

ISSN 1810-9810

# ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

# NATURAL RESOURCES

**№ 1  
2026**

Научное издание  
SCIENTIFIC EDITION

Национальная академия наук Беларуси  
Министерство природных ресурсов и охраны  
окружающей среды Республики Беларусь  
National Academy of Sciences of Belarus  
Ministry of Natural Resources and Environmental  
Protection of the Republic of Belarus

**Навуковы часопіс  
«ПРЫРОДНЫЯ РЭСУРСЫ»  
Выдаецца з 1996 года  
Выходзіць 2 разы ў год  
Красавік 2026 г.**

Заснавальнікі:  
Нацыянальная акадэмія навук Беларусі  
Міністэрства прыродных рэсурсаў  
і аховы навакольнага асяроддзя  
Рэспублікі Беларусь

Галоўны рэдактар  
**Алег Юр'евіч Баранаў**

Рэдакцыйная калегія:  
М. Я. Нікіфараў (намеснік галоўнага рэдактара),  
С. А. Лысенка (намеснік галоўнага рэдактара),  
Н. І. Мініч (вядучы рэдактар),  
М. П. Аношка, У. М. Байчораў, С. У. Буга,  
С. Я. Галаваты, М. Р. Гермянчук, В. Л. Гурскі,  
С. У. Дзямідава, С. А. Дубянок, М. А. Ерэсько,  
М. В. Клебановіч, В. В. Лапа, А. А. Махнач,  
А. М. Нікіцін, Ф. І. Прывалаў, А. В. Пугачэўскі,  
В. П. Сяменчанка, Т. Л. Талака, У. І. Торчык,  
В. С. Хоміч, У. У. Ціток, А. І. Чайкоўскі,  
Н. С. Шаўцова, А. Г. Шумілін

Адрас рэдакцыі:  
вул. Акадэмічная, 1, к. 119,  
220072, г. Мінск  
Тэл. +375 17 272 19 19.  
E-mail: prirod\_res@mail.ru  
Сайт: priroda.belnauka.by

Падпісныя індэксы:  
ведамасны **012762**  
індывідуальны **01276**

Камп'ютарная вёрстка М. Э. Малярэвіч  
Падпісана да друку 15.04.2026 г.  
Фармат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Папера афсетная. Друк лічбавы.  
Ум. друк. л. 10,23. Ул.-выд. л. 11,3.  
Тыраж 58 экз. Заказ 76.  
Кошт: індывідуальная падпіска – 24,45 руб.,  
ведамасная падпіска – 25,26 руб.

Выдавец і паліграфічнае выкананне:  
Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства  
«Выдавецкі дом «Беларуская навука».  
Пасведчанні аб ДРВВРДВ № 1/18 ад 02.08.2013,  
№ 2/196 ад 05.04.2017, ЛП № 02330/455 ад 30.12.2013.  
Вул. Ф. Скарыны, 40, 220084, г. Мінск.

**Scientific Journal  
“NATURAL RESOURCES”  
Published since 1996  
Issued twice a year  
April 2026**

Founders:  
National Academy of Sciences of Belarus  
Ministry of Natural Resources  
and Environmental Protection  
of the Republic of Belarus

Editor-in-Chief  
**Oleg Yurievich Baranov**

Editorial board:  
M. Ye. Nikiforov (Associate Editor-in-Chief),  
S. A. Lysenko (Associate Editor-in-Chief),  
N. I. Minich (Lead Editor),  
M. P. Anoshka, V. M. Baichorov, S. V. Buga,  
S. E. Golovaty, M. G. Germenchuk, V. L. Gursky,  
S. V. Demidova, S. A. Dubenok, M. A. Yeresko,  
V. S. Khomich, M. V. Klebanovich, V. V. Lapa,  
A. A. Makhnach, A. N. Nikitin, F. I. Pryvalov,  
A. V. Pugachevskii, V. P. Semenchenko, T. L. Talako,  
V. I. Torchik, V. V. Titok, A. I. Tchaikovsky,  
N. S. Shevtsova, A. G. Shumilin

Address of editorial office:  
1, Akademicheskaya Str., room 119,  
220072, Minsk, Republic of Belarus.  
Phone: 375 17 272 19 19  
E-mail: prirod\_res@mail.ru  
Website: priroda.belnauka.by

Subscription indices:  
departmental **012762**  
individual **01276**

Computer imposition M. E. Maliarevich  
Signed for publication April 15, 2026.  
Format 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Offset paper. Seal digital.  
Related press sheet 10,23. Publisher's signatures 11,3.  
Circulation 58 copies. Order 76.  
Price: individual subscription – 24,45 BYN,  
departmental subscription – 25,26 BYN.

Publisher and printing:  
Republican Unitary Enterprise  
“Publishing house “Belarusian Navuka”.  
Certificates by SRPMDPE N 1/18 on 08.02.2013,  
N 2/196 on 04.05.2017, LP N 02330/455 on 12.30.2013.  
40, F. Skorina Str. , 220084, Minsk

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

<b>Гештовт П. А.</b> Совершенствование управления популяциями охотничьих видов животных путем внедрения адаптивных принципов . . . . .	5
<b>Груммо Д. Г., Роговский Н. М.</b> Вероятностная оценка распространения инвазивных древесных видов растений в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике . . . . .	16
<b>Карпаева. А. Ю.</b> Особенности сезонной динамики фитопланктона в озерах разного трофического статуса Белорусского Поозерья . . . . .	32
<b>Рупасова Ж. А., Привалов Ф. И., Авраменко С. Н., Ушакова А. В., Саян А. С., Павловский Н. Б., Ральцевич А. В., Шпитальная Т. В., Вашкевич М. Н.</b> Влияние гидротермического режима сезона на биохимический состав плодов сортов жимолости синей ( <i>Lonicera caerulea</i> L.) и степень его трансформации в процессе хранения в обычной газовой среде при низкой положительной температуре . . . . .	40
<b>Садковская А. И.</b> Ресурсно-ценотические параметры брусники ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) в сосняках мшистых ( <i>Pinetum pleuroziosum</i> ) естественного возобновления . . . . .	50
<b>Ямбуров М. С., Лю С., Кондратов Е. В., Цегалко Х. Н.</b> Анатомо-морфологические особенности хвои «ведьминой метлы» сосны веймутовой ( <i>Pinus strobus</i> L.) мутационного типа и ее вегетативного потомства . . . . .	60

### ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Маслюков Е. А., Яковлев А. П., Булавко Г. И., Лешков А. А.</b> Исследование эффективности ризосферных микроорганизмов в составе бактериальных препаратов на агрохимические и биологические свойства песчаного субстрата, рост и развитие салата листового . . . . .	67
--	----

### ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ – УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

<b>Шевцова Н. С.</b> Природный туристско-рекреационный потенциал рек Беларуси: концептуальная модель комплексной оценки, профилирующие виды использования и лимитирующие факторы . . . . .	75
--	----

## CONTENTS

## BIOLOGICAL RESOURCES

- Heshtaut P. A.** Improving game population management by implementing adaptive principles ..... 5
- Grummo D. G., Rogovsky N. M.** Probabilistic assessment of the distribution of invasive woody plant species in the Polesky state radioecological reserve ..... 16
- Карпаева А. Ю.** Features of seasonal phytoplankton dynamics in lakes with different trophic status in the Belarusian Lake region ..... 32
- Rupasova J. A., Privalov F. I., Avramenko S. N., Ushakova A. V., Sayan A. S., Pavlovsky N. B., Raltsevich A. V., Shpitalnaya T. V., Vashkevich M. N.** The effect of seasonal hydrothermal conditions on the biochemical composition of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) fruits and the degree of its transformation during storage in a conventional gas atmosphere at a low positive temperature. .... 40
- Sadkovskaya A. I.** Resource and coenotic parameters of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) in pine forests with mosses (*Pinetum pleuroziosum*) of natural regenerative ..... 50
- Yamburov M. S., Liu S., Kandratau Y. V., Tsehalka K. N.** Anatomical and morphological features of needles of mutational witch's broom in weymouth pine (*Pinus strobus* L.) and its vegetative progeny. .... 60

## NATURE MANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES

- Maslyukov E. A., Yakovlev A. P., Bulavko G. I., Leshkov A. A.** The study of rhizosphere microorganisms effectiveness in bacterial preparations on agrochemical and biological properties of sandy substrate, growth and development of lettuce. .... 67

## NATURE MANAGEMENT – ADMINISTRATION AND ECONOMY

- Shevtsova N. S.** Natural tourism and recreational potential of rivers in Belarus: conceptual model for comprehensive assessment, profiled types of use, and limiting factors ..... 75

## ЗМЕСТ

## БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

- Гештаўт П. А.** Удасканаленне кіравання папуляцыямі паляўнічых відаў жывёл шляхам укаранення адаптыўных прынцыпаў ..... 5
- Грумо Дз. Г., Рагоўскі М. М.** Верагодная ацэнка распаўсюджвання інвазіўных дрэўных відаў раслін у Палескім дзяржаўным радыяцыйна-экалагічным запаведніку ..... 16
- Карпаева А. Ю.** Асаблівасці сезоннай дынамікі фітапланктону ў азёрах рознага трафічнага статусу Беларускага Паазер'я ..... 32
- Рупасова Ж. А., Прывалаў Ф. І., Аўраменка С. М., Ушакова Г. У., Саян А. С., Паўлоўскі М. Б., Ральцэвіч А. В., Шпiтальная Т. В., Вашкевіч М. М.** Уплыў гідратэрмічнага рэжыму сезона на біяхімічны склад пладоў сартоў брусніцы сіняга (*Lonicera caerulea* L.) і ступень яго трансфармацыі ў працэсе захоўвання ў звычайным газавым асяроддзі пры нізкай становчай тэмпературы ..... 40
- Садкоўская Г. І.** Рэсурсна-цэнатычныя параметры брусніцы (*Vaccinium vitis-idaea*) у сасняках імшыстых (*Pinetum pleuroziosum*) натуральнага паходжання ..... 50
- Ямбураў М. С., Лю С., Кандратаў Я. В., Цэгалка Х. М.** Анатама-марфалагічныя асаблівасці ігліцы «ведзьмінай мятлы» сасны веймутавай (*Pinus strobus* L.) мутацыйнага тыпу і яе вегетатывнага патомства ..... 60

## ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ, ЭКАЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ

- Маслюкоў Я. А., Якаўлеў А. П., Булаўка Г. І., Ляшкоў А. А.** Даследаванне эфектыўнасці рызаферных мікраарганізмаў у складзе бактэрыяльных прэпаратаў на аграхімічныя і біялагічныя ўласцівасці пясчанага субстрату, рост і развіццё салаты ліставой. .... 67

## ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ – КІРАВАННЕ І ЭКАНОМІКА

- Шаўцова Н. С.** Прыродны турысцка-рэкрэацыйны патэнцыял рэк Беларусі: канцэптуальная мадэль ацэнкі, прафілюючыя віды выкарыстання і фактары, якія лімітуюцца ..... 75

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ**  
**BIOLOGICAL RESOURCES**  
**БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ**

ISSN 1810-9810 (Print)  
УДК 599.73/599.74: 639.111

**П. А. Гештовт**

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам,  
Минск, e-mail: heshtaut@mail.ru*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЯМИ  
ОХОТНИЧЬИХ ВИДОВ ЖИВОТНЫХ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ АДАПТИВНЫХ ПРИНЦИПОВ**

**Аннотация.** В Беларуси принципы управления популяциями охотничьих животных строятся на определении оптимальной численности вида на конкретной территории, установленной охотустройством на основании оценки качества местообитания и численности вида, получаемой в результате проведения различных учетов. Качество и емкость местообитания диких животных являются весьма динамичными. В настоящее время научно обоснованного и точного метода их оценки не существует. В целях совершенствования управления охотничьими видами предлагается внедрять адаптивные принципы управления. Описываются показатели, которые могут использоваться для оценки состояния популяций и их негативного влияния на деятельность человека. Обосновывается система сбора показателей и их анализа для органов государственного управления в целях принятия ими управленческих решений в природопользовании, связанном с охотничьим хозяйством.

**Ключевые слова:** адаптивные принципы, управление популяциями, охотничьи виды, оптимальная численность, планирование изъятия

**P. A. Heshtaut**

*Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Bioresources,  
Minsk, Belarus, e-mail: heshtaut@mail.ru*

**IMPROVING GAME POPULATION MANAGEMENT BY IMPLEMENTING ADAPTIVE PRINCIPLES**

**Abstract.** In Belarus, game species population management principles are based on determining the optimal species abundance in a specific area, established by game management, based on habitat quality assessments and species abundance, obtained through various surveys. The quality and capacity of wild animal habitats are highly dynamic. Currently, a scientifically sound and accurate method for assessing them does not exist. To improve game species management, it is proposed to introduce adaptive management principles. Indicators that can be used to assess population status and their negative impact on human activities are described. A system for collecting and analyzing indicators is substantiated for government agencies to support their decision-making in nature management related to hunting.

**Keywords:** adaptive principles, population management, game species, optimal species abundance, removal planning

**П. А. Гештаўт**

*Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, e-mail: heshtaut@mail.ru*

**УДАСКНАЛЕННЕ КІРАВАННЯ ПАПУЛЯЦЫЯМІ ПАЛЯЎНІЧЫХ ВІДАЎ ЖЫВЁЛ  
ШЛЯХАМ УКРАНЕННЯ АДАПТЫЎНЫХ ПРЫНЦЫПАЎ**

**Анотацыя.** У Беларусі прынцыпы кіравання папуляцыямі паляўнічых жывёл будуцца на вызначэнні аптымальнай колькасці віду на канкрэтнай тэрыторыі, устаноўленай паляўніцтваўпарадкаваннем на падставе ацэнкі якасці месцапражывання і колькасці віду, што атрымліваецца ў выніку правядзення розных улікаў. Якасць і ёмістасць месцапражывання дзікіх жывёл з'яўляюцца вельмі дынамічнымі. У наш час навукова абгрунтаванага і дакладнага метаду іх адзнакі не існуе. У мэтах удасканалення кіравання паляўнічымі відамі прапануецца ўкараняць адаптыўныя прынцыпы кіравання. Апісваюцца паказчыкі, якія могуць выкарыстоўвацца для адзнакі стану папуляцый і іх негатыўнага ўплыву на дзейнасць чалавека. Абгрунтоўваецца сістэма збору паказчыкаў і іх аналізу для органаў дзяржаўнага кіравання ў мэтах прыняцця імі кіраўніцкіх рашэнняў у прыродакарыстанні, звязаным з паляўнічай гаспадаркай.

**Ключавыя словы:** адаптыўныя прынцыпы, кіраванне папуляцыямі, паляўнічыя віды, аптымальная колькасць, планаванне канфіскацыі

**Введение.** В Беларуси принципы управления популяциями охотничьих животных концептуально остаются почти неизменными с середины прошлого века. Основой этих подходов служат два ключевых показателя: численность популяции и оптимальная численность вида на конкретной территории. Числен-

ность популяций устанавливается в результате проведения учетов по различным методикам. До сих пор при использовании существующей модели управления считается, что численность животных можно установить с помощью учетов, причем с приемлемой точностью.

Большинство методов основаны не на прямых подсчетах животных, а на промежуточных индексах (например, количество экскрементов, следов, встреч с животными на маршруте и т. д.), которые затем преобразуются в оценку численности животных. Вследствие того что взаимосвязь между индексом и реальной численностью популяции неизвестна, индексы численности не должны напрямую переводиться в плотность или численность популяции. Индексы следует использовать с осторожностью из-за их высокой зависимости от вероятности обнаружения, которая на практике является крайне переменной. Ситуацию усугубляет то, что эти несовершенные индексы с помощью еще более несовершенных формул и моделей пытаются перевести в абсолютную численность.

Многолетняя практика применения различных методов учета убедительно демонстрирует, что, несмотря на наличие множества прямых и косвенных подходов, их точность остается крайне низкой, в большинстве случаев просто неизвестной, так как они никогда не проверялись на популяциях известной численности [1–7].

Мировой опыт управления популяциями показывает, что качество и емкость местообитания диких животных являются динамичными показателями и научно обоснованного и точного метода их оценки не существует [4, 8–11].

Для совершенствования управления ресурсами охотничьих животных необходимо внедрять принципы адаптивного управления, основанного на сборе и анализе различных популяционных индексов и индексов окружающей среды, а эффективность и верность применяемых управленческих подходов для достижения различных целей – оценивать путем изменения этих показателей как реакции на принятые решения [3, 4, 12].

**Методы и методология исследований.** Размер ежегодной добычи нормируемых видов охотничьих животных определялся на основании данных статистической отчетности, предоставляемой пользователями охотничьих угодий. Сведения о месте и дате совершения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием диких животных, а также о виде погибшего животного, его поле и возрасте представлены Государственной инспекцией охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь. Сбор этих данных осуществлялся в рамках выполнения п. 81 Правил ведения охотничьего хозяйства. Обработка и графическое отображение мест дорожно-транспортных происшествий с участием диких животных осуществлялось с помощью свободной географической информационной системы QGIS (Quantum GIS).

**Результаты и их обсуждение.** В настоящее время в Беларуси качество угодий и оптимальную численность популяций определяют фиксировано с возможностью незначительной корректировки. Например, средняя оптимальная плотность популяций и бонитеты охотничьих угодий для оленьих в разрезе комплексов лесных массивов и административных районов установлены ТПК «Технические требования к процессу разработки охотоустроительной документации». К показателям, приведенным в ТПК, очень много вопросов: на основании каких исследований были установлены такие фиксированные, четкие значения; допустимо ли устанавливать единый бонитет для всего района, если фактическое качество угодий в их границах может очень сильно отличаться, и др.?

В данной ситуации необходимо, во-первых, четко понимать, что невозможно установить желаемый размер популяции копытных только путем оценки качества местообитания с помощью обследований растительности. На качество угодий влияет огромное количество других биотических, абиотических и антропогенных факторов. Важно также отметить, что при установлении бонитета угодий производилось обследование только лесной растительности, а это категорически будет неверным для всех представителей семейства оленьих, включая даже такого лесного обитателя, как лось.

Во-вторых, надо четко осознавать, что момент достижения популяцией кормовой емкости угодий можно определить только на основании долговременных исследований, причем полученные результаты будут справедливы только для какой-то конкретной популяции и в конкретных условиях. Здесь в качестве примера следует привести результаты двух методически безупречных и долговременных исследований, в ходе которых была четко установлена емкость конкретной территории обитания.

Начать нужно с изучения популяции благородного оленя на о-ве Рам (расположен на севере Шотландии), которое проводились более 30 лет. Сам остров представляет собой открытую территорию, покрытую травянистой растительностью и вереском, что позволило на высоком уровне достоверности осуществлять идентификацию животных, слежение за ними и учет. С 1971 г. почти всех родившихся животных отлавливали в течение нескольких часов после появления на свет, маркировали и взвешивали. Впоследствии за ними следили на протяжении всей жизни в плоть до их смерти. Ученые, проходя по маршрутам, идентифицировали животных и отмечали для каждого из них даты отела, начала и окончания лактации, отлучения потомства, возраст начала участия в гоне, причины смерти и ряд других важных показателей. Благодаря этим исследованиям было установлено, что очевидные признаки превышения популяцией кормовой емкости угодий стали проявляться только при достижении плотности населения 25 особей на 100 га, или 250 особей на 1 000 га. Следует отметить, что в XX в. о-в Рам характеризовался

достаточно сложными зимними климатическими условиями с сильными ветрами, низкими для Европы температурами и повышенной влажностью [13–15].

