusi / A. A. Sidorovich // Vies. BDPU. Sier. 3, Fizika. Matematyka. Bijalohija. Hieahrafija. – 2021. – № 3 (109). – S. 22–31.
2. Sidorovich, A. A. Gorodskije posielienija kak eliemienty administrativno-funkcional'noj sistiemy Bielarusi / A. A. Sidorovich // Social'no-ekonomichieskaja gieografija v XXI viekie: novyje riealii i praktichieskije vozmozhnosti : sb. matierialov Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., 19–20 nojab. 2021 g., Minsk / Bielorus. gos. un-t ; ried-kol.: Ye. A. Antipova (gl. ried.), A. P. Biezhuchionok, A. V. Dydysko. – Minsk : BGU, 2022. – S. 208–210.
3. Administrativno-tierritorial'noje ustrojstvo BSSR : spravochnik : v 2 t. / Gl. arhiv. upr. pri Sovietie ministrov BSSR, In-t filosofii i prava AN BSSR ; otv. sost.: A. I. Karpachiova. – Minsk : Bielarus', 1985. – T. 1, № 57. – S. 86–87.
4. Ob obrazovanii Baranovichskoj, Bielostokskoj, Briestskoj, Viliejskoj i Pinskoj oblastiej v sostavie Belorusskoj SSR [Eliektronnyj riesurs] : Ukaz Priezidiuma Vierkhov. Sovieta SSSR, 4 diek.1939 g. // Eliektronnaja bibliotieka istorichieskikh dokumientov. – Riezhim dostupa: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/131068-ob-obrazovanii-baranovichskoy-belostokskoy-brestskoy-vileyskoj-i-pinskoy-oblastey-v-sostave-belorusskoj-ssr-ukaz-ot-4-dekabrya-1939-g>. – Data dostupa: 22.11.2023.
5. Sbornik zakonov Belorusskoj SSR i ukazov Priezidiuma Vierkhovnogo Sovieta Belorusskoj SSR / Sost. Ye. Ya. Burdzievickij [i dr.]. – Minsk : Priezidium Vierkhov. Sovieta BSSR, 1974. – T. 1 : 1938–1973 gg. – 670 s.
6. Torzhestviennoje zasiedanije Vierkhovnogo Sovieta BSSR i Central'nogo komiteta KPB, posviashionnoje 40-lietiju Belorusskoj Sovietskoj Socialistichieskoj Riespubliki i Komunisticcheskoj partii Belorussii (3 janvaria 1959 goda) : stienogr. otchiot. – Minsk : Gosizdat BSSR. Ried. soc.-ekon. lit., 1959. – 149 s.
7. Publichnaja kadaastrovaja karta [Eliektronnyj riesurs] // Nacional'noje kadaastrovoje agientstvo Riespubliki Bielarus'. – Riezhim dostupa: <https://map.nca.by/>. – Data dostupa: 07.01.2024.
8. Oficial'nyj sajt Nacional'nogo statistichieskogo komiteta Riespubliki Bielarus' [Eliektronnyj riesurs] / Bielstat. – Minsk, 2023. – Riezhim dostupa: <https://www.belstat.gov.by/>. – Data dostupa: 11.09.2023.
9. ETALON-ONLINE [Eliektronnyj riesurs] : inform.-poisk. sistiema. – Riezhim dostupa: <https://etalonline.by/>. – Data dostupa: 17.07.2023.
10. Sbornik zakonov Belorusskoj SSR i ukazov Priezidiuma Vierkhovnogo Sovieta Belorusskoj SSR : v 3 t. / sost. Ye. Ya. Burdzievickij [i dr.]. – Minsk : Priezidium Vierkhov. Sovieta BSSR, 1975. – T. 2 : 1938–1974 gg. – 626 s.
11. Sbornik zakonov Belorusskoj SSR i ukazov Priezidiuma Vierkhovnogo Sovieta Belorusskoj SSR : v 3 t. / Sost. Ye. Ya. Burdzievickij [i dr.]. – T. 3 : 1938–1975 gg. – Minsk : Priezidium Vierkhov. Sovieta BSSR, 1976. – 349 s.
12. Interaktivnaja informacionno-analitichieskaja sistiema «Itogovyje dannyje pieriepisiej nasielienija Riespubliki Bielarus'» [Eliektronnyj riesurs] / Nac. stat. kom. Riesp. Bielarus'. – Riezhim dostupa: <https://census.belstat.gov.by/>. – Data dostupa: 02.03.2023.
13. Interaktivnaja informacionno-analitichieskaja sistiema rasprostranienija oficial'noj statistichieskoj informacii [Eliektronnyj riesurs] / Nac. stat. Kom. Riesp. Bielarus'. – Riezhim dostupa: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search>. – Data dostupa: 02.01.2022.
14. Nasielienije Riespubliki Bielarus'. Itogi pieriepisi nasielienija Resp. Bielarus' 1999 goda : stat. sb. / M-vo statistiki i analiza Riesp. Bielarus'. – Minsk : Informstat, 2000. – 194 s.