Вторым исследованием, четко зафиксировавшим достижение популяцией емкости угодий, является долговременное, более 50 лет, изучение белохвостого оленя в резервате «Джордж» в штате Мичиган (США). Обследование проводилось в вольере площадью 464 га, огороженным 3,5-метровым забором. Первоначально популяция в загоне была сокращена до 10 животных, а затем изъятие было полностью прекращено с целью дать ей достичь максимально возможной плотности населения. При достижении численности в 212 особей (или плотности населения в 457 особей на 1 000 га) из-за ухудшения условий обитания смертность в популяции стала превышать рождаемость, а чистая продуктивность при этом стала отрицательной. Далее численность популяции была снижена отстрелом до 130 особей (или до плотности в 280 особей на 1 000 га) и поддерживалась дальше на этом уровне, причем при таких показателях наблюдался максимально устойчивый ежегодный размер изъятия (максимально возможный устойчивый урожай дичи) [16].

В целях улучшения управления ресурсами охотничьих животных вместо использования устаревших подходов, основанных на учетах и фиксированных оптимальных численностях, необходимо внедрять подходы адаптивного управления, которые должны быть основаны на сборе и анализе таких популяционных показателей, как масса тела добываемых животных, в первую очередь молодняка; количество добываемых животных; трофейные характеристики (массы и показатели, имеющие тесную зависимость от возраста); возраст добываемых животных (прежде всего зрелых самцов); количество молодняка, приходящегося на одну самку; степень покрытия добытых самок (доля оплодотворенных самок и количество молодняка на одну половозрелую самку).

Следует системно собирать и детально анализировать также повреждения, причиняемые дикими животными (урон и потравы в сельском и лесном хозяйстве, количество и динамика интенсивности ДТП с участием диких животных, количество конфликтных ситуаций с крупными хищниками, степень обгрызания растений и т. д.).

В настоящее время в Беларуси с приемлемой точностью собираются, а затем достаточно объективно используются для целей управления только два показателя: размер ежегодной добычи; количество диких животных, погибших в результате ДТП.

С начала 2000-х гг. в республике начался устойчивый рост ежегодного изъятия основных нормируемых охотничьих видов (рис. 1–3). Размер ежегодного изъятия лося с 2000 г. увеличился почти в 40 раз и в 2024 г. составил 9,7 тыс. особей; косули европейской – в 16 раз, в 2024 г. – почти 30 тыс. особей; оленя благородного – более чем в 50 раз, в 2024 г. – 8,2 тыс. особей. Следует отметить, что в Беларуси в последние годы была проделана огромная работа по восстановлению популяции копытных. На волю с равномерным распределением по всей территории страны было выпущено более 4 500 особей оленя благородного и созданы десятки его новых субпопуляций. Осуществляется расселение лани европейской. На данный вид уже начала осуществляться охота. Было создано несколько новых популяций зубра, его численность достигла более 3 000 особей. Следует отметить, что зубр ввиду его малочисленности и особенностей биологии пока остается единственным видом копытных, численность которого можно установить с относительно приемлемой точностью.

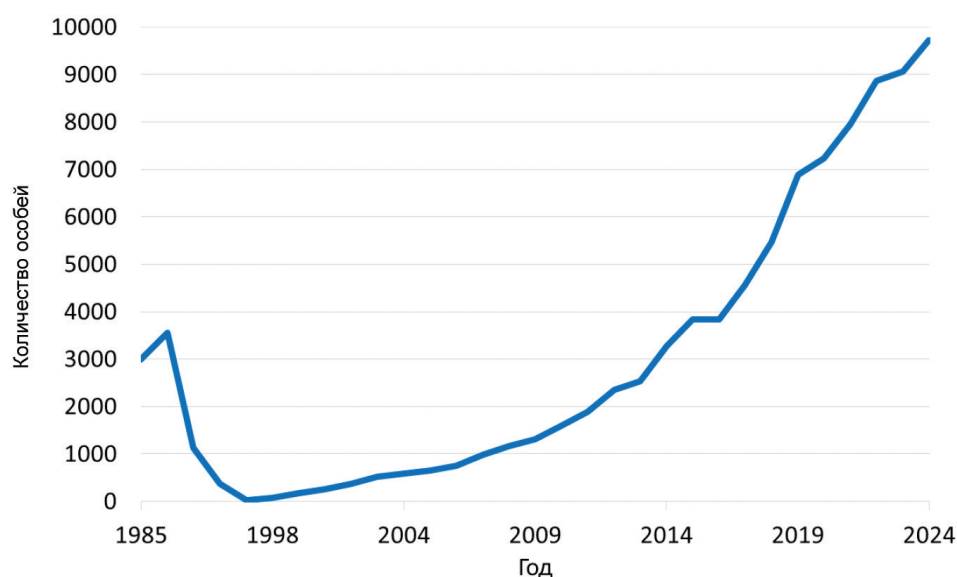


Рис. 1. Размер добычи лося

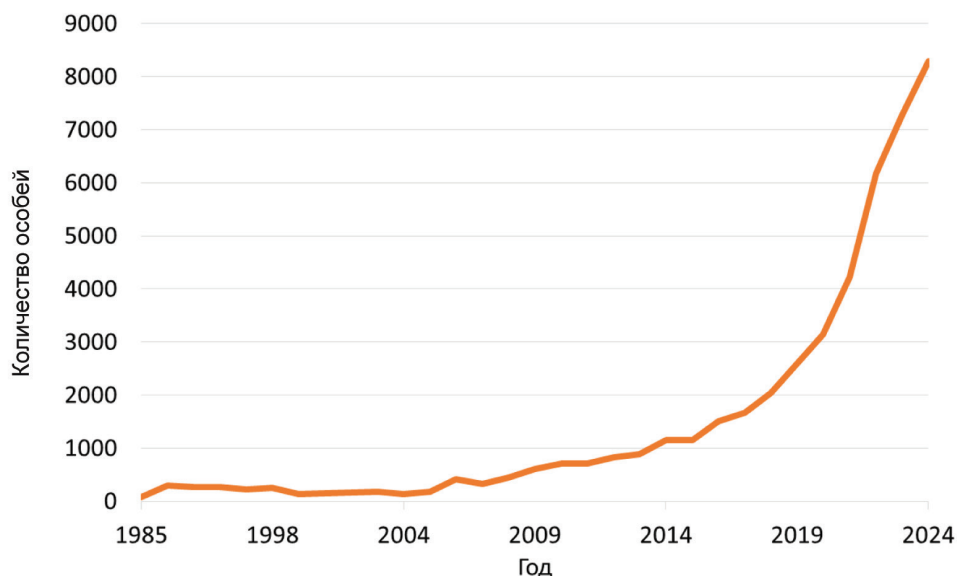


Рис. 2. Размер добычи оленя благородного

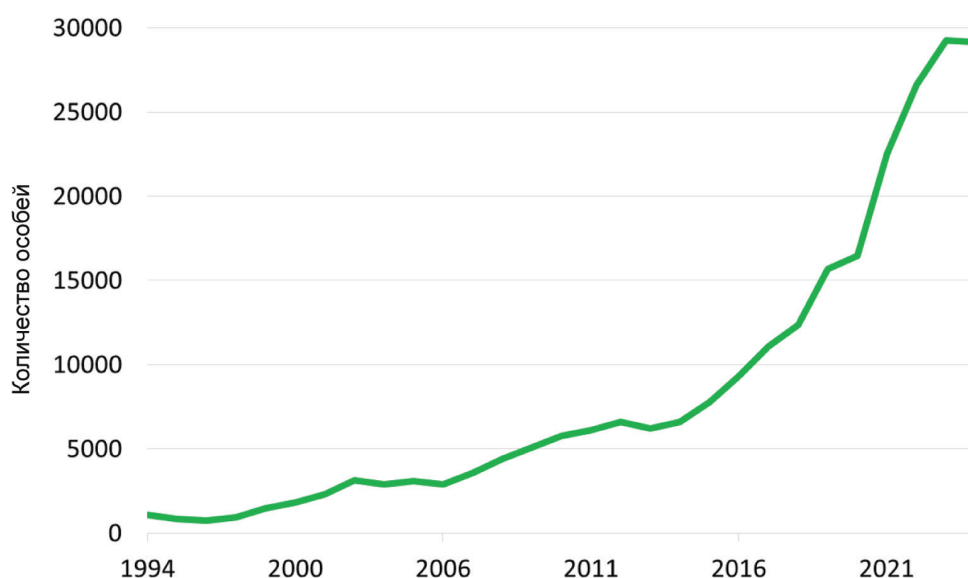


Рис. 3. Размер добычи косули европейской

Отдельного внимания заслуживает размер изъятия кабана и его численность в популяции (рис. 4). В связи с распространением африканской чумы свиней в 2014 г. резко сократилась численность дикого кабана, размер его изъятия последние 10 лет остается незначительным и колеблется в пределах 10–15 тыс. особей. Если до 2013 г. принятая в результате проведения учетов численность кабана более чем в 2,5 раза превышала размер ежегодной добычи, то уже после начала его тотального отстрела размер ежегодной добычи превышал учетную численность от 2,5 до 5,5 раза.

Наряду с общим размером ежегодного изъятия крайне важным и информативным является количество ежегодно добываемых сеголетков. Этот показатель имеет тесную взаимосвязь с ежегодным приростом: чем выше ежегодный прирост, тем больше в популяции сеголетков и тем выше вероятность их добычи во время охоты. Значительное и устойчивое по годам количество ежегодно добываемых сеголетков означает, что популяция имеет большую численность и правильную половозрастную структуру; обитает в благоприятных условиях; количество нерациональных потерь в результате хищничества и других неблагоприятных факторов незначительно, так как именно сеголетки страдают от них в первую очередь.

Следующим показателем, который объективно используется в Беларуси для целей управления популяциями диких копытных, является количество ДТП с участием диких животных. Данная пробле-

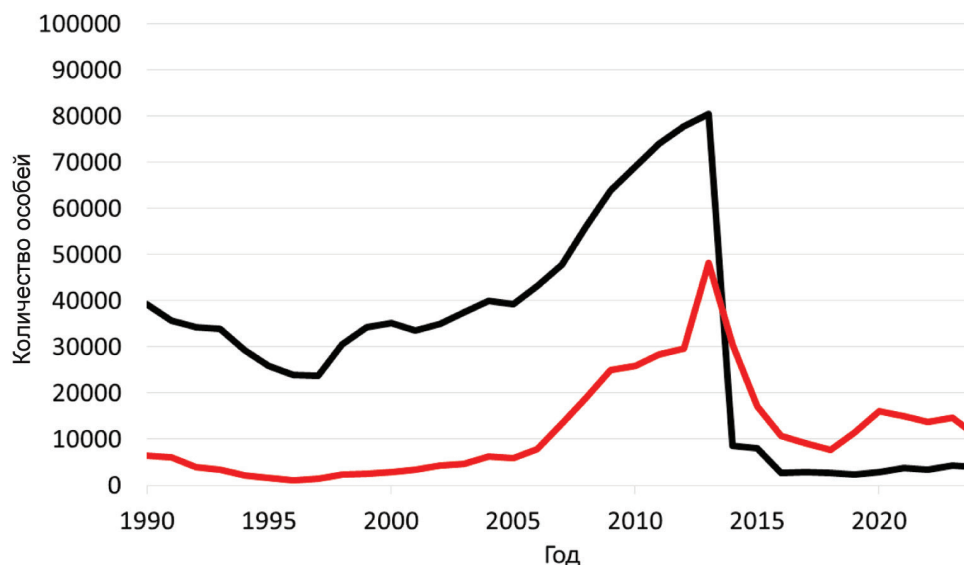


Рис. 4. Размер добычи кабана и динамика его официальной численности

ма представляет опасность для людей и приводит к ощутимому материальному ущербу. В результате увеличения интенсивности транспортного потока, развития сети автомобильных дорог, роста скорости движения, а также плотности населения копытных наблюдается увеличение количества ДТП с участием диких животных. Например, на территории Европейского союза общее количество копытных, ежегодно погибающих на дорогах, составляет около 1 млн особей, а в США – более 1,5 млн. Такие ДТП приводят как к прямому материальному ущербу, связанному прежде всего с повреждением транспортных средств, так и к косвенному – затратам на работу аварийно-спасательных служб, тратам на медицинское обслуживание потерпевших, потере части доходов от использования охотничьих ресурсов. По мнению экспертов, в Европе только ежегодный ущерб от повреждения транспортных средств в результате столкновений с дикими животными (исключая компенсацию за телесные повреждения и работу экстренных служб) превышает 1 млрд евро [17–20]. Дать точную оценку масштабу проблемы достаточно сложно, так как официальная статистика ведется только в некоторых странах Европы. Так, в 2024 г. в Германии преимущественно от столкновений с автомобилями погибло 204 320 косуль, 15 480 кабанов, 4 720 ланей, 2 750 оленей благородных. В Швеции по этой же причине погибло 51 557 косуль, 6 553 лося, 9 218 диких кабанов, 443 оленя благородных.

В Беларуси до 2021 г. информация о ДТП с участием диких животных не собиралась централизованно, в результате чего достоверность предоставляемой информации была низкой. После введения требования об обязательном сообщении о факте обнаружения травмированного или погибшего в результате ДТП дикого животного начался этап централизованного сбора указанной информации, что позволило получать точные данные о месте и дате совершения происшествия, а также виде погибшего животного, его поле и возрасте.

В 2021 г. в Беларуси было зафиксировано 3 050 диких копытных, погибших в результате ДТП, в том числе 878 лосей, 81 олень благородный, 1 907 косуль, 178 кабанов, 3 пятнистых оленя, 3 лани. В течение 2021 г. было зарегистрировано также 2 978 фактов ДТП с участием диких животных.

На протяжении 2022 г. погибло или было травмировано 3 075 диких копытных животных, в том числе 850 лосей, 86 благородных оленей, 1 992 косули, 142 кабана, 5 ланей. Общее количество зафиксированных фактов ДТП с участием других диких животных составило 3 021.

В 2025 г. в Беларуси была зарегистрирована гибель 5 081 дикого копытного в результате ДТП: 1 111 лосей, 156 оленей благородных, 3 525 косуль, 266 кабанов, 2 зубра, 2 оленя пятнистых, 19 ланей. С 2021 по 2025 г. общее количество погибших и травмированных в результате ДТП диких копытных увеличилось на 66 % (лось – на 92 %, косуля – на 85 %, кабан – на 50%).

Безусловно, общий рост в Беларуси количества диких животных, погибших и травмированных в результате ДТП, говорит о росте численности копытных в целом по стране. Однако при более углубленном изучении вопроса обнаружилось очень много нюансов и особенностей, указывающих на то, что количество случаев гибели животных на дороге зависит далеко не только от плотности населения в популяциях, поэтому к данному показателю в деле определения размера популяций также необходимо относиться с определенной осторожностью.

Статистический анализ фактов ДТП показал, что количество случаев гибели диких копытных в результате столкновения с автотранспортом достоверно зависит от интенсивности транспортного потока

на территории административных районов. Это также подтверждается сведениями об увеличении числа происшествий в пятницу и выходные дни, когда интенсивность транспортного потока возрастает.

Анализ в разрезе границ охотничьих хозяйств не выявил четкой зависимости количества аварий с участием диких животных ни от плотности населения диких копытных, ни от объема их изъятия с 1 000 га угодий, пригодных для их обитания (показатель, характеризующий плотность населения диких копытных). В качестве примера можно привести Минский р-н, в котором при относительно низкой плотности населения копытных фиксируется наибольшая интенсивность ДТП с участием диких животных в Беларуси. При этом в ряде охотничьих хозяйств с высокой плотностью населения копытных ежегодно отмечается относительно невысокое количество случаев указанных ДТП.

Для визуального отображения на карты, характеризующие состояние популяций, были нанесены места регистрации фактов гибели диких копытных в результате ДТП (рис. 5–8). На рисунках четко видно, что местами концентрации ДТП с участием диких животных, как правило, являются участки автомобильных дорог, прилегающих к Минску, областным центрам и иным крупным населенным пунктам, а также автомобильные дороги, характеризующиеся высокой интенсивностью транспортного потока, вне зависимости от численности и плотности населения диких копытных.

Для оценки состояния популяций и их негативного влияния на деятельность человека кроме обозначенных выше двух показателей можно использовать следующие.

*Доля оплодотворенных самок.* Этот показатель можно определять при добыче по количеству эмбрионов. Значительная доля неоплодотворенных самок в субпопуляции (группировке) говорит и о нарушенной половозрастной структуре, то есть количества самцов в популяции не хватает для успешного оплодотворения всех самок репродуктивного возраста. Возможно, также превышена емкость среды обитания и самки после принесения и выкармливания потомства из-за неблагоприятных условий не успевают восстановиться к периоду спаривания. Однако это пока маловероятно в наших современных условиях, так как исследования показывают, что такое возможно только при очень высокой плотности населения, как это было установлено долговременными исследованиями на о-ве Рам или в вольере резервата «Джордж».

*Количество молодняка, приходящегося на одну самку.* Данный показатель может использоваться в период, когда молодняк уже подрос и передвигается вместе с самками, а размер его гибели от хищников или других неблагоприятных факторов еще не значителен. Он отражает успешность покрытия самок, а следовательно, и благополучное состояние половозрастной структуры и размер биологического прироста. Возможен также учет сеголетков в конце репродуктивного цикла (март – апрель). Этот показатель уже будет отражать уровень и значимость негативного влияния различных неблагоприятных факторов. Как известно, именно молодняк первым страдает от хищников и суровых зимних условий.

*Масса добываемых сеголетков и закономерность ее изменения по годам.* Чем хуже среда обитания, тем меньше масса тела животных, особенно сеголетков, так как животные выросли в актуальных, существующих на данный момент условиях. Если масса тела сеголетков устойчиво уменьшается по годам, это говорит об ухудшении условий обитания животных, например, в результате перенаселения или ухудшения паразитарной обстановки.

*Трофейные качества, возраст и ежегодное количество добываемых самцов* являются критериями состояния половозрастной структуры популяций, так как только при здоровой половозрастной структуре можно добиться устойчивого изъятия старых самцов с внушительными трофеями. Также трофейные качества могут отчасти характеризовать и качество среды обитания.

*Состояние здоровья добываемых животных.* В ослабленных популяциях, обитающих в плохих условиях, пораженность животных инфекционными заболеваниями и паразитарными инвазиями всегда будет выше, чем если бы они обитали в более благоприятной, не перенаселенной среде обитания [21, 22].

*Ущерб, причиняемый ценным лесным насаждениям и сельскому хозяйству.* Как правило, именно этот показатель показывает степень негативного влияния диких животных на деятельность человека. При правильно встроенной системе его сбора этот параметр дает четкие руководства к действию при определении размера изъятия. Однако на практике определение допустимого размера ущерба является достаточно сложной задачей и требует от специалистов управления ресурсами выступать в качестве «мирового судьи» между различными группами людей.

В данный момент большинством профильных специалистов в области охоты и управления популяциями охотничьих видов животных оптимальная численность воспринимается как некая фиксированная цифра, что является неверным. Необходимо четко понимать сам смысл термина. В соответствии с Правилами ведения охотничьего хозяйства, оптимальная численность охотничьих животных – численность охотничьих животных, определенная охотоустроительной документацией, при которой данные животные на протяжении длительного времени могут обитать в охотничьих угодьях, естественно воспроизводиться, эффективно использовать кормовые ресурсы, а также при которой обеспечивается наибольший выход качественной продукции охоты без существенного вреда компонентам природной среды, жизни, здоровью и имуществу граждан, имуществу юридических лиц [23]. На практике определение данного показателя должно происходить с применением комплекса данных (фактические и актуальные индексы, показатели), характеризующих состояние конкретных субпопуляций, их среду обитания, их влияние на хозяйственную деятельность человека. И здесь самым важным, наряду с наличием оптимальных методик, является наличие системы сбора этих показателей, их анализа и дальнейшего использования для целей управления.

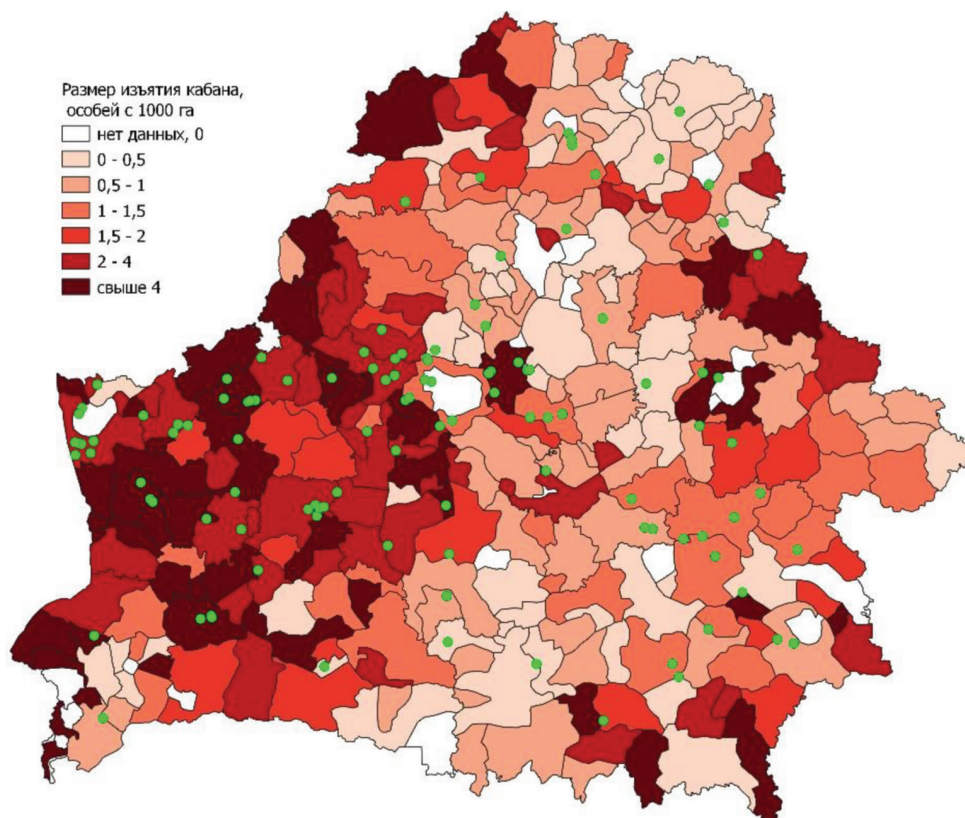


Рис. 5. Размер изъятия кабана и места его гибели в ДТП в 2022 г.

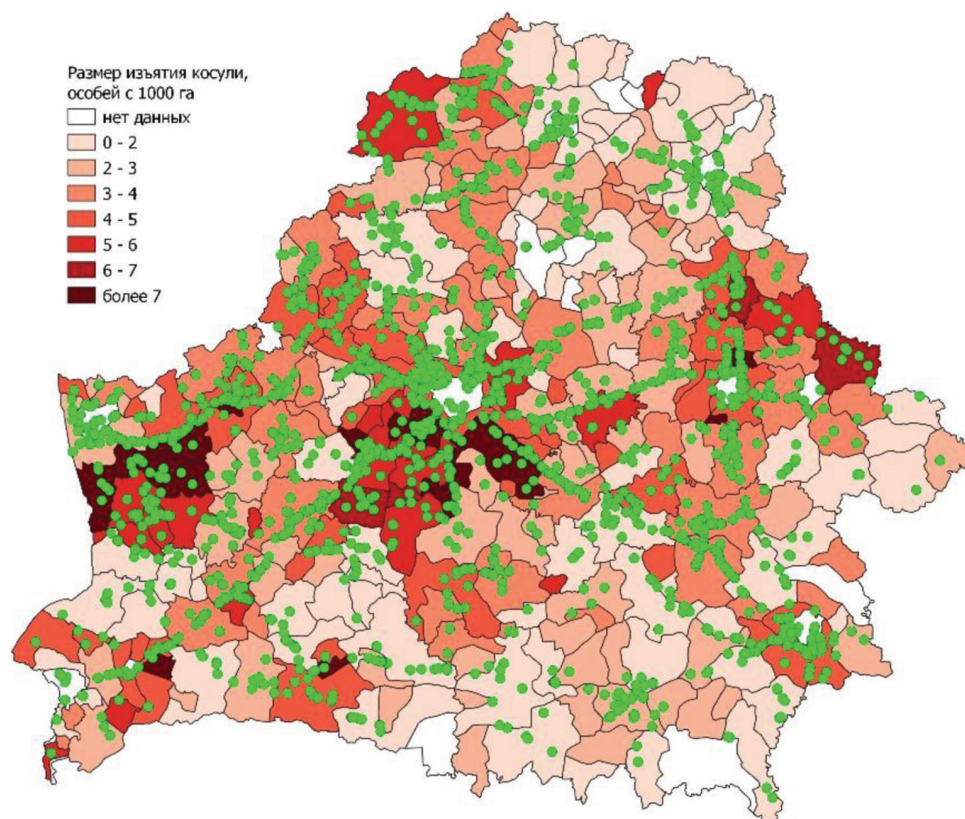


Рис. 6. Размер изъятия косули и места ее гибели в ДТП в 2022 г.

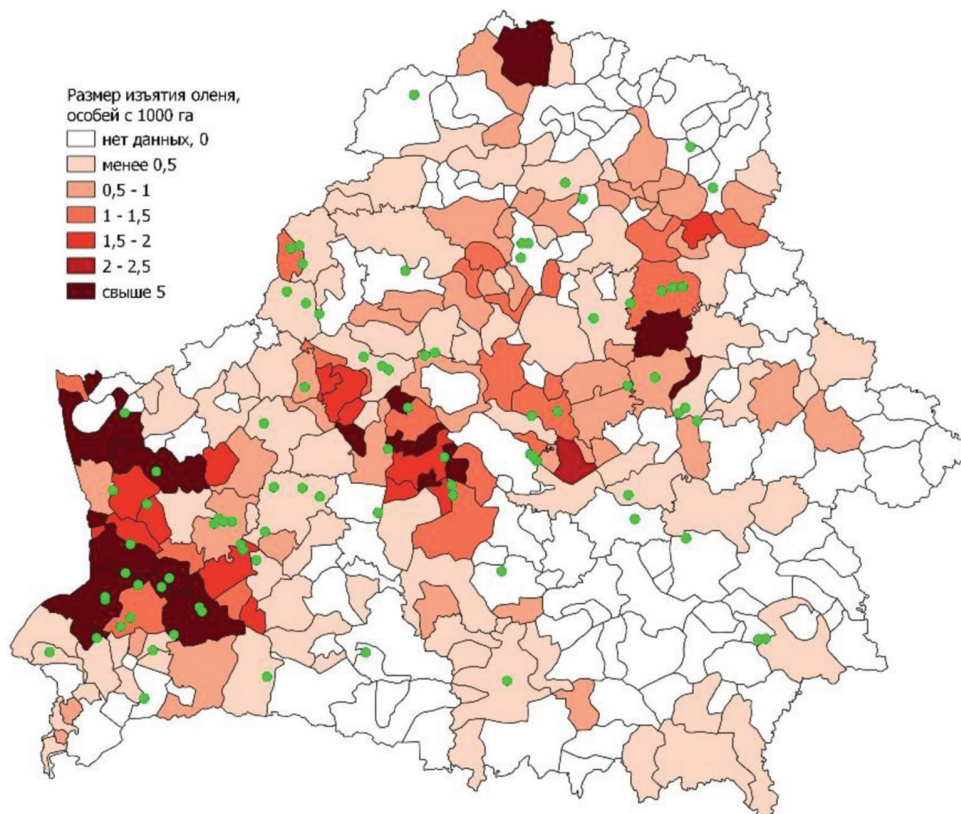


Рис. 7. Размер изъятия оленя благородного и места его гибели в ДТП в 2022 г.

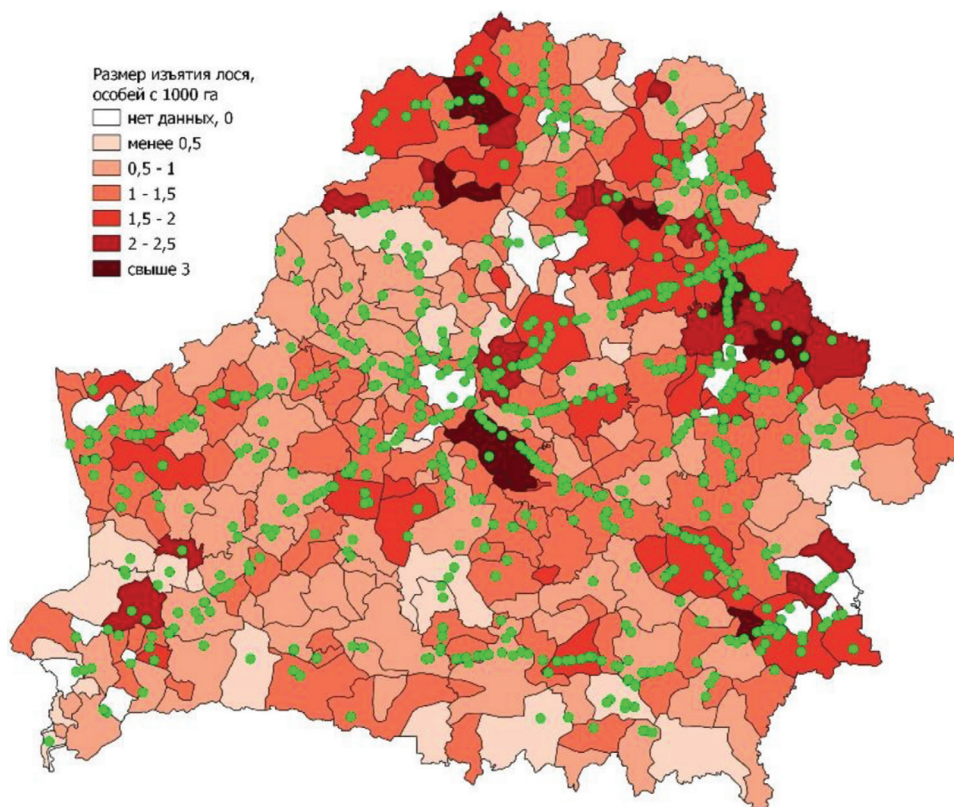


Рис. 8. Размер изъятия косули и места ее гибели в ДТП в 2022 г.

В настоящее время в Беларуси система планирования изъятия охотничьих животных нормируемых видов выглядит следующим образом. Каждый пользователь охотничьих угодий на основании проведенных учетов по утвержденным методикам на 20 апреля устанавливает принятую численность. Потом самостоятельно с помощью Инструкции о порядке планирования изъятия охотничьих животных нормируемых видов определяет норму (размер) изъятия с распределением по половозрастной структуре. Инструментом в этой инструкции выступают таблицы, по которым на основании соотношения принятой численности и значения оптимальной численности (устанавливается в рамках проведения охотоустройства на основании таблиц в разрезе комплексов лесных массивов) определяется допустимый размер изъятия в процентах от принятой численности на 20 апреля [24].

План изъятия согласовывается областным органом управления охотничьим хозяйством, при этом проверяется только соответствие плана изъятия требованиям Инструкции по планированию изъятия. В целях получения объективной информации по состоянию популяций охотничьих животных могут проводиться контрольные учеты, однако последние годы они признаются крайне неэффективными. Кроме того, на практике вся эта система в основном работает от обратного. Сначала пользователь охотничьих угодий определяет необходимый ему размер изъятия, потом выясняет, какая численность для этого требуется, и уже потом проводит учеты.

Система адаптивного управления популяциями нормируемых видов охотничьих животных должна быть основана на централизованном сборе и анализе различных показателей состояния сообщества, среды обитания, а также негативного влияния на деятельность человека с последующим предоставлением в органы государственного управления для принятия ими управленческих решений (рис. 9) [25, 26].

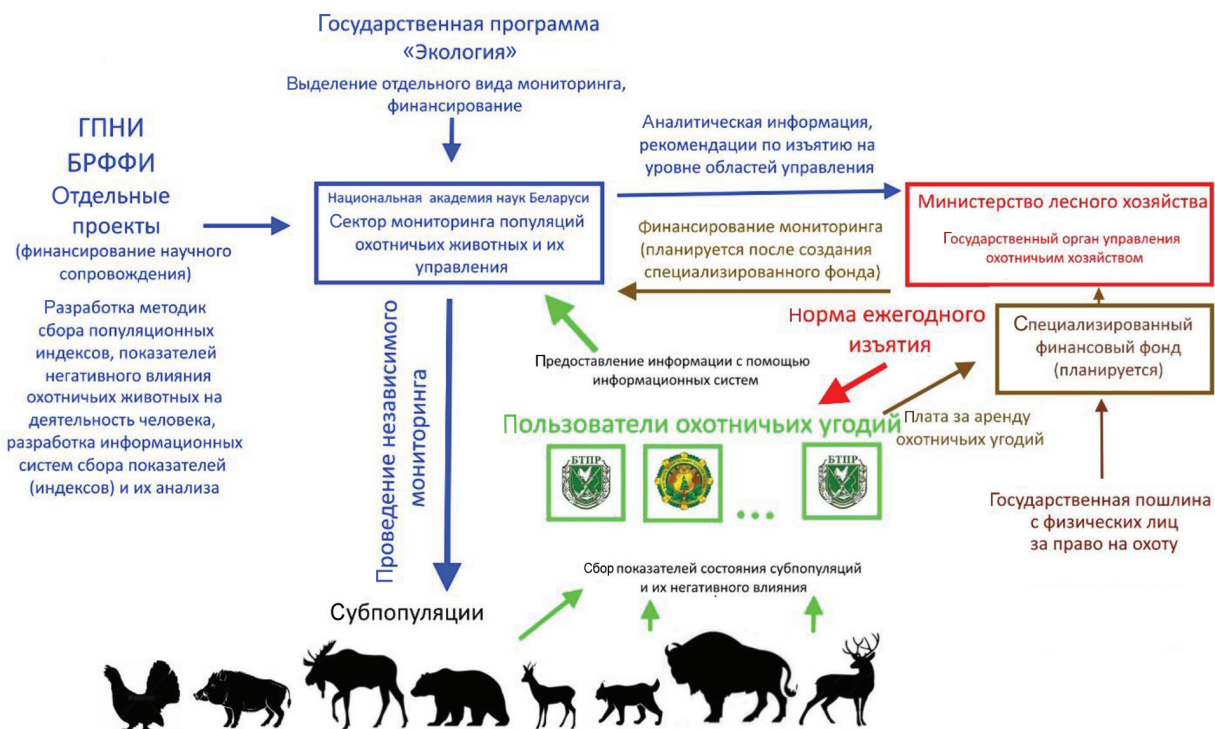


Рис. 9. Предлагаемая схема функционирования системы по сбору и анализу данных о состоянии популяций охотничьих животных и их негативного влияния с целью адаптивного управления охотничьими ресурсами в Республике Беларусь

Ключевая роль в этом процессе должна быть отведена отдельной структуре, которая могла бы выполнять следующие виды работ:

- разработка методик и протоколов сбора популяционных индексов, индексов состояния среды обитания и степени негативного влияния на деятельность человека;
- разработка и обеспечение функционирования информационных систем, платформ, баз данных для сбора информации и анализа;
- сбор, обобщение и анализ информации, предоставленной охотниками и охотпользователями через информационные системы;
- анализ данных о ДТП с участием диких животных в разрезе охотпользователей;
- сбор и анализ сведений о конфликтных ситуациях с крупными хищниками, включая учет размера причиненного ими ущерба;

оценка размера повреждений, причиненных дикими копытными лесному и сельскому хозяйству;  
свод информации по поражению диких животных инфекционными заболеваниями и паразитарными инвазиями;

независимый сбор показателей состояния популяций и среды их обитания на модельных участках или при возникновении спорных ситуаций (получение индекса встречаемости диких животных с помощью современных технологий; обследование глухариных и тетеревиных токов; определение степени повреждаемости лесных культур и т. п.);

разработка и обновление планов управления популяциями ресурсных (охотничьих) видов и видов, имеющих бинарный статус;

другие, необходимые для объективной и достоверной оценки состояния популяций диких животных.

Результатом всей этой работы должны стать:

ежегодное предоставление аналитической информации о состоянии популяций (динамика различных популяционных индексов), негативном влиянии диких животных на хозяйственную деятельность человека; определение размера ежегодной добычи как на уровне областей управления, так и на общереспубликанском уровне.

Наиболее приемлемым является создание такой структуры на базе Национальной академии наук Республики Беларусь как независимой, не имеющей собственных хозяйственных интересов организации, способной самостоятельно осуществлять научные исследования, проводить полевые изыскания, а также аккумулировать предоставленные данные и выполнять их объективный анализ.

**Закключение.** В Беларуси принципы управления популяциями нормируемых видов охотничьих животных и в первую очередь принципы планирования изъятия основаны на определении оптимальной численности вида на конкретной территории, установленной охотоустройством, и численности вида на конкретной территории, получаемой в результате проведения учетов. Несмотря на существование большого числа прямых и косвенных методов учета, их точность остается очень низкой, а в большинстве случаев она просто не известна. Качество и емкость местообитания диких животных являются динамичными показателями и научно обоснованного и точного метода их оценки не существует, поэтому установление оптимальной численности в виде четкого, фиксированного числа на долгосрочный период является неприемлемым и необоснованным.

Общую ситуацию усугубляет тот факт, что в соответствии с требованиями действующих нормативных правовых актов пользователи охотничьих угодий на основании проведенных ими же учетов самостоятельно устанавливают принятую численность, индивидуально определяя норму (размер) изъятия с распределением по половозрастной структуре.

Для совершенствования управления ресурсами охотничьих животных необходимо внедрять систему адаптивного управления популяциями нормируемых видов охотничьих животных, основанную на централизованном сборе и анализе различных показателей состояния популяций, среды их обитания, а также их негативного влияния на деятельность человека. В дальнейшем полученная информация должна использоваться органами государственного управления для принятия ими решений в области регулирования популяциями и в первую очередь при определении ежегодной нормы добычи.