15. Oficial'nyj sajt Instituta diemografii Nacional'nogo issliedovatiel'skogo universiteta «Vysshaja shkola ekonomiki» [Elektronnyj riesurs] / Institut diemografii NIU VShE. – M., 2021. – Riezhim dostupa: <http://demoscope.ru>. – Data dostupa: 25.06.2021.

16. Pieriepis' nasielienija, 2009 : v 7 t. / Nac. stat. kom. Riesp. Bielarus' ; riedkol.: V. I. Zinovskij (pried.) [i dr.]. – Minsk : Nac. stat. kom. Riesp. Bielarus', 2010–2011. – T. 2 : Nasielienije Riespubliki Bielarus': jeho chisliennost' i sostav, 2010. – 414 s.

17. Chisliennost' nasielienija SSSR po pieriepisi na 15 janvaria 1959 goda po riespublikam, krajam, oblastiam, nacional'nym okrugam, rajonam, gorodam, posiolkam gorodskogo tipa, rajonnym centram i krupnym siel'skim nasielionnym miestam (po administrativno-tierritorial'nomu dielieniju na 1 janvaria 1960 g.). – M. : Centr. stat. upr. pri Sovietie Ministrov SSSR, 1960. – 523 s.

18. SSSR: administrativno-tierritorial'noje dielienije sojuznykh riespublik na 1 janvaria 1980 goda : spravocnik / Priezidium Vierkhov. Sovieta SSSR ; sost. V. A. Dudarij, N. A. Jevsiejeva ; ried. Yu. Makotinskaja. – M. : Izviestija, 1980. – 701 s.

19. SSSR: administrativno-tierritorial'noje dielienije sojuznykh riespublik na 1 janvaria 1951 goda : spravocnik / Inform.-stat. otd. pri Siekrietariatie Priezidiuma Vierkhov. Sovieta SSSR. – 7-je izd. – M. : Izviestija, 1951. – 495 s.

20. SSSR: administrativno-tierritorial'noje dielienije sojuznykh riespublik na 1 oktiabria 1938 goda : spravocnik / Inform.-stat. otd. pri Siekrietariatie Priezidiuma Vierkhov. Sovieta SSSR. – M. : Vlast' sovietov, 1938. – 328 s.

21. SSSR: administrativno-tierritorial'noje dielienije sojuznykh riespublik: izmienienija, proissshedshije za vriemia s 1/X 1938 g. po 1/III 1939 g. / Inform.-stat. otd. pri Siekrietariatie Priezidiuma Vierkhov. Sovieta Sojuza SSR. – M. : Izd-vo Vied. Vierkhov. Sovieta RSFSR, 1939. – 143 s.

22. Koncevoj, V. S. Bieloruskaja SSR [Karta] : [polit.-adm. karta] : adm. granicy – na 28 sient.1949 g. / V. S. Koncevoj ; sost., oform. i otpiechatano na Gos. kartogr. f-kie № 3 GUGK g. Minska v 1950 g. – 1 : 600 000. – M. : Glav. upr. gieodezii i kartografii SSSR, 1950. – 1 karta.

23. Lieonovich, M. V. Riespublika Bielarus' [Karta] : [polit.-adm. karta] : adm. dielienije na 1 janv. 2004 g. / M. V. Lieonovich, L. V. Shkliarievich ; sost. i podg. Min. kartogr. f-koj v 2004 g. – 1 : 1 000 000. – Minsk : Bielkartografija, 2004. – 1 karta.

24. Piejkhvasser, V. N. Bieloruskaja SSR [Karta] : [polit.-adm. karta] : adm. dielienije na sient. 1983 g. / V. N. Piejkhvasser, Ye. V. Bol'shakova ; sost. i podg. f-koj № 2 GUGK v 1983 g. – 1 : 600 000. – M. : Gl. upr. gieodezii i kartografii SSSR, 1983. – 1 karta.

25. Piejkhvasser, V. N. Riespublika Bielarus' [Karta] : [polit.-adm. karta] : adm. dielienije na avg.1993 g. / V. N. Piejkhvasser, O. I. Dubienkova ; sost. i podg. Min. kartogr. f-koj v 1993 g. – 1 : 1 000 000. – Minsk : Bielgieodezija, 1993. – 1 karta.