#### Список использованных источников

1. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores / N. Morellet, J. M. Gaillard, A. J. M. Hewison [et al.] // *Journal of Applied Ecology*. – 2007. – Vol. 44. – P. 634–643.
2. Empirical evidence of density dependence in populations of large herbivores / C. Bonefant, J. M. Gaillard, T. Coulson [et al.] // *Advances in Ecological Research*. – 2009. – Vol. 41. – P. 317–318.
3. Гештовт, П. А. О необходимости смены модели биологического управления ресурсами копытных в Беларуси / П. А. Гештовт, А. В. Гуринович // *Копытные в изменяющемся мире – последствия для популяционной динамики, миграции и управления* : тез. докл. Междунар. конф., 19–21 сент. 2016, Красный бор, Беларусь. – Витебск, 2016. – С. 19.
4. Apollonio, M. Challenges and science-based implications for modern management and conservation of European ungulate populations / M. Apollonio, V. V. Belkin, J. Borkowski // *Mammal Research*. – 2017. – Vol. 62, № 3. – P. 209–217.
5. Anderson, D. R. The need to get the basics right in wildlife field studies / D. R. Anderson // *Wildlife Society Bulletin*. – 2001. – Vol. 29, № 4. – P. 1294–1297.
6. Anderson, D. R. Response to Engeman: index values rarely constitute reliable information / D. R. Anderson // *Wildlife Society Bulletin*. – 2003. – Vol. 31, № 1. – P. 288–291.
7. Witmer, G. W. Wildlife population monitoring: some practical considerations / G. W. Witmer // *Wildlife Research*. – 2005. – Vol. 32. – P. 259–263.
8. Van Horne, B. Density as a misleading indicator of habitat quality / B. van Horne // *Journal of Wildlife Management*. – 1983. – Vol. 47, № 4. – P. 893–901.
9. Hall, L. S. The habitat concept and a plea for standard terminology / L. S. Hall, P. R. Krausman, M. L. Morrison // *Wildlife Society Bulletin*. – 1997. – Vol. 25. – P. 173–182.
10. Johnson, M. D. Measuring habitat quality: a review / M. D. Johnson // *The Condor: Ornithological Applications*. – 2007. – Vol. 109, iss. 3. – P. 489–504.
11. Hobbs, N. T. Habitat valuation: do use/availability data reflect carrying capacity? / N. T. Hobbs, T. A. Hanley // *Journal of Wildlife Management*. – 1990. – Vol. 54, № 4. – P. 515–522.

12. ARM! For the future: adaptive resource management in the wildlife profession / R. Lancia, C. Braun, M. Collopy [et al.] // *Wildlife Society Bulletin*. – 1996. – Vol. 24, № 3. – P. 436–442.
13. Clutton-Brock, T. H. The costs of reproduction to red deer hinds / T. H. Clutton-Brock, F. E. Guinness, S. D. Albon // *Journal of Animal Ecology*. – 1983. – Vol. 52. – P. 367–383.
14. Proaktor, G. The Demographic Consequences of the Cost of Reproduction in Ungulates / G. Proaktor, T. Coulson, E. J. Milner-Gulland // *Ecology*. – 2008. – Vol. 89, № 9. – P. 2604–2611.
15. McLoughlin, P. D. Cross-generational effects of habitat and density on life history in red deer / P. D. McLoughlin, T. Coulson, T. H. Clutton-Brock // *Ecology*. – 2008. – Vol. 89, № 12. – P. 3317–3326.
16. McCullough, D. R. Lessons from the George Reserve / D. R. McCullough // *White-tailed deer: ecology and management*. – Pennsylvania : Stackpole Books, 1984. – P. 211–241.
17. Гештовт, П. ДТП с участием диких животных: закономерности и сравнительный анализ / П. Гештовт, С. Гузней // *Наука и инновации*. – 2023. – № 8. – С. 70–75.
18. Langbein, J. Traffic collisions involving deer and other ungulates in Europe and available measures for mitigation / J. Langbein, R. Putman, B. Pokorny // *Ungulate Management in Europe: Problems and Practices* / R. Putman, M. Apollonio, R. Andersen (Eds.). – Cambridge, 2011. – P. 215–259.
19. Apollonio, M. European Ungulates and Their Management in the 21st Century / M. Apollonio, A. Reidar, R. Putman. – Cambridge, 2010. – 604 p.
20. Pokorny, B. Roe deer-vehicle collisions in Slovenia: situation, mitigation strategy and countermeasures / B. Pokorny // *Veterinarski Arhiv*. – 2006. – № 76. – P. 177–187.
21. Гештовт П. А. Трофей – важный показатель состояния популяций (ч. 1) / П. А. Гештовт // *Русский охотничий журнал*. – 2018. – № 3. – С. 12–16.
22. Гештовт П. А. Трофей – важный показатель состояния популяций (ч. 2) / П. А. Гештовт // *Русский охотничий журнал*. – 2018. – № 4. – С. 14–18.
23. Правила ведения охотничьего хозяйства : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 21 марта 2018 г. № 112 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь 16.09.2020 № 345. – URL: <https://ilex-private.ilex.by/view-document/BELAW/223044/%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%B0%20%D0%BE%D1%85%D0%BE%D1%82%D1%8B?searchKey=7kp8&docSwitcherKey=4smf&searchPosition=1#M101757> (дата обращения: 04.03.2026).
24. Инструкция о порядке планирования изъятия охотничьих животных нормируемых видов : утв. постановлением М-ва лесн. хоз-ва Респ. Беларусь от 12 марта 2025 г. № 7. – URL: <https://ilex-private.ilex.by/view-document/BELAW/227820/%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8E%20%D0%B8%D0%B7%D1%8A%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F?searchKey=lwke&docSwitcherKey=9z8y&searchPosition=2#M100023> (дата обращения: 04.03.2026).
25. Гештовт, П. А. Адаптивное управление – дорога в будущее охотничьего хозяйства (ч. 1) / П. А. Гештовт // *Русский охотничий журнал*. – 2018. – № 9. – С. 12–18.
26. Гештовт, П. А. Адаптивное управление – дорога в будущее охотничьего хозяйства (ч. 2) / П. А. Гештовт // *Русский охотничий журнал*. – 2018. – № 10. – С. 8–16.

Поступила 14.02.2026

Д. Г. Груммо, Н. М. Роговский

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича  
Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: nikita.rogovski.03@gmail.com, zm.hrumo@gmail.com**ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
ИНВАЗИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В ПОЛЕССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ**

**Аннотация.** Представлены текущая и прогнозная вероятностные оценки пригодности территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) к внедрению инвазивных древесных видов растений – *Acer negundo* и *Robinia pseudoacacia*. Использован подход максимальной энтропии (MaxEnt) с включением сведений о местах произрастания и условиях среды, в которых для каждого вида выявлены наиболее значимые факторы для распространения. Определено, что в настоящее время благоприятные условия для произрастания *A. negundo* встречаются на 31,53 тыс. га (14,7 % площади ПГРЭЗ), *R. pseudoacacia* – на 33,60 тыс. га (15,7 %). Прогнозная вероятность распространения видов построена по SSP-сценариям изменения климата, в соответствии с которыми выявлено, что только для *R. pseudoacacia* по SSP1-2.6 к концу XXI в. будет наблюдаться увеличение площадей (39,52 тыс. га, или 18,5 %) с благоприятными условиями для произрастания. Во всех остальных случаях прогнозируется уменьшение пригодных площадей для формирования сообществ с инвазивными древесными видами растений: у *A. negundo* – от 17,15 тыс. га (8,0 % площади ПГРЭЗ) до 0,04 тыс. га (< 0,1 %), *R. pseudoacacia* – от 10,45 тыс. га (4,9 %) до 2,79 тыс. га (1,4 %).

**Ключевые слова:** инвазивные древесные виды растений, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, пригодность территории для вселения видов растений, прогнозное моделирование, машинное обучение, метод максимальной энтропии, дистанционное зондирование, Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

D. G. Grummo, N. M. Rogovsky

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: nikita.rogovski.03@gmail.com, zm.hrumo@gmail.com**PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE DISTRIBUTION OF INVASIVE WOODY PLANT SPECIES  
IN THE POLESSKY STATE RADIOECOLOGICAL RESERVE**

**Abstract.** This study presents current and predicted probabilistic assessments of the suitability of the Polesky State Radioecological Reserve (PSRR) territory for the introduction of invasive woody plant species – *Acer negundo* and *Robinia pseudoacacia*. The maximum entropy (MaxEnt) approach was used, incorporating information on habitats and environmental conditions, identifying the most significant factors for the spread of each species. It was determined that favorable conditions for the growth of *A. negundo* currently exist on 31.53 kha (14.7 % of the PSRR area), while favorable conditions for *R. pseudoacacia* are found on 33.6 kha (15.7 %). The predicted probability of species spread is based on SSP climate change scenarios, which revealed that only for *R. pseudoacacia* under SSP1-2.6, by the end of the 21st century, there will be an increase in area (39.52 kha, or 18.5 %) with favorable growing conditions. In all other cases, a reduction in areas suitable for the formation of communities with invasive woody plant species is predicted: for *A. negundo* – from 17.15 kha (8.0 % of the PSRR area) to 0.04 kha (< 0.1 %), *R. pseudoacacia* – from 10.45 kha (4.9 %) to 2.79 kha (1.4 %).

**Keywords:** invasive woody plant species, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, suitability of the territory for plant species introduction, predictive modeling, machine learning, maximum entropy method, remote sensing, Polesky State Radioecological Reserve

Дз. Г. Грумо, М. М. Рагоўскі

Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,  
Мінск, Беларусь, e-mail: nikita.rogovski.03@gmail.com, zm.hrumo@gmail.com**ВЕРАГОДНАЯ АЦЭНКА РАСПАЎСЮДЖАННЯ ІНВАЗІВНЫХ ДРЭЎНЫХ ВІДАЎ РАСЛІН  
У ПАЛЕСКІМ ДЗЯРЖАЎНЫМ РАДЫЯЦЫЙНА-ЭКАЛАГІЧНЫМ ЗАПОВЕДНІКУ**

**Анацыя.** Прадстаўлены бягучая і прагнозная імаверная ацэнка прыгоднасці тэрыторыі Палескага дзяржаўна-радыяцыйна-экалагічнага заповедніка (ПДРЭЗ) да ўкаранення інвазіўных дрэўных відаў раслін – *Acer negundo* і *Robinia pseudoacacia*. Выкарыстаны падыход максімальнай энтрапіі (MaxEnt) з уключэннем звестак аб месцах вырасцання і ўмоў асяроддзя, у якіх для кожнага віду выяўлены найбольш значныя фактары для распаўсюджвання. Вызначана, што ў цяперашні час спрыяльныя ўмовы для вырасцання *A. negundo* сустракаюцца на 31,53 тыс. га (14,7 % плошчы ПДРЭЗ), *R. Pseudoacacia* – на 33,60 тыс. га (15,7 %). Прагнозная верагоднасць распаўсюджвання відаў пабудавана па SSP-сцэнарыях змены клімату, у адпаведнасці з якімі выяўлена, што толькі для *R. pseudoacacia* па SSP1-2.6 да канца XXI ст. будзе назірацца павелічэнне плошчаў (39,52 тыс. га, або 18,5 %) са спрыяльнымі ўмовамі для росту. Ва

ўсіх астатніх выпадках прагназуецца памяншэнне прыгодных плошчаў для фарміравання супольнасцяў з інвазіўнымі дрэўнымі відамі раслін: у *A. negundo* – ад 17,15 тыс. га (8,0 % плошчы ПДРЭЗ) да 0,04 тыс. га (< 0,1 %), *R. Pseudoacacia* – ад 10,45 тыс. га (4,9 %) да 2,79 тыс. га (1,4 %).

**Ключавыя словы:** інвазіўныя дрэўныя віды раслін, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, прыгоднасць тэрыторый для ўсялення відаў раслін, прагназнае мадэліраванне, машыннае навучанне, метады максімальнай энтрапіі, дыстанцыйнае зандзіраванне, Палескі дзяржаўны радыяцыйна-экалагічны запаведнік

**Введение.** Современное изменение климата является важнейшим фактором, во многом определяющим динамику биоразнообразия природных экосистем. Изменение режима температур и выпадения осадков приводит к смещению ареалов распространения видов растений, в результате чего становится актуальным вопрос прогнозирования вероятности их произрастания на территориях, где ранее они не встречались. Часть мигрировавших видов успешно внедряется как в естественные, так и антропогенно-преобразованные экосистемы, где их инвазионный потенциал раскрывается в полной мере.

По современным данным, к особо опасным чужеродным видам растений в Беларуси относятся 8 таксонов [1, 2], распространение которых остается довольно широким даже с учетом принимаемых мер по борьбе с ними. Среди них выделяются два древесных вида – клен ясенелистный (*A. negundo* L.) и робиния лжеакация (*R. pseudoacacia* L.), интродукция которых проводилась в питомниках и усадебных парках [3, 4], откуда в последующем началась их экспансия. Сегодня основные места локализации *A. negundo* сконцентрированы вдоль водотоков и линейной инфраструктуры, на селитебных территориях равномерно по всей территории Беларуси [3]. В свою очередь, сообщества с доминированием *R. pseudoacacia* в основном произрастают в границах бывших сельскохозяйственных земель и населенных пунктов юга страны.

Наиболее репрезентативной территорией для определения потенциала экспансии указанных видов является Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ). Здесь многообразие характеристик природных компонентов и почти полное прекращение хозяйственной деятельности в послеаварийный период определили разнонаправленность восстановительных процессов растительного покрова, где особое место занимает инвазивный компонент, в частности древесные виды. В основном насаждения с ними сформированы спонтанно – лишь в северной части заповедника имеются единичные культурные посадки *R. pseudoacacia*. Это определяет уникальность объекта, где только условия природной среды диктуют пространственную динамику видов растений.

Для ее выявления одним из трендов в современной экологии является моделирование распространения видов (англ. – Species distribution modeling, SDM). Исследования такого рода преимущественно базируются на достижениях в сфере биоинформатики. К основным достоинствам моделей можно отнести устойчивость к переобучению и мультиколлинеарности, а также возможность работы с небольшой выборкой наземных данных.

Цель исследования – на примере ПТРЭЗ выявить текущие закономерности размещения инвазивных древесных видов растений и оценить пригодность территории для их произрастания к середине и концу XXI в.

Для выполнения цели исследования необходимым является выполнение следующих задач: сформировать блоки входных данных, включающих места произрастания изучаемых видов растений и параметры среды в заповеднике; выявить факторы среды с наибольшим вкладом в текущее распространение видов растений; провести оценку текущей пригодности территории заповедника для произрастания видов растений; спрогнозировать степень благоприятности среды для формирования сообществ с исследуемыми видами растений к 2040–2060 и 2080–2100 гг. по ряду сценариев изменения климата.

**Материалы и методы исследования.** Заповедник расположен на землях Брагинского, Наровлянского и Хойникского р-нов Гомельской обл. между 51°20′–51°50′ северной широты и 29°30′–30°30′ восточной долготы. Южная граница проходит вдоль Государственной границы Республики Беларусь с Украиной. Площадь района исследования составляет 216,2 тыс. га.

Пространственная изоляция территории ПГРЭЗ привела к тому, что здесь уровень синантропизации флоры сохранился на уровне конца 1980-х гг., что значительно ниже, чем в целом по стране. В границах заповедника выявлено 42 вида, или 79 % от всех признанных в Беларуси агрессивными инвазивных видов (всего 53) [2, 5, 6]. Установлено, что инвазионная активность этих видов в пределах модельной территории неоднородная. К видам-трансформерам (растения, приводящие к коренной трансформации растительного покрова) можно отнести 8 таксонов во флоре ПГРЭЗ: череда ольственная (*Bidens frondosa* L.), мелколепестники однолетний и северный (*Phalacrologium annuum* (L.) Dumort., *Ph. septentrionale* (Fernald & Wiegand) Tzvelev), облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.), топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.), рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun), клен ясенелистный (*A. negundo* L.) и робиния лжеакация (*R. pseudoacacia* L.) [6].

Последние два являются особенно интересными древесными адвентивными видами, поскольку являются новыми лесообразующими видами в регионе. В заповеднике доля таких лесов поступательно растет: 2,7 % (2000 г.) < 3,9 % (2011 г.) < 4,3 % (2020 г.) [7]. Такие насаждения развиваются, как правило, на бывших сельскохозяйственных землях в пределах или окрестностях отселенных деревень [6, 8–13].

Определение потенциала дальнейшей экспансии инвазивных видов растений в ПГРЭЗ проводилось с использованием метода максимальной энтропии, реализованного в программе MaxEnt [14–16]. Его применение довольно широко как в мире [17–21], так и на постсоветском пространстве [22–26]. Для его реализации необходимо провести ряд действий по сбору и обработке информации о местах произрастания и параметрах среды.

**Места произрастания вида.** Прогнозирование потенциала территории к заселению инвазивных видов начинается в первую очередь с определения их текущего распространения. В среде MaxEnt необходимо их представление в виде сведений с координатами точек произрастания. В исследовании предлагается извлечение данных из результатов наземных наблюдений, проведенных нами и сотрудниками научного отдела ПГРЭЗ в период 2021–2025 гг., а также из ряда научных публикаций [8–13, 27]. Они представлены пространственными сведениями о наличии инвазивных видов в границах лесотаксационных выделов. В соответствии с ними площади выделов с наличием мест произрастания *A. negundo* и *R. pseudoacacia* составляют 10,57 и 3,11 тыс. га соответственно (рис. 1, а).

Во многих выделах в пределах бывших сельскохозяйственных земель и населенных пунктов весомую долю занимают прогаины. Для выявления только лесопокрытых участков проводилась классификация безоблачного композитного снимка Sentinel-2 за 2025 г. с применением машинного обучения. В результате площадь лесов с доминированием или присутствием *A. negundo* и *R. pseudoacacia* в составе древостоя составляет 2,32 и 0,72 тыс. га соответственно (рис. 1, б).

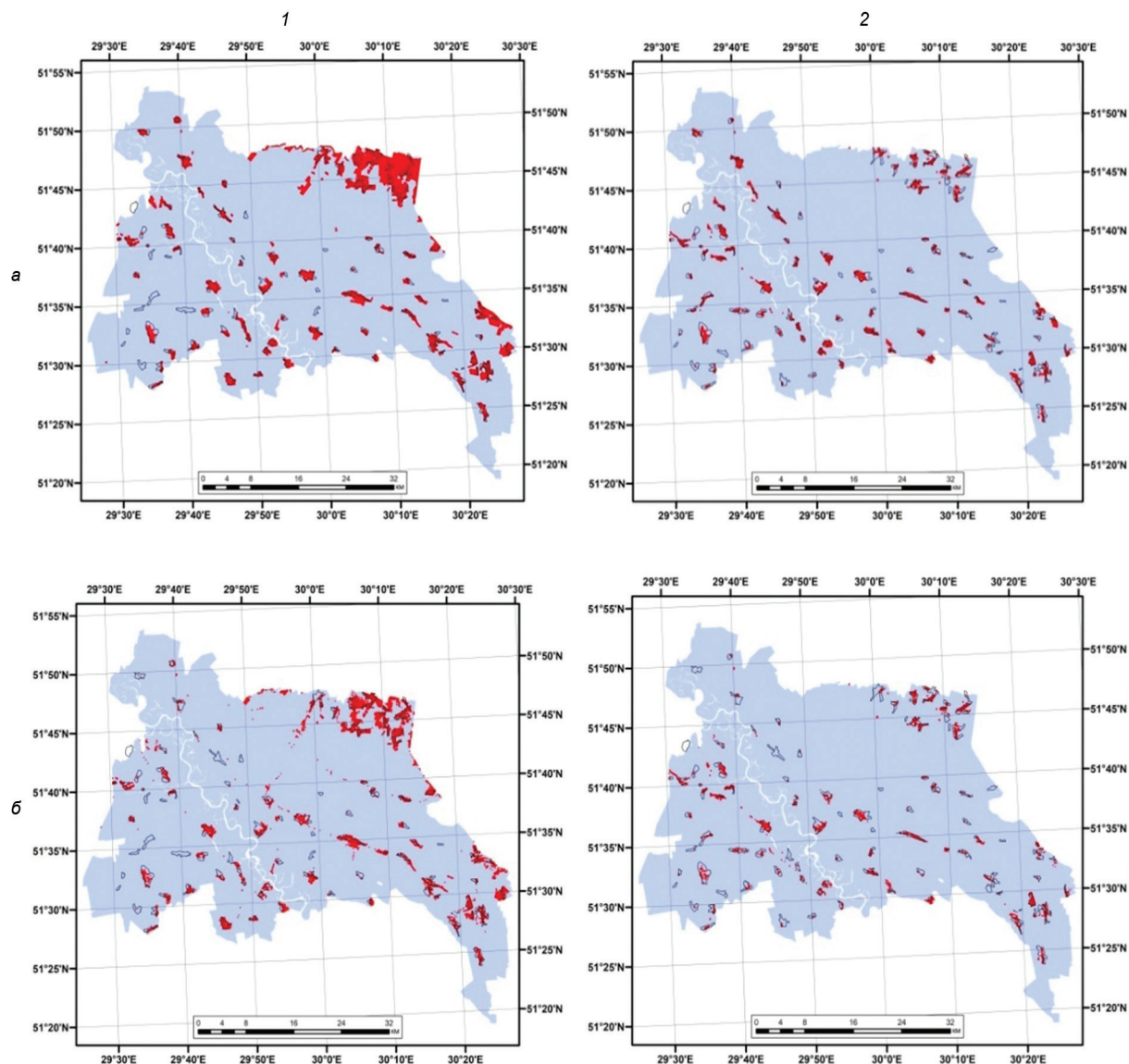


Рис. 1. Текущее распространение *A. negundo* (1) и *R. pseudoacacia* (2) в границах лесотаксационных выделов (а) и на лесопокрытых территориях (б)

На этой основе создано 500 случайных точек, часть определена в качестве тестовых (25 %) и тренировочных (75 %) данных случайным образом.

**Параметры среды.** В модели определяется ряд пространственных тематических сведений: биоклиматические показатели, рельеф, виды земель, почвенный покров.

**Биоклиматические показатели.** Климат является фактором с наиболее активным изменением во времени и влиянием на динамику растительного покрова. Перечень и значения биоклиматических показателей базируются на данных WorldClim [28] (табл. 1).

Для оценки текущей пригодности территории ПГРЭЗ к заселению инвазивных видов используются значения показателей за 1970–2000 гг. За указанный период среднегодовая температура в заповеднике составила 6,9 °С, а сумма осадков – 603 мм. Прогнозная динамика определялась на период 2040–2060 и 2080–2100 гг. по четырем сценариям изменения климата, соответствующим Общим социально-экономическим путям (англ. Shared Socioeconomic Pathways, SSP): 1-2.6, 2-4.5, 3-7.0, 5-8.5 [29–35] (табл. 2).

Таблица 1. Биоклиматические показатели базы данных WorldClim

Показатель	Сущность показателя	Сокращение
BIO1	Среднегодовая температура	T <sub>year</sub>
BIO2	Средний суточный диапазон температур	T <sub>day-range</sub>
BIO3	Изотермичность (BIO2/BIO7) (×100)	T <sub>iso</sub>
BIO4	Сезонность температуры (стандартное отклонение ×100)	T <sub>season.</sub>
BIO5	Максимальная температура самого теплого месяца	T <sub>max-warm</sub>
BIO6	Минимальная температура самого холодного месяца	T <sub>max-cold</sub>
BIO7	Годовой диапазон температур (BIO5–BIO6)	T <sub>year-range</sub>
BIO8	Средняя температура самого влажного квартала	T <sub>humid-quarter</sub>
BIO9	Средняя температура самого сухого квартала	T <sub>dry-quarter</sub>
BIO10	Средняя температура самого теплого квартала	T <sub>warm-quarter</sub>
BIO11	Средняя температура самого холодного квартала	T <sub>cold-quarter</sub>
BIO12	Годовое количество осадков	Pr <sub>year</sub>
BIO13	Осадки самого влажного месяца	Pr <sub>humid</sub>
BIO14	Осадки самого сухого месяца	Pr <sub>dry</sub>
BIO15	Сезонность осадков (коэффициент вариации)	Pr <sub>season.</sub>
BIO16	Осадки самого влажного квартала	Pr <sub>humid-quarter</sub>
BIO17	Осадки самого сухого квартала	Pr <sub>dry-quarter</sub>
BIO18	Осадки самого теплого квартала	Pr <sub>warm-quarter</sub>
BIO19	Осадки самого холодного квартала	Pr <sub>cold-quarter</sub>

Примечание. Таблица составлена на основании [28].

Таблица 2. Краткая характеристика Общих социально-экономических путей (SSP)

Уровни сценария	Радиационное воздействие, Вт/м <sup>2</sup>	Принятое название	Изменение среднегодовых температур в мире, °С		Краткая характеристика
			2041–2060 гг.	2080–2100 гг.	
1	2,6	Устойчивое развитие (SSP1-2.6)	+1,7	+1,8	Выбросы CO <sub>2</sub> сократятся до 0 к 2075 г. при улучшении управления глобальными ресурсами
2	4,5	Срединный путь (SSP2-4.5)	+2,0	+2,7	Выбросы CO <sub>2</sub> останутся на уровне текущих значений к 2050 г. при медленном прогрессе в достижении целей устойчивого развития
3	7,0	Региональное соперничество (SSP3-7.0)	+2,1	+3,6	Выбросы CO <sub>2</sub> удвоятся к 2100 г. при дисбалансе между регионами в достижении целей энергетической и продовольственной безопасности
5	8,5	Развитие на ископаемом топливе (SSP5-8.5)	+2,4	+4,4	Выбросы CO <sub>2</sub> утроятся к 2075 г. при повышении интеграции глобальных рынков, быстром технологическом прогрессе и развитии человеческого капитала

Примечание. Таблица составлена на основании [29–35].

Изменение атмосферной циркуляции в пределах заповедника по данным климатической модели INM-CM5-0 в целом соответствует региональному тренду для Белорусского Полесья [36] и будет, вероятно, иметь следующее развитие (табл. 3):

2040–2060 гг. – среднегодовая температура в заповеднике будет варьироваться от 9,6 °C (SSP2-4.5, ↑2,6 °C) до 11,2 °C (SSP5-8.5, ↑4,2 °C) и количество осадков – от 597 мм (SSP3-7.0, ↓6 мм) до 623 мм (SSP2-4.5, ↑20 мм);

2080–2100 гг. – среднегодовые значения температур будут достигать значений от 9,4 °C (SSP1-2.6, ↑2,4 °C) до 13,3 °C (SSP5-8.5, ↑6,4 °C), а суммы осадков – от 601 мм (SSP5-8.5, ↓2 мм) до 632 мм (SSP2-4.5, ↑29 мм).

Таблица 3. Прогнозируемые значения климатических показателей для Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

Сценарий изменения климата	Период, гг.	Среднегодовая температура		Годовая сумма осадков	
		°C	Изменение к 1970–2000 гг., °C	мм	Изменение к 1970–2000 гг., мм
	1970–2000	+7,0	–	603	–
SSP1-2.6	2040–2060	+9,9	↑ 2,9	602	↓ 1
	2080–2100	+9,4	↑ 2,4	616	↑ 13
SSP2-4.5	2040–2060	+9,6	↑ 2,6	623	↑ 20
	2080–2100	+11,0	↑ 4,0	632	↑ 29
SSP3-7.0	2040–2060	+10,6	↑ 3,6	597	↓ 6
	2080–2100	+12,4	↑ 5,4	620	↑ 17
SSP5-8.5	2040–2060	+11,2	↑ 4,2	598	↓ 5
	2080–2100	+13,4	↑ 6,4	601	↓ 2

**Виды земель.** Данные о землепользовании являются немаловажной частью в прогнозировании вероятности появления видов, в частности, для ПГРЭЗ, территория которого характеризуется высокой степенью антропогенной преобразованности.

В Западной и Центральной Европе, где виды отличаются более активной экспансией, нежели в Беларуси, их тяготение к определенным видам земель отражено довольно ярко: у *A. negundo* – к прибрежным местообитаниям и нарушенным землям в населенных пунктах [37, 38], у *R. pseudoacacia* – к сухим открытым и деградирующим лугам, песчаным пойменным гривам, заброшенным сельскохозяйственным землям, промышленным зонам и нарушенным местообитаниям после пожаров, ветровалов и подтоплений [39]. Использование сведений о видах земель способно увеличить достоверность результатов моделирования.

Пространственное распределение основывается на открытом наборе данных от GLC\_FCS30D, разработанным в Институте исследований аэрокосмической информации Китайской академии наук в 2023 г. [40]. Сведения представлены классифицированными по 35 субкатегориям растрами за период 1985–2022 гг. В соответствии с данными на 1985 г. в ПГРЭЗ выделяется 13 видов земель (рис. 2, табл. 4).

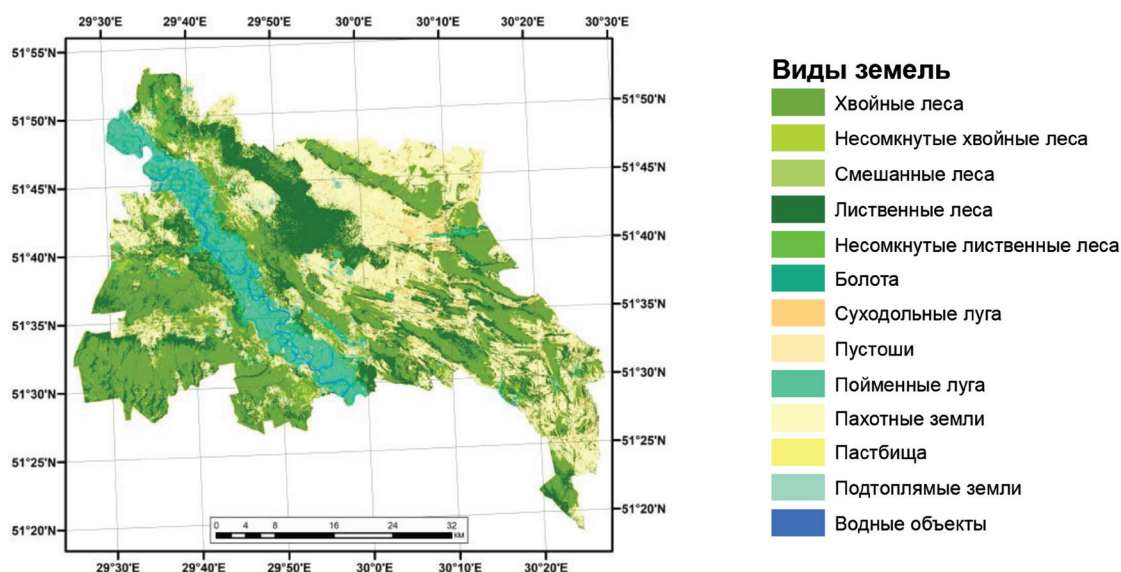


Рис. 2. Виды земель в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике по состоянию на 1985 г.

Таблица 4. Пространственная структура видов земель на 1985 г. по GLC\_FCS30D

Вид земель	Площадь	
	тыс. га	%
Хвойные леса	65,70	30,3
Несомкнутые хвойные леса	2,11	1,0
Смешанные леса	0,01	< 0,1
Лиственные леса	51,38	23,7
Несомкнутые лиственные леса	0,08	< 0,1
Болота	5,09	2,3
Суходольные луга	9,75	4,5
Пустоши	< 0,10	< 0,1
Пойменные луга	15,79	7,3
Пахотные земли	65,07	30,0
Пастбища	0,27	0,1
Подтопляемые земли	0,14	0,1
Водные объекты	1,78	0,8
Итого	217,17	100,0

**Почвенный покров.** Как и структура земель, является важным ограничивающим компонентом природной среды для распространения видов.

Отмечается, что наиболее оптимальным субстратом для *A. negundo*, несмотря на высокий уровень экологической пластичности, являются умеренно влажные, периодически затопляемые почвы с высоким содержанием питательных веществ [37, 38, 41]. Места произрастания *R. pseudoacacia* отличаются большим разнообразием почвенных условий, однако наиболее активное внедрение вида происходит на небогатых, хорошо дренируемых песчаных почвах [39].

Источником сведений о параметре являются почвенные районные карты [42–44], по результатам оцифровки которых в пределах в ПГРЭЗ почвенные разновидности агрегировались в 16 подтипов (рис. 3, табл. 5).

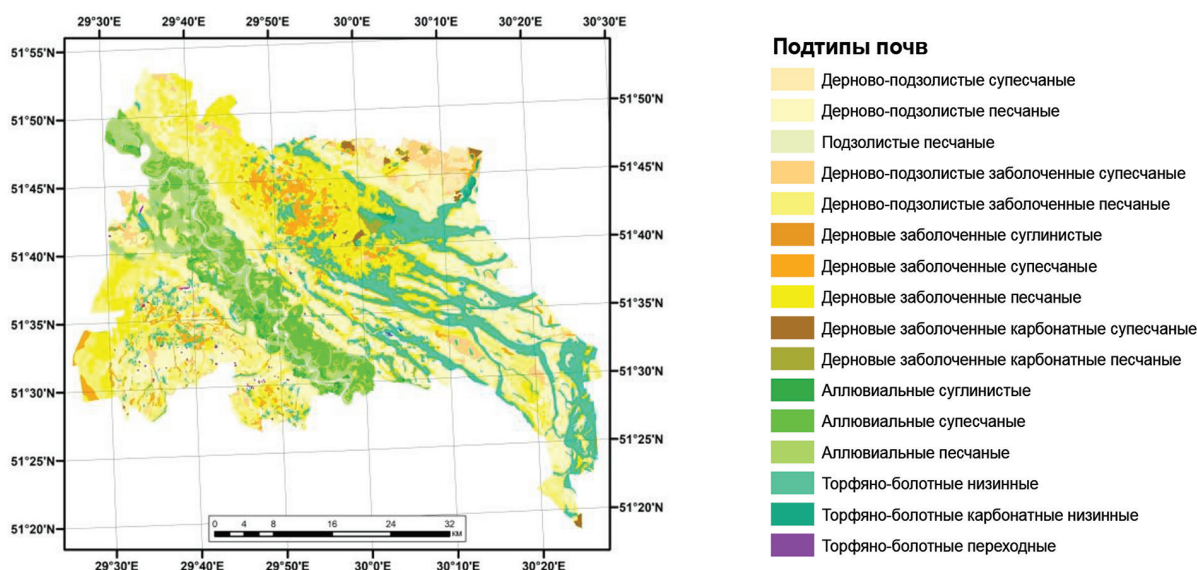


Рис. 3. Почвенный покров Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

Таблица 5. Пространственная структура почвенного покрова на уровне подтипов

Почвы	Площадь	
	тыс. га	%
Дерново-подзолистые супесчаные	4,71	2,2
Дерново-подзолистые песчаные	54,32	25,0
Подзолистые песчаные	0,40	0,2
Дерново-подзолистые заболоченные супесчаные	10,50	4,8
Дерново-подзолистые заболоченные песчаные	39,05	18,0

Окончание табл. 5

Почвы	Площадь	
	тыс. га	%
Дерновые заболоченные суглинистые	0,18	0,1
Дерновые заболоченные супесчаные	11,08	5,1
Дерновые заболоченные карбонатные супесчаные	0,90	0,4
Дерновые заболоченные песчаные	32,43	14,9
Дерновые заболоченные карбонатные песчаные	0,88	0,4
Аллювиальные суглинистые	0,84	0,4
Аллювиальные супесчаные	13,30	6,1
Аллювиальные песчаные	14,13	6,5
Торфяно-болотные низинные	32,60	15,0
Торфяно-болотные карбонатные низинные	0,51	0,2
Торфяно-болотные переходные	0,34	0,2
Водные объекты	0,99	0,5
Итого	217,17	100,0

**Рельеф.** Гипсометрия может являться важным элементом моделирования ввиду приуроченности мест произрастания к определенным высотным уровням в пределах ПГРЭЗ. Для составления входного слоя с абсолютными отметками высот наиболее подробными материалами являются топографические карты масштаба 1 : 100 000 [45–48], имеющиеся в свободном доступе. Оцифрованные изолинии и точки с абсолютными высотами после ряда преобразований в среде ArcGIS были конвертированы в растровый слой со сведениями о рельефе заповедника (рис. 4).

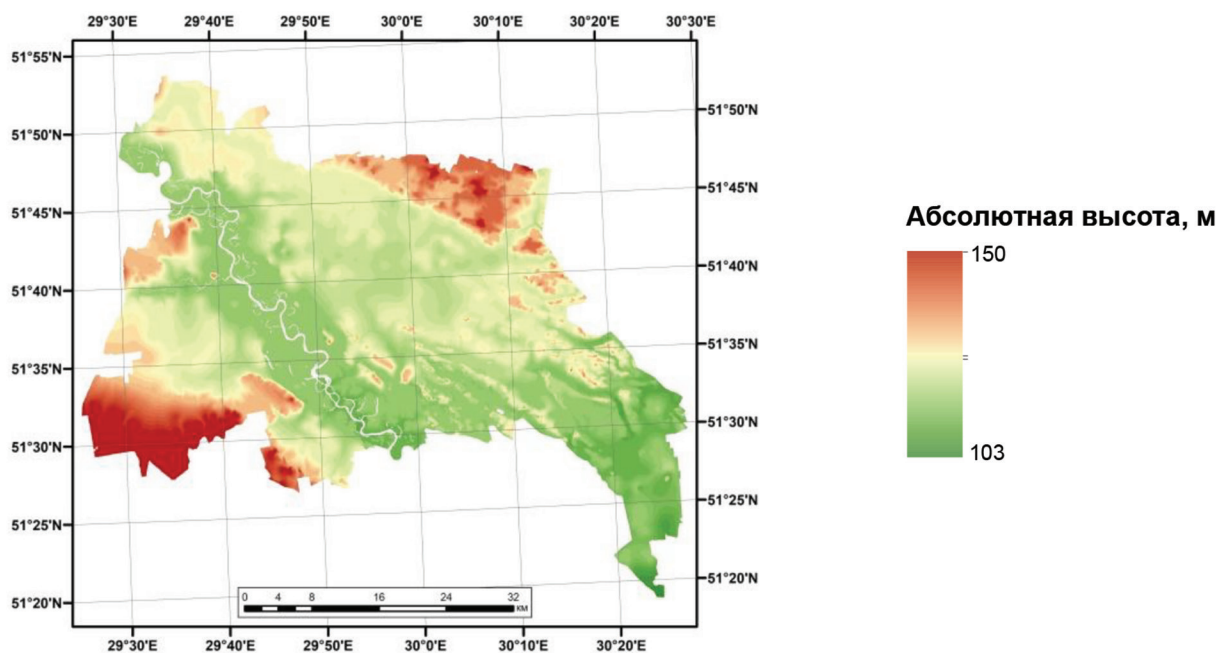


Рис. 4. Рельеф Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

**Формирование итоговой выборки.** Все пространственные сведения приводятся в систему координат WGS84 и растровый формат .asc. Для определения вклада параметров в текущее распределение видов в заповеднике во избежание мультиколлинеарности и переобучения проводится корреляционный анализ значений параметров среды. Показатели, имеющие значения коэффициента корреляции Пирсона  $\geq |0,8|$ , исключаются из перечня [49].

Стоит учесть тот факт, что необязательно два показателя с сильной корреляционной связью элиминируются – в таком случае обращается внимание на то, что он отражает. Например, если один показатель не имеет больше высоких значений коэффициента корреляции в паре с иными, а другой характеризуется наличием множеством сильных взаимосвязей, то стоит отсеять только последний из двух.