26. Sobolieva, V. S. Bieloruskaja SSR [Karta] : [polit.-adm. karta] : adm. granicy na 9 nojab. 1954 g. / V. S. Sobolieva ; sost. i podg. Min. kartogr. f-koj v 1954 g. – 1 : 600 000. – M. : Gl. upr. gieodezii i kartografii SSSR, 1954. – 1 karta.

27. Riegiony Bielarusi : enciklopedija : v 7 t. / riedkol.: T. V. Bielova (gl. ried.) [i dr.]. – Minsk : Bielarus. Encykl. imia P. Brouki, 2009–2021.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 02.07.2024

Да ведама аўтараў

Рэдкалегія часопіса разглядае рукапісы толькі тых артыкулаў, якія адпавядаюць навуковаму профілю выдання, нідзе не апублікаваныя і не перададзеныя ў іншыя рэдакцыі.

Матэрыялы прадстаўляюцца на беларускай, рускай ці англійскай мове ў адным экзэмпляры аб'ёмам ад 0,35 да 0,5 друкаванага аркуша (14 000 – 20 000 знакаў), у электронным варыянце – у фармаце Microsoft Word for Windows (*.doc, *.docx ці *.rtf) і павінны быць аформлены ў адпаведнасці з наступнымі патрабаваннямі:

- папера фармату А4 (21×29,7 см);
- палі: зверху – 2,8 см, справа, знізу, злева – 2,5 см;
- шрыфт – гарнітура Times New Roman;
- кегль – 12 pt.;
- міжрадковы інтэрвал – адзінарыны;
- двукоссе парнае «...»;
- абзац: водступ першага радка 1,25 см;
- выраўноўванне тэксту па шырыні.

Максімальныя лінейныя памеры табліц і малюнкаў не павінны перавышаць 15×23 або 23×15 см. Усе графічныя аб'екты, якія ўваходзяць у склад аднаго малюнка, павінны быць згрупаваны паміж сабой. Усе малюнкi і фотаздымкі павінны быць толькі ў чорна-белым выкананні. Размернасць усіх велічынь, якія выкарыстоўваюцца ў тэксце, павінна адпавядаць Міжнароднай сістэме адзінак вымярэння (СВ). Пажадана пазбягаць скарачэнняў слоў, акрамя агульнапрынятых. Спіс літаратуры павінен быць аформлены паводле Узораў афармлення бібліяграфічнага апісання ў спісе крыніц, якія прыводзяцца ў дысертацыі і аўтарэфераце, зацверджаных загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 25.06.2014 № 159 (у рэдакцыі загада ад 01.10.2024 № 230). Спасылкі на крыніцы ў артыкуле нумаруюцца адпаведна парадку цытавання. Парадкавыя нумары спасылак падаюцца ў квадратных дужках ([1–4], [1; 3], [1, с. 32], [2, с. 52–54], [3, л. 5], [4, л. 60б.]). Не дапускаецца выкарыстанне канцавых зносаў.

Матэрыял уключае наступныя элементы па парадку:

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

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

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

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

➤ References – спіс выкарыстанай літаратуры, які прадубліраваны лацінскім алфавітам (колькасць крыніц, прыведзеных у спісе і ў References, павінна супадаць).

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- выписка з пратакола пасяджэння кафедры, навуковай лабараторыі ці ўстанова адукацыі, дзе працуе (вучыцца) аўтар, завераная пячаткаю, з рэкамендацыяй артыкула да друку;
- рэцэнзія знешняга ў адносінах да аўтара профільнага спецыяліста з вучонай ступенню, завераная пячаткаю;
- экспертнае заключэнне (для аспірантаў і дактарантаў);
- вынікі правэркі тэксту на прадмет арыгінальнасці пры дапамозе інструмента «Антыплагіят» (арыгінальнасць павінна складаць не менш за 70 %).

Усе артыкулы абавязкова праходзяць «сляпое» рэцэнзаваанне. Рукапісы, аформленыя не ў адпаведнасці з выкладзенымі правіламі, рэдкалегія не разглядае і не вяртае. Аўтары нясуць адказнасць за змест прадстаўленага матэрыялу.

Рукапіс артыкула і дакументы дасылаць на адрас: 224016, г. Брэст, бульвар Касманаўтаў, 21, рэдакцыя часопіса «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта», электронны варыянт артыкула накіроўваць на e-mail: vesnik@brsu.by.

Карэктары *А. А. Іванюк, Л. М. Калілец*

Камп'ютарнае макетаванне *Г. Ю. Пархац*

Падпісана ў друк 31.12.2024. Фармат 60×84/8. Папера афсетная. Гарнітура Таймс. Рызаграфія.

Ум. друк. арк. 18,83. Ул.-выд. арк. 14,18. Тыраж 50 экз. Заказ № 428.

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.