Биоклиматические показатели, сведения о рельефе относятся к непрерывному типу данных, а почвы и виды земель – к категориальному.

Дальнейший тестовый запуск MaxEnt позволяет оценить качество полученных результатов моделирования через оценку производительности AUC (Area under curve, рус. – площадь над кривой) [50] и выявление вклада параметров среды с Jackknife test (рус. – тест «кладной нож»).

AUC отражает ранжирование случайных точек присутствия выше случайного предсказания (=0,5) на графике ROC (Receiver operating characteristic, кривая рабочей характеристики приемника) [15]. Принято, что значение показателя < 0,5 описывает высокую вероятность случайного распределения, 0,5–0,6 – неудовлетворительную, 0,6–0,7 – плохую, 0,7–0,8 – приемлемую, 0,8–0,9 – хорошую и 0,9–1,0 – отличную производительность [51].

Jackknife test позволяет определить ценность каждой переменной при моделировании без нее (Without variable), где наиболее значимые параметры имеют сильное отклонение от случая использования всех параметров (With all variables), и только с ней (With only variable), где наибольшие значения соответствуют высокой предсказательной способности параметра в определении мест произрастания вида.

Составление карт основывалось на 4-ступенчатой градации пригодности территории к произрастанию инвазивных древесных видов растений, где значения от 0 до 0,2 отражают непригодность, 0,2–0,4 – умеренную, 0,4–0,6 – хорошую, 0,6–0,8 – наивысшую пригодность [52]. Категоризация полученных результатов позволяет в итоге провести анализ динамики площадей вероятного произрастания *A. negundo* и *R. pseudoacacia* в ПГРЭЗ.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты корреляционного анализа значений параметров среды показали, что  $T_{year}$ ,  $T_{day-range}$ ,  $T_{max-warm}$ ,  $T_{warm-quarter}$ ,  $T_{cold-quarter}$ ,  $P_{r_{year}}$ ,  $P_{r_{dry}}$  и  $P_{r_{season}}$  (см. табл. 1) наряду с рельефом, видами земель и почвенным покровом являются параметрами среды, которые надо использовать на следующем этапе исследования (табл. 6).

Таблица 6. Корреляционная матрица параметров условий среды

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	V3 <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>	П <sup>4</sup>
1	–																					
2	-0.08	–																				
3	0.18	0.90	–																			
4	-0.16	0.25	-0.12	–																		
5	0.08	0.66	0.39	0.84	–																	
6	0.83	-0.28	0.10	-0.45	-0.27	–																
7	-0.51	0.58	0.16	0.79	0.77	-0.82	–															
8	0.64	0.09	0.01	0.65	0.69	0.33	0.19	–														
9	0.85	-0.16	0.24	-0.62	-0.35	0.93	-0.82	0.18	–													
10	0.64	0.09	0.01	0.65	0.69	0.33	0.19	0.99	0.18	–												
11	0.77	-0.17	0.24	-0.73	-0.46	0.86	-0.84	0.04	0.98	0.04	–											
12	0.34	0.30	0.60	-0.71	-0.32	0.39	-0.45	-0.30	0.62	-0.30	0.73	–										
13	0.35	0.29	0.59	-0.69	-0.30	0.40	-0.45	-0.28	0.62	-0.28	0.72	0.99	–									
14	0.63	0.16	0.49	-0.53	-0.18	0.69	-0.57	0.07	0.79	0.07	0.80	0.73	0.70	–								
15	-0.02	0.11	0.23	-0.40	-0.24	0.03	-0.16	-0.32	0.16	-0.32	0.28	0.58	0.66	0.11	–							
16	0.29	0.31	0.59	-0.68	-0.30	0.35	-0.41	-0.31	0.56	-0.31	0.68	0.99	0.99	0.67	0.68	–						
17	0.50	0.29	0.62	-0.64	-0.23	0.54	-0.50	-0.13	0.73	-0.13	0.79	0.93	0.90	0.87	0.30	0.89	–					
18	0.29	0.31	0.59	-0.68	-0.30	0.35	-0.41	-0.31	0.56	-0.31	0.68	0.99	0.99	0.67	0.68	0.99	0.89	–				
19	0.69	0.11	0.49	-0.63	-0.26	0.79	-0.68	0.05	0.89	0.05	0.91	0.82	0.81	0.92	0.27	0.78	0.91	0.78	–			
V3 <sup>2</sup>	0.24	-0.05	-0.02	-0.04	-0.01	0.11	-0.08	0.14	0.17	0.14	0.19	0.17	0.15	0.13	0.00	0.15	0.20	0.15	0.15	–		
P <sup>3</sup>	-0.43	-0.13	-0.06	-0.42	-0.49	-0.15	-0.19	-0.63	-0.13	-0.63	0.03	0.36	0.38	0.05	0.50	0.41	0.18	0.41	0.10	-0.13	–	
П <sup>4</sup>	-0.22	-0.28	-0.31	0.07	-0.13	-0.06	-0.04	-0.09	-0.18	-0.09	-0.20	-0.34	-0.31	-0.27	-0.03	-0.31	-0.37	-0.31	-0.25	-0.23	0.13	–

Примечание. 1 – 1...19 – № биоклиматических показателей (см. табл. 1); <sup>2</sup> – виды земель; <sup>3</sup> – рельеф; <sup>4</sup> – почвенный покров.

Модель показала хорошую предсказательную способность, где значения AUC на обучающей и тестовой выборках варьируются от 0,847 до 0,884 (рис. 5).

Исследуемые виды обладают различиями в пространственной приуроченности к параметрам среды. Наибольший вклад в современное распространение *A. negundo* внесли значения  $T_{cold-quarter}$ ,  $T_{year}$ ,  $P_{r_{year}}$  и параметры почв (рис. 6, см. табл. 1). На распространение сообществ с *R. pseudoacacia* в заповеднике больше всего влияют структура почвенного покрова и видов земель, а среди биоклиматических показателей –  $T_{year}$ ,  $T_{cold-quarter}$  (см. рис. 6, табл. 1).

**Текущий потенциал распространения видов.** Общая площадь участков с наиболее благоприятными условиями для произрастания *A. negundo* составляет 31,53 тыс. га, или 14,7 % территории (рис. 7 и 8, табл. 5), с наибольшим распространением на северо- и юго-востоке.

В свою очередь, *R. pseudoacacia* имеет оптимальные условия произрастания на 33,60 тыс. га, или 15,7 % общей площади (см. рис. 7 и 8, табл. 7), с множеством очагов, основная масса которых расположена на северо-востоке, юге и западе ПГРЭЗ.

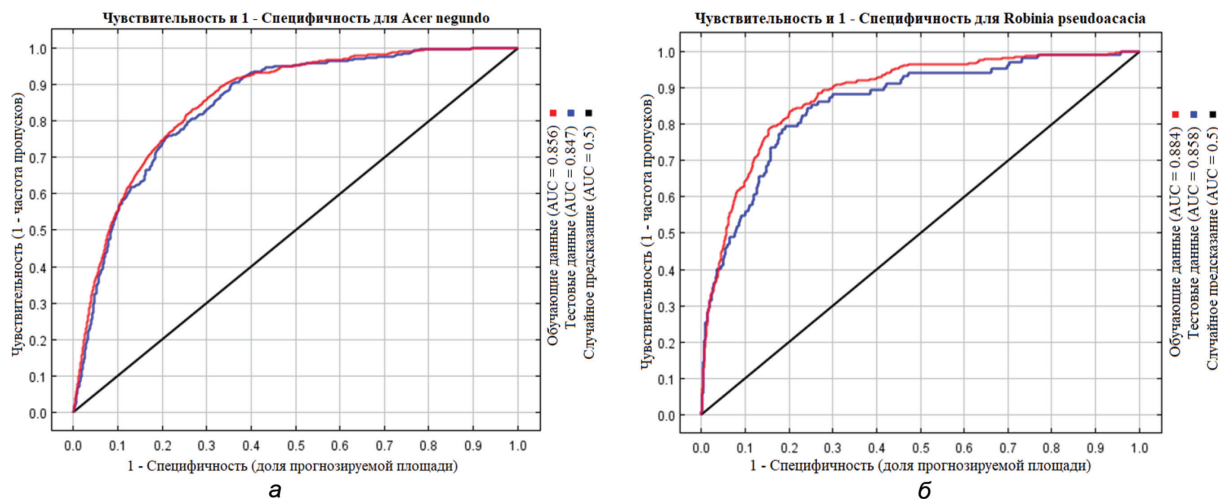


Рис. 5. Проверка надежности модели распределения для *A. negundo* (а) и *R. pseudoacacia* (б)

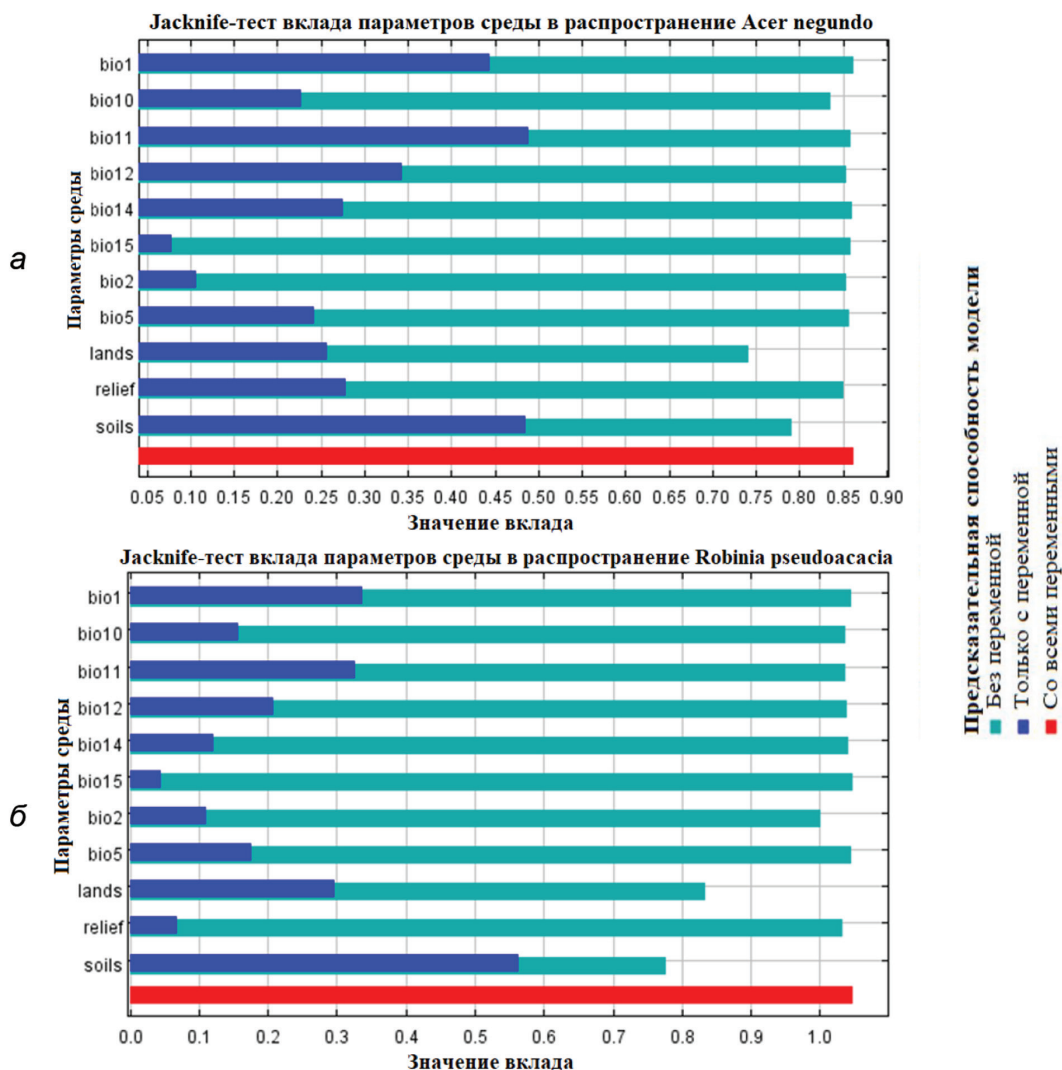


Рис. 6. Результаты Jackknife test для используемых параметров в моделировании распространения *A. negundo* (а) и *R. pseudoacacia* (б)

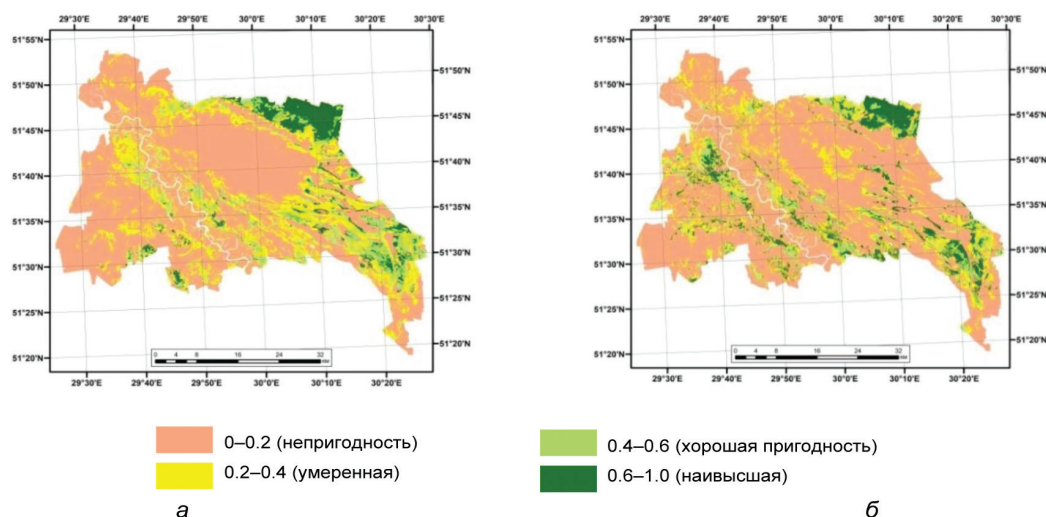


Рис. 7. Текущая пригодность территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника для произрастания *A. negundo* (а) и *R. pseudoacacia* (б)

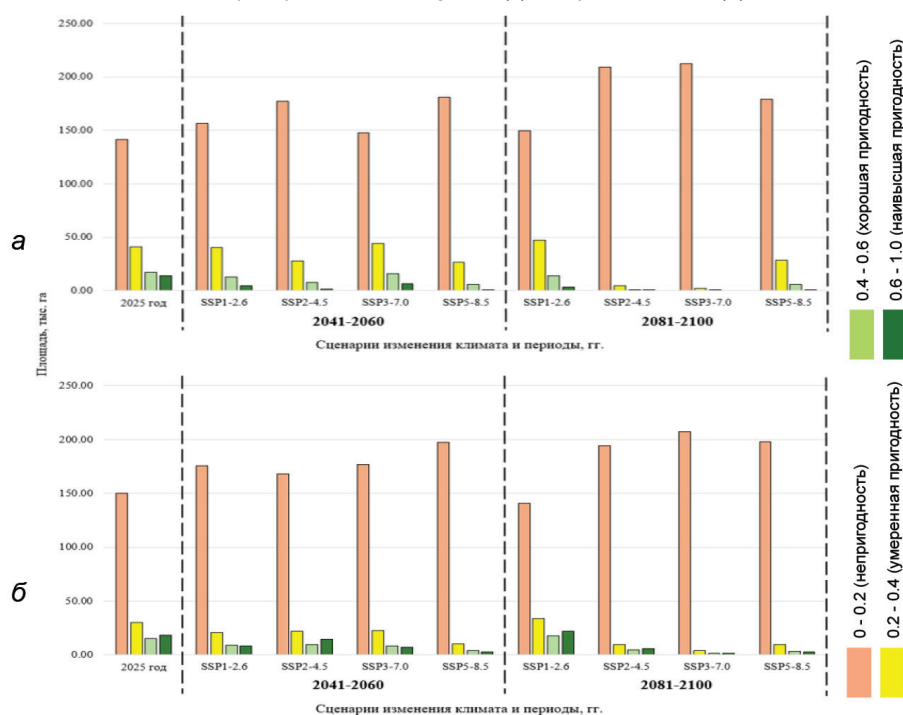


Рис. 8. Текущая и прогнозная сценарная структура территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника по степени пригодности для произрастания *A. negundo* (а) и *R. pseudoacacia* (б)

Таблица 7. Структура площадей территорий по категориям пригодности к произрастанию инвазивных древесных видов растений в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике

Инвазивный древесный вид	Категория пригодности	Площадь по сценариям изменения климата и временным периодам, гг.									
		2025		SSP1-2.6				SSP2-4.5			
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
<i>Acer negundo</i>	1	141,36	66,0	156,42	73,0	149,58	69,8	177,22	82,8	209,24	97,7
	2	41,29	19,3	40,25	18,8	47,46	22,2	27,83	13,0	4,79	2,2
	3	17,30	8,1	12,78	6,0	13,94	6,5	7,96	3,7	0,14	0,1
	4	14,23	6,6	4,72	2,2	3,21	1,5	1,16	0,5	< 0,1	< 0,1
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1	150,21	70,1	175,77	82,1	140,84	65,8	168,28	78,6	194,34	90,7
	2	30,36	14,2	21,04	9,8	33,79	15,8	21,86	10,2	9,38	4,4
	3	15,39	7,2	9,22	4,3	17,77	8,3	9,59	4,5	4,34	2,0
	4	18,21	8,5	8,14	3,8	21,78	10,2	14,45	6,8	6,11	2,9

Инвазивный древесный вид	Категория пригодности	Площадь по сценариям изменения климата и временным периодам, гг.									
		2025		SSP5-7.0				SSP5-8.5			
		тыс. га	%	2041–2060		2081–2100		2041–2060		2081–2100	
<i>Acer negundo</i>	1	141,36	66,0	147,71	69,0	212,27	99,1	180,72	84,4	179,12	83,6
	2	41,29	19,3	44,27	20,7	1,87	0,9	26,67	12,5	28,55	13,3
	3	17,30	8,1	15,78	7,4	0,04	< 0,1	5,91	2,8	5,92	2,8
	4	14,23	6,6	6,42	3,0	–	–	0,87	0,4	0,59	0,3
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1	150,21	70,1	176,64	82,5	207,33	96,8	197,36	92,2	197,94	92,4
	2	30,36	14,2	22,34	10,4	4,06	1,9	10,33	4,8	9,84	4,6
	3	15,39	7,2	8,46	4,0	1,39	0,7	3,69	1,7	3,52	1,6
	4	18,21	8,5	6,74	3,2	1,40	0,7	2,80	1,3	2,87	1,3

Примечание. Категории пригодности: 1 – 0–0,2 (непригодность), 2 – 0,2–0,4 (умеренная пригодность), 3 – 0,4–0,6 (хорошая пригодность), 4 – 0,6–0,8 (наивысшая пригодность) [52].

По итогам расчета соотношения значений текущих и потенциальных площадей произрастания видов выявлено, что сообщества с *A. negundo* и *R. Pseudoacacia* на данный момент занимают соответственно 7,4 и 2,1 % территорий с благоприятными условиями для их произрастания.

Для *A. negundo* наблюдается разная степень динамики площадей с благоприятными условиями для произрастания в соответствии с рядом сценариев (рис. 9).

SSP1-2.6. Несмотря на более «мягкую» степень изменений климата в будущем, площадь пригодных территорий (категории пригодности 3 и 4) для произрастания вида уменьшится до 8,2 % (–44,4 % от текущей доли) к концу XXI в. Данный случай является наиболее оптимистичным для формирования насаждений с *A. negundo*.

SSP2-4.5. В соответствии со сценарием прогнозируется отрицательная динамика пригодных площадей для *A. negundo* до 4,3 % (–71,1 %) к 2040–2060 гг. и до почти полной элиминации (0,1 %; –99,5 %) к 2080–2100 гг.

SSP-3.70. К 2050 г. ориентировочные площади для произрастания вида к середине века будут составлять 10,4 % (–29,6 %) территории ПГРЭЗ, когда к периоду 2080–2100 гг. такие площади будут почти полностью отсутствовать.

SSP5-8.5. Наиболее негативному варианту изменения климата будет соответствовать снижение площадей с оптимальными условиями для потенциального распространения *A. negundo* до 3,2 % (–78,5 %) к 2040–2060 гг. и 3,0 % (–79,4 %) к 2080–2100 гг.

Общей чертой для всех сценариев является то, что основные участки ПГРЭЗ с благоприятными условиями среды для *A. negundo* будут размещены на северо- и юго-востоке, в центре и на западе (см. рис. 9).

Вне первичного ареала распространения *A. negundo* широко встречается в Восточной Германии, где на протяжении XX в. вид использовался для озеленения городских парков и ветрозащитных полос автодорог [53, 54]. Климат региона характеризуется среднегодовой температурой +9,9 °С и годовой суммой осадков 536 мм [55].

Наиболее близкие значения климатических показателей среди прогнозных сценариев отмечаются к середине XXI в. по SSP3-7.0. Именно в соответствии с ним у *A. negundo* наибольшие значения площадей пригодных местообитаний. Однако, несмотря на сходство температурного режима, во всех представленных сценариях не отмечается изменения режима увлажнения ПГРЭЗ в сторону сильного уменьшения количества осадков, поэтому в любом случае условия среды станут менее благоприятными для произрастания *A. negundo*. Про постепенную элиминацию клена ясенелистного из состава растительных сообществ указывается в одной из работ, посвященной лесообразовательным процессам в ПГРЭЗ [56].

У *R. pseudoacacia* динамика потенциальных площадей для произрастания отличается от *A. negundo*, несмотря на сходство в текущем размещении основных очагов экспансии (рис. 10).

SSP1-2.6. Прогнозная динамика пригодных территорий для *R. pseudoacacia* характеризуется сокращением площадей почти в 2 раза до 8,1 % (–48,3%) уже к 2040–2060 гг., однако уже к концу XXI в. будет наблюдаться увеличение доли таких участков до 18,5 % (+17,7 %), что делает данный сценарий единственным, где отмечается положительная тенденция.

SSP2-4.5. По сценарию прогнозируется отрицательная динамика площадей с благоприятной средой для произрастания вида – к середине века их доля упадет до 11,2 % (–28,4 %), к концу – до 4,9 % (–68,9 %).

SSP3-7.0. В данном случае наблюдается наиболее негативный исход событий для вида, где к 2040–2060 гг. прогнозируется уменьшение площади потенциального присутствия до 3,0 % (–80,9 %), а к 2080–2100 гг. – почти полное отсутствие новых мест для заселения *R. pseudoacacia*.

SSP5-8.5. В соответствии со сценарием прогноз динамики характеризуется сильным падением доли пригодных территорий для *R. pseudoacacia* уже к середине XXI в. и дальнейшим небольшим снижением к концу.

Очаги потенциального распространения вида будут постепенно смещаться в западную часть заповедника во всех рассматриваемых вариантах (см. рис. 10). Проведенный анализ показывает большую

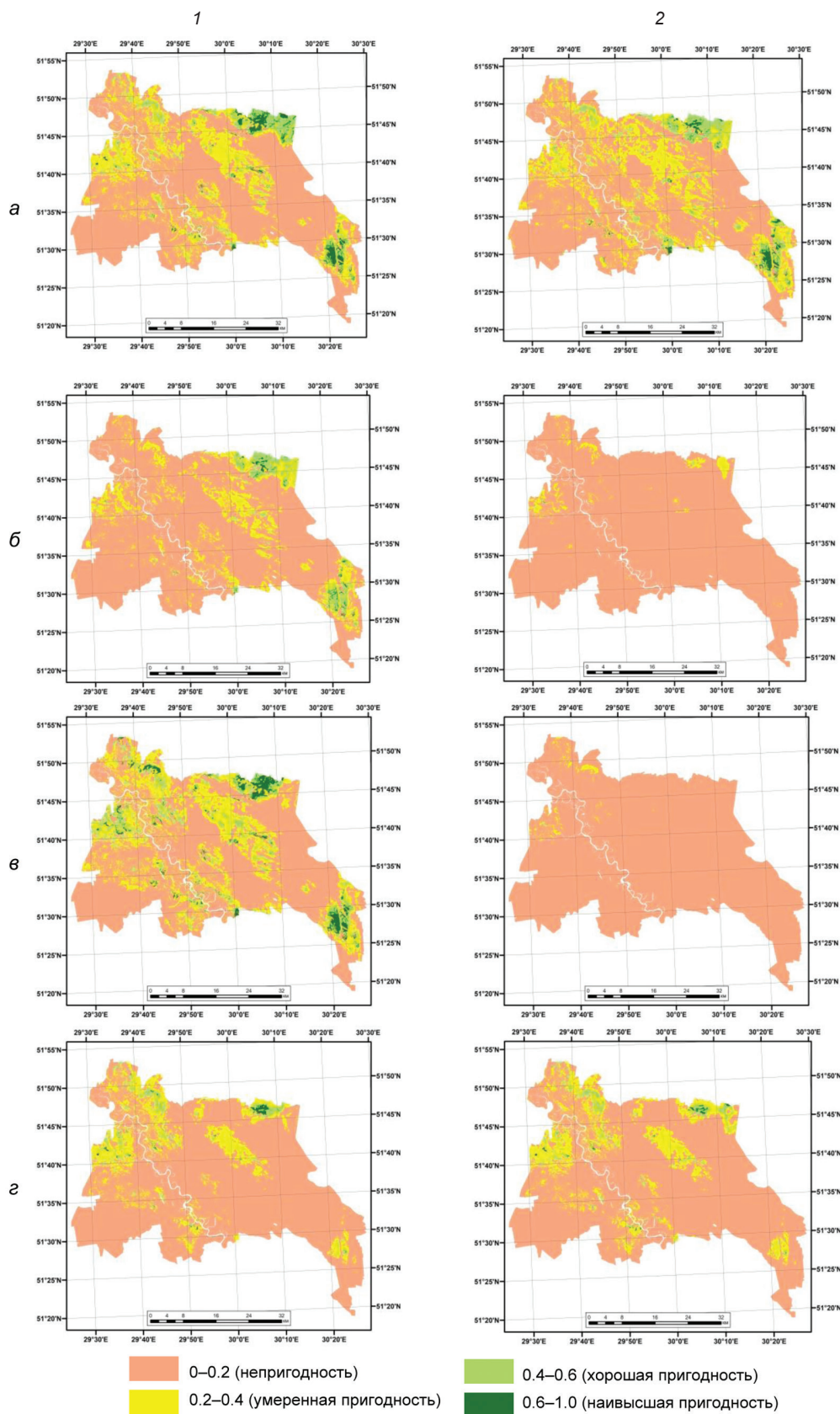


Рис. 9. Потенциальное распространение *A. legundo* в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике к 2040–2060 гг. (1) и 2080–2100 гг. (2) по сценариям изменения климата SSP: 1-2.6 (а), 2-4.5 (б), 3-7.0 (в), 5-8.5 (з)

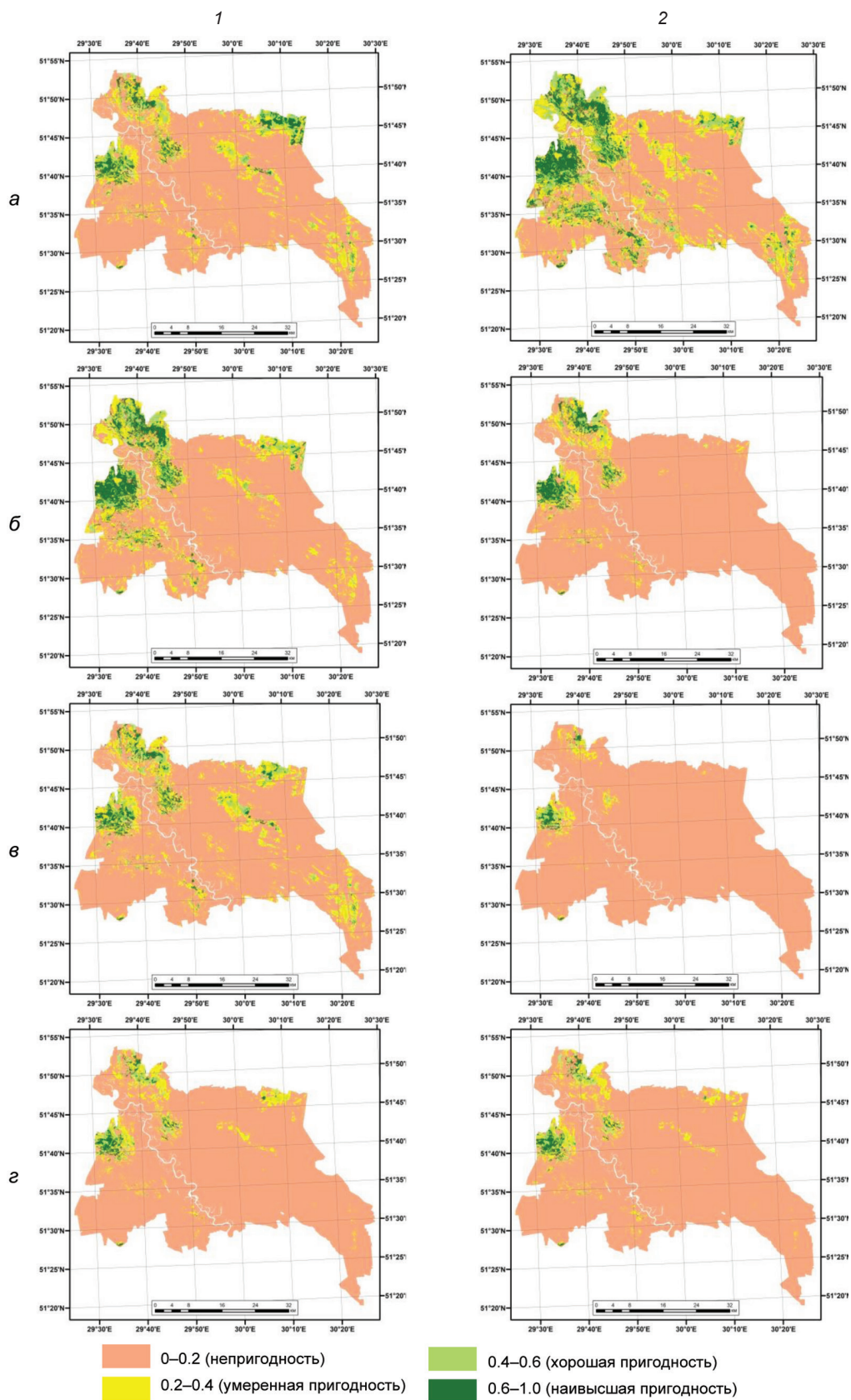


Рис. 10. Потенциальное распространение *R. pseudoacacia* в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике к 2040–2060 г. (1) и 2080–2100 г. (2) по сценариям изменения климата SSP: 1-2.6 (а), 2-4.5 (б), 3-7.0 (в), 5-8.5 (z)

степень благоприятности условий среды для *R. pseudoacacia*, чем для *A. negundo*. Это же указывается в результатах наземных обследований в ПГРЭЗ, где для *R. pseudoacacia* отмечается наилучшая способность к возобновлению [56].

Согласно исследованию 2014 г. [57] глобальная зона с благоприятными условиями для произрастания *R. pseudoacacia* охватывает и территорию Беларуси с категорией умеренной пригодности (0,2–0,4). Наиболее пригодные территории для распространения вида наблюдаются в Приатлантической Европе, где современный климат довольно сходен с тем, который прогнозируется в ПГРЭЗ по SSP1-2.6 к 2080–2100 гг. – в соответствии с ним прогнозируется положительная динамика площадей с благоприятными условиями для формирования сообществ с *R. pseudoacacia*.

Против позитивной динамики площадей с оптимальными условиями для вида выступает низкая прогностическая способность сценария SSP1-2.6, где для его реализации необходимо принятие действенных мер по сильному сокращению эмиссии парниковых газов.

Важно отметить ряд моментов касаясь результатов используемого подхода. На их основе нельзя сделать вывод о том, что площади произрастания видов в будущем сократятся вплоть до полной элиминации к концу века, как в случаях с *A. negundo* по сценариям SSP2-4.5 и SSP3-7.0. В MaxEnt формируется прогнозная вероятность степени пригодности участка территории для произрастания видов растений, однако в ней невозможно учесть характеристики видов и процессов в насаждениях с ними. Нахождение основных локалитетов видов на территориях с малоприспособленными условиями для их существования в будущем не означает их полного исчезновения там. Использование метода максимальной энтропии позволяет определить степень благоприятности участков территории к появлению инвазивного вида, что довольно значимо для разработки стратегий по борьбе с ними в качестве превентивного элемента.

Результаты исследования могут быть полезными в формировании блоков входных данных в процесс-ориентированных моделях в качестве вероятности произрастания вида в определенных условиях, что заведомо на основе экспертной оценки предсказать невозможно. Методические указания можно использовать не только для исследования пригодности территории ПГРЭЗ для распространения инвазивных видов, но и для поиска вероятных мест произрастания ценных ресурсных видов растений либо включенных в Красную книгу Республики Беларусь. Полученные результаты не предполагают окончательной оценки существующей ситуации, поскольку из-за особой сложности многие вопросы не затрагивались. Именно поэтому авторы отчетливо сознают необходимость продолжения и углубления исследования в избранном направлении и рассматривают собранный и проанализированный материал как основу для дальнейших, более детальных, обобщающих выводов.

**Заключение.** Оценка текущего и прогнозного потенциала распространения инвазивных древесных видов растений в ПГРЭЗ основывалась на результатах обработки наземных и дистанционных данных с применением метода максимальной энтропии, которые можно интерпретировать как состояние вида на фоне всей растительности региона в будущем, где его присутствие возможно с различными значениями обилия.

На данный момент сообщества с *A. negundo* и *R. pseudoacacia* соответственно занимают 2,32 и 0,72 тыс. га в ПГРЭЗ. В то же время определено, что 31,53 и 33,60 тыс. га территории обладают благоприятными условиями для произрастания видов. Этот факт указывает на то, что реализованная ниша у *A. negundo* и *R. pseudoacacia* довольно мала, но, учитывая их высокий инвазивный потенциал, при сохранении текущих климатических условий можно было предположить, что распространение сообществ с ними будет становиться более широким.

Однако по всем сценариям изменения климата на территории ПГРЭЗ к концу XXI в. прогнозируется положительный тренд значений среднегодовых температур и увеличения годовых сумм осадков (кроме сценария SSP5-8.5). В соответствии с этим предполагается отрицательная динамика площадей с благоприятными условиями среды для произрастания исследуемых инвазивных видов растений, кроме случая с *R. pseudoacacia*, где при наименьшем росте среднегодовых температур ( $\uparrow 2,4$  °C) к концу XXI в. прогнозируется увеличение площадей с высоким потенциалом для произрастания вида. Наиболее негативным сценарием для динамики распространения сообществ с инвазивными древесными видами является SSP3-7.0, где при довольно большом росте среднегодовых температур ( $\uparrow 5,4$  °C) и годовой суммы осадков ( $\uparrow 17$  мм) к концу XXI в. доли пригодных территорий для заселения *R. pseudoacacia* и *A. negundo* будут составлять 2,74 и 0,04 тыс. га соответственно. В целом отмечается, что по всем сценариям изменения климата потенциал формирования сообществ с *R. pseudoacacia* в ПГРЭЗ выше, чем у *A. negundo*.

Полученные результаты представляют основу для дальнейших исследований по тематике с акцентом на применение процесс-ориентированных моделей, учитывающих конкурентные взаимоотношения видов и другие аспекты.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность заведующему отделом экологии растительных комплексов Полесского государственного радиационно-экологического заповедника Д. К. Гарбаруку и ведущему научному сотруднику отдела экологии растительных комплексов кандидату сельскохозяйственных наук, доценту А. В. Углянцу за предоставленные материалы о местах произрастания инвазивных древесных видов растений на территории ПГРЭЗ, а также помощь, оказанную в ходе исследования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экспансия наиболее опасных инвазивных видов растений в Беларуси: инвентаризация, динамика, прогноз развития и оценка эффективности мероприятий / О. М. Масловский, Л. С. Чумаков, И. П. Сысой [и др.] // Фиторазнообразии Восточной Европы. – 2025. – № 19 (2). – С. 167–178.
2. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик, С. А. Дмитриева, Н. А. Ламан, [и др.]; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Мн.: Бел. наука, 2020. – 407 с.
3. Джус, М. А. История интродукции и распространение клена ясенелистного (*Acer negundo* L., Sapindaceae) в Беларуси / М. А. Джус, А. Л. Романюк // Состояние и перспективы развития зеленого строительства в Республике Беларусь: тез. Респ. науч.-практ. сем., Минск, 26–27 апр. 2018 г. / Нац. акад. наук Беларуси; Центр. ботан. сад НАН Беларуси; редкол.: В. В. Титок [и др.]. – Мн.: Медисонт, 2018. – С. 54–57.
4. Сироткин, Ю. Д. О целесообразности культивирования акации белой в лесах БССР / Ю. Д. Сироткин, А. В. Углынец // Труды БТИ. – 1989. – Вып. 24. Лесоведение и лесное хозяйство. – С. 68–72.
5. Турчин, Л. М. Находки аборигенных и адвентивных видов растений в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике / Л. М. Турчин // Флора и растительность в меняющемся мире: проблемы изучения, сохранения и рационального использования: материалы Междунар. науч. конф., Минск – Домжерицы, 24–27 сент. 2019 г. / НАН Беларуси [и др.]; науч. ред. С. А. Дмитриева. – Мн., 2019. – С. 155–157.
6. Биологическое разнообразие Полесского радиационно-экологического заповедника: сосудистые растения / Д. В. Дубовик, М. В. Кудин [и др.]; под ред. акад. В. И. Парфенова. – Мн.: Бел. наука, 2021. – 234 с.
7. Послеаварийная динамика флоры и растительности в районе белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции / Д. Г. Груммо, Н. А. Зеленкевич, Е. В. Мойсейчик, А. Н. Скуратович // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2023. – Т. 68, вып. 3. – С. 505–528.
8. Гарбарук, Д. К. Особенности лесообразования на бывших сельскохозяйственных землях в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / Д. К. Гарбарук, А. В. Углынец, С. В. Шумак // Ботаника. – 2020. – Вып. 49. – С. 50–61.
9. Углынец, А. В. Зарастание древесной растительностью отселенных «полевых» деревень, расположенных на богатых почвах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / А. В. Углынец, Д. К. Гарбарук, С. В. Шумак // Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Ин-та леса НАН Беларуси, Гомель, 13–15 нояб. 2020 г. / НАН Беларуси, Ин-т леса; редкол.: А. И. Ковалевич (отв. ред.) [и др.]. – Гомель, 2020. – С. 451–455.
10. Углынец, А. В. Естественное возобновление леса в отселенных деревнях, расположенных на песчаных почвах в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции / А. В. Углынец, Д. К. Гарбарук // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 1 (240). – С. 26–41.
11. Гарбарук, Д. К. Лесообразование в бывших населенных пунктах, расположенных на плодородных почвах в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции / Д. К. Гарбарук, А. В. Углынец, А. Н. Воронецкая // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 2 (246). – С. 36–50.
12. Гарбарук, Д. К. Распространение инвазивных видов растений на территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС в границах Хойникского района / Д. К. Гарбарук, А. В. Углынец, И. В. Шаркевич // Флора и растительность в меняющемся мире: проблемы изучения, сохранения и рационального использования: материалы II Междунар. науч. конф., Минск, 24–27 сент. 2024 г. / Ин-т эксперимент. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси; С. С. Савчук (отв. за выпуск). – Мн., 2024. – С. 171–177.
13. Гарбарук, Д. К. Распространение наиболее опасных инвазивных видов растений на территории Полесского заповедника в границах Наровлянского района / Д. К. Гарбарук, А. В. Углынец, А. Н. Воронецкая // Ботанические чтения: электрон. сб. материалов Респ. науч. конф., посвящ. 85-летию со дня рожд. проф. М. П. Жигар, Брест, 27 февр. 2025 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина; редкол.: Н. М. Матусевич, Н. В. Шкуратова, М. В. Левковская. – Брест: БрГУ, 2025. – 153–158.
14. MaxEnt software for modeling species niches and distribution. – URL: [https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) (date of access: 10.11.2025).
15. Phillips, S. J. A brief tutorial on Maxent / S. J. Phillips // Lessons in Conversation. – 2006. – № 3. – P. 108–135.
16. Phillips, S. J. Maximum entropy modeling of species geographic distributions / S. J. Phillips, R. P. Anderson, R. E. Shapire // Ecological Modelling. – 2006. – Vol. 190, iss. 3–4. – P. 231–259.
17. Çoban, H. O. MaxEnt Modeling for Predicting the Current and Future Potential Geographical Distribution of *Quercus libani* Olivier / H. O. Çoban, Ö. K. Örüçü, E. S. Arslan // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, iss. 7. – 17 p.
18. Current and future predicting potential areas of *Oxytenanthera abyssinica* (A. Richard) using MaxEnt model under climate change in Northern Ethiopia / Y. Gebrewahid, S. Abrehe, E. Meresa [et al.] // Ecological Processes. – 2020. – Vol. 9. – 15 p.
19. Remya, K. Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. Using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India / L. Remya, A. Ramachandran, S. Jayakumar // Ecological Engineering. – 2015. – Vol. 82. – P. 184–188.
20. Wei, B. Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China / B. Wei, R. Wang, K. Hou [et al.] // Global Ecology and Conservation. – 2018. – Vol. 16. – 12 p.
21. Xiaodeng, S. Prediction of the potentially suitable areas of *Litsea cubeba* in China based on future climate change using the optimized MaxEnt model / S. Xiaodeng // Ecological Indicators. – 2023. – Vol. 148. – 13 p.
22. Егошин, А. В. Прогнозирование влияния климатических изменений на пространственное распределение чужеродного компонента флоры юга черноморского побережья Краснодарского края / А. В. Егошин // Экосистемы. – 2021. – № 26. – С. 23–32.
23. Егошин, А. В. Моделирование пространственного распределения чужеродных видов растений с использованием данных дистанционного зондирования на примере *Paulownia tomentosa* / А. В. Егошин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2020. – № 1. – С. 39–47.
24. Оценка рисков биологических инвазий дендропатогенных организмов на территории Беларуси, пути их прогнозирования и контроля / В. Б. Звягинцев, Д. Б. Беломесяцева, А. Г. Прохорова [и др.] // Ботаника (исследования). – 2024. – Вып. 54. – С. 30–56.

25. Исаев, А. П. Биоклиматическое моделирование ареала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Якутии / А. П. Исаев, Б. З. Борисов, Е. Н. Никифорова // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 121–133.
26. Моделирование потенциального ареала ветреницы байкальской (*Anemone baicalensis*, Ranunculaceae) в Байкальском регионе / С. В. Солодянкина, Е. А. Истомина, А. А. Сороковой [и др.] // География и природные ресурсы. – 2016. – № 5. – С. 92–99.
27. Гарбарук, Д. К. Естественное возобновление леса на прогалинах в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / Д. К. Гарбарук, А. В. Углянец, А. Н. Воронецкая // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2019. – № 2 (222). – С. 33–42.
28. Global climate and weather data. – URL: <https://worldclim.org/data/index.html> (date of access: 10.11.2025).
29. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1> (date of access: 10.09.2025).
30. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Basis. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (date of access: 10.09.2025).
31. The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century / O. Fricko, P. Havlik, J. Rogelj [et al.] // Global Environmental Change. – 2017. – Vol. 42. – P. 251–267.
32. Hausfather, Z. An assessment of current policy scenarios over the 21<sup>st</sup> century and the reduced plausibility of high-emissions pathways / Z. Hausfather // Dialogues on Climate Change. – 2025. – Vol. 2, iss. 1. – P. 26–32.
33. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview / R. Keywan, D. P. van Vuuren, E. Kriegler [et al.] // Global Environmental Change. – 2017. – Vol. 42. – P. 153–168.
34. Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century / E. Kriegler, N. Bauer, A. Popp [et al.] // Global Environmental Change. – 2017. – Vol. 42. – P. 297–315.
35. Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm / D. P. van Vuuren, E. Stehfest, D. E. H. J. Gernaat [et al.] // Global Environmental Change. – 2017. – Vol. 42. – P. 237–250.
36. Данилович, И. С. Современные изменения климата Белорусского Полесья: причины, следствия, прогнозы / И. С. Данилович, В. И. Мельник, Б. Гейер // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2020. – № 1. – С. 3–13.
37. Invasive *Acer negundo* outperforms native species in non-limiting resource environments due to its higher phenotypic plasticity / A. J. Porté, L. J. Lamarque, C. J. Lortie [et al.] // BMC Ecology. – 2011. – Vol. 11. – 12 p.
38. Saccone, P. Challenging growth-survival trade-off: a key for *Acer negundo* invasion in European floodplains? / P. Saccone, J.-J. Brun, R. Michalet // Canadian Journal of Forest Research. – 2010. – Vol. 40. – P. 1879–1886.
39. Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe / M. Vítková, J. Müllerová, J. Sádlo [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2017. – Vol. 384. – P. 287–302.
40. GLC\_FCS3D Global 30-meter Land Cover Change Dataset (1985–2022). – URL: [https://gee-community-catalog.org/projects/glc\\_fcs/#dataset-postprocessing](https://gee-community-catalog.org/projects/glc_fcs/#dataset-postprocessing) (date of access: 10.11.2025).
41. Lamarque, L. J. Ecology and Evolution of Invasive Maple Tree Species / L. J. Lamarque. – Toronto, 2013. – 270 p.
42. Почвенная карта [Карты] : Брагинский район : сост. и подгот. к печати Респ. унитар. предприятием «Проект. ин-т Белгипрозем» в 2005 г. – 1 : 50 000, 500 м в 1 см. – Мн. : Белгипрозем, 2005. – 1 л.
43. Почвенная карта [Карты] : Наровлянский район : сост. и подгот. к печати Гомел. фил. ин-та «Белгипрозем» в 1988 г. – 1 : 50 000, 500 м в 1 см. – Гомель: Белгипрозем, 1988. – 2 л.
44. Почвенная карта [Карты] : Хойникский район : сост. и подгот. к печати Гомел. фил. ин-та «Белгипрозем» в 1986 г. – 1 : 50 000, 500 м в 1 см. – Гомель: Белгипрозем, 1986. – 2 л.
45. Брагин, Вильча, Дерновичи, Колыбань, Хойники [Карты] : топографические карты : сост. и подгот. к печати Ген. штабом Вооруж. сил СССР в 1987 г. – 1 : 100 000, 1 км в 1 см. – М. : Ген. штаб Вооруж. сил СССР.
46. Вильча [Карты] : топографическая карта : сост. и подгот. к печати Ген. штабом Вооруж. сил СССР в 1981 г. – 1 : 100 000, 1 км в 1 см. – М. : Ген. штаб Вооруж. сил СССР.
47. Дерновичи, Колыбань [Карты] : топографические карты : сост. и подгот. к печати Ген. штабом Вооруж. сил СССР в 1986 г. – 1 : 100 000, 1 км в 1 см. – М. : Ген. штаб Вооруж. сил СССР.
48. Хойники [Карты] : топографические карты : сост. и подгот. к печати Ген. штабом Вооруж. сил СССР в 1989 г. – 1 : 100 000, 1 км в 1 см. – М. : Ген. штаб Вооруж. сил СССР.
49. Elith, J. The art of modelling range-shifting species / J. Elith, M. Kearney, S. Phillips // Methods in Ecology and Evolution. – 2010. – № 1. – P. 330–342.
50. Fielding, A. H. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models / A. H. Fielding, J. F. Bell // Cambridge University Press. – 1997. – Vol. 24, iss. 1 – P. 38–39.
51. Swets, J. A. Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems / J. A. Swets // Science. – 1988. – Vol. 230, iss. 4857. – P. 1285–1293.
52. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills / X.-Q. Yang, S. P. S. Kushwaha, S. Saran [et al.] // Ecological Engineering. – 2013. – Vol. 51. – P. 83–87.
53. IPS Monitor. – URL: <https://ipsmonitor.de/en/steckbriefe/acer-negundo/> (date of access: 09.01.2026).
54. Albert, B. Untersuchungen zur Situation von Eschen-Ahorn (*Acer negundo*, L.) im Leipziger Stadtwald : Diplomarb. ... Grades Diplom-Forstwirt / Albert Benjamin; Technische Universität Dresden. – Dresden, 2011. – 106 S.
55. Climate Charts. – URL: <https://climatecharts.net> (date of access: 09.01.2026).
56. Багинский, В. Ф. Лесообразовательные процессы в местах поселений, перемещенных после аварии на Чернобыльской АЭС / В. Ф. Багинский, М. В. Кудин // Лесная таксация и лесоустройство. – 2009. – № 1 (41). – С. 12–17.
57. Guoqing, L. Mapping the Global Potential Geographical Distribution of Black Locust (*Robinia Pseudoacacia* L.) Using Herbarium Data and a Maximum Entropy Model / Guoqing Li, Guanghua Xu, Ke Guo [et al.] // Forests. – 2014. – Vol. 5, iss. 11. – P. 2773–2792.

Поступила 13.02.2026

**А. Ю. Карпаева***Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,  
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ФИТОПЛАНКТОНА  
В ОЗЕРАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ**

**Аннотация.** Рассмотрены особенности сезонной динамики фитопланктонных сообществ в озерах различного трофического статуса Белорусского Поозерья. Материалом для анализа послужили 66 проб, отобранных на 11 озерах в период с мая по сентябрь 2023–2025 гг. Объектом исследования являлся фитопланктон озер разного трофического статуса Белорусского Поозерья. Для оценки различий между сообществами и визуализации данных применялись многомерные статистические методы (кластерный анализ и неметрическое многомерное шкалирование NMDS на основе расстояний Брея–Кертиса). Показано, что характер сезонной динамики и степень сходства фитопланктонных сообществ существенно зависят от трофического состояния водоемов. Мезотрофные озера с чертами олиготрофии отличаются наибольшей устойчивостью и высоким сходством сообществ между собой во все сезоны, мезотрофные озера занимают переходное положение, демонстрируя максимальное сходство с менее трофными системами весной и наибольшие различия в позднелетний период. Эвтрофные озера наиболее похожи между собой летом, в период максимальной продуктивности. Гиперэвтрофные водоемы отличаются наибольшей сезонной изменчивостью и минимальным сходством с другими типами озер, особенно в позднелетний период. NMDS-ординация показала, что сезонный эффект усиливается с ростом трофности озер, летние и позднелетние состояния фитопланктонных сообществ являлись наиболее различимыми, весенние сообщества характеризовались большим сходством между озерами различного трофического статуса.

**Ключевые слова:** фитопланктон, трофический статус, сезонная динамика, Белорусское Поозерье

**А. Yu. Karpava***Scientific and Practical Center for Bioresources, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***FEATURES OF SEASONAL PHYTOPLANKTON DYNAMICS IN LAKES WITH DIFFERENT TROPHIC STATUS  
IN THE BELARUSIAN LAKE REGION**

**Abstract.** The seasonal dynamics of phytoplankton communities in lakes of varying trophic status in the Belarusian Lake District are examined. Sixty-six samples, collected from 11 lakes between May and September 2023–2025, served as the material for analysis. The study focused on phytoplankton from lakes of varying trophic status in the Belarusian Lake District. Multivariate statistical methods (cluster analysis and non-metric multidimensional scaling (NMDS) based on Bray–Curtis distances) were used to assess differences between communities and to visualize the data. It is shown that the nature of seasonal dynamics and the degree of similarity of phytoplankton communities significantly depend on the trophic state of the water bodies. Mesotrophic lakes with oligotrophic features are characterized by the greatest stability and high similarity between communities in all seasons. Mesotrophic lakes occupy a transitional position, demonstrating maximum similarity to less trophic systems in spring and the greatest differences in late summer. Eutrophic lakes are most similar in the summer, during the period of maximum productivity. Hypereutrophic lakes exhibit the greatest seasonal variability and minimal similarity to other lake types, especially in late summer. NMDS ordination showed that the seasonal effect increases with increasing lake trophic status. Summer and late summer phytoplankton communities were the most distinct, while spring communities were characterized by greater similarity between different trophic statuses.

**Keywords:** phytoplankton, trophic status, seasonal dynamics, Belarusian Lake Region

**А. Ю. Карпаева***Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,  
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***АСАБЛІВАСЦІ СЕЗОННАЙ ДЫНАМІКІ ФІТАПЛАНКТОНУ ў АЗЁРАХ РОЗНАГА ТРАФІЧНАГА СТАТУСУ  
БЕЛАРУСКАГА ПААЗЕР'Я**

**Анотацыя.** Разгледжаны асаблівасці сезоннай дынамікі фітапланктонных супольнасцяў у азёрах рознага трафічнага статусу Беларускага Паазер'я. Матэрыялам для аналізу паслужылі 66 проб, адабраных на 11 азёрах у перыяд з мая па верасень 2023–2025 гг. Аб'ектам даследавання з'яўляўся фітапланктон азёр рознага трафічнага статусу Беларускага Паазер'я. Для ацэнкі адрозненняў паміж супольнасцямі і візуалізацыі даных ужываліся шматмерныя статыстычныя метады (кластарны аналіз і неметрычнае шматмернае шкаляванне NMDS на аснове адлегласцяў Брая–Кертиса). Паказана, што характар сезоннай дынамікі і ступень падабенства фітапланктонных супольнасцяў істотна залежаць ад трафічнага стану вадаёмаў. Мезатрофныя азёры з рысамі алігатрафіі адрозніваюцца найбольшай устойлівасцю і высокім падабенствам супольнасцяў паміж сабой ва ўсе сезоны, мезатрофныя азёры займаюць пераходнае

становішча, дэманструючы максімальнае падабенства з менш трэфнымі сістэмамі вясной і найбольшыя адрозненні ў познегадовы перыяд. Эўтрофныя азёры найбольш падобныя паміж сабой летам, у перыяд максімальнай прадуктыўнасці. Гіперэўтрофныя вадаёмы адрозніваюцца найбольшай сезоннай зменлівасцю і мінімальным падабенствам з іншымі тыпамі азёр, асабліва ў познегадовы перыяд. NMDS-ардынацыя паказала, што сезонны эффект узмацняецца з ростам трэфнасці азёр, летнія і познегадовыя станы фітапланктонных супольнасцяў з'яўляліся найбольш адрознымі, вясновыя супольнасці характарызаваліся вялікім падабенствам паміж азёрамі рознага трафічнага статусу.

**Ключавыя словы:** фітапланктон, трафічны статус, сезонная дынаміка, Беларускае Паазер'е

**Введение.** Сезонная динамика фитопланктона в озерах разного трофического статуса на протяжении многих десятилетий является объектом интенсивных гидробиологических исследований. Данному вопросу посвящено значительное число работ, выполненных в различных регионах мира, включая озеро Нарочанской группы [1]. Существенный вклад в изучение сезонных изменений фитопланктонных сообществ внесли исследования, в которых подробно охарактеризованы общие закономерности смены доминирующих таксонов, пиков численности и биомассы в течение вегетационного периода [2–4].

Вместе с тем большинство опубликованных работ ориентировано преимущественно на описание самих особенностей сезонной динамики и значительно в меньшей степени – на их сравнительный анализ с точки зрения практической диагностики трофического статуса водоемов. До настоящего времени остается недостаточно раскрытым вопрос о том, в какие именно сезоны различия между озерами разного трофического статуса проявляются наиболее отчетливо, а в какие, наоборот, сглаживаются.

Актуальность проблемы существенно возрастает в условиях климатических изменений [5, 6] и ускоренных процессов эвтрофирования. Сравнение современных данных с литературными источниками прошлых десятилетий [7] свидетельствует о заметных сдвигах сезонной динамики фитопланктона. Так, если ранее, по данным И. С. Трифионовой, летний максимум развития фитопланктона в озерах умеренной зоны приходился преимущественно на июль, а осенний период начинался в конце августа, то в настоящее время пик вегетации нередко смещается на конец августа – начало сентября и характеризуется менее выраженной амплитудой сезонных максимумов.

Таким образом, цель настоящего исследования – выявление особенностей сезонной динамики фитопланктона в озерах различного трофического статуса, а также определение оптимальных временных промежутков, в которые различия между типами водоемов по трэфности проявляются наиболее отчетливо.

**Материалы и методы исследования.** Проведен анализ таксономического состава и биомассы фитопланктона в 66 пробах, собранных на 11 озерах разного трофического статуса Белорусского Поозерья с мая по сентябрь 2023–2025 гг.

Пробы в поздневесенний, летний и позднелетний периоды отбирали в 2023 г. из четырех озер Ушачской группы (оз. Чертсвятское, Вечелье, Отолово, Кривое), в 2024 г. – из пяти озер Браславской группы (оз. Потех, Горушка, Обстерно, Волос Северный, Волос Южный), в 2025 г. – из гиперэвтрофных оз. Ильменок и Великое также Браславской группы.

Отбор проб проводили батометром системы Молчанова объемом 8 л последовательно с поверхности, половины прозрачности и двойной прозрачности, смешивая затем в одну интегральную. Отбирали также одну поверхностную пробу. Пробы воды фиксировали раствором Утермеля. Концентрировали фитопланктон методом отстаивания от изначального объема 0,5 л. Для подсчета численности использовали стандартные гидробиологические методы [8]. Биомассу определяли обычным счетно-объемным методом [9]. Видовой состав фитопланктона определяли с помощью светового микроскопа фирмы CarlZeiss (модель Axiostarplus) при увеличении  $\times 100$ ,  $\times 200$  и  $\times 400$ . Видовую идентификацию проводили с помощью отечественных [10] и зарубежных определителей [11].

Для количественной оценки различий в сообществах фитопланктона между водоемами и объективного выделения групп озер со сходной структурой фитопланктона был применен кластерный анализ на основе построенной матрицы расстояний Брея–Кертиса. Для наглядного представления многомерных данных было проведено неметрическое многомерное шкалирование (NMDS). В качестве исходной также использовалась матрица расстояний Брея–Кертиса.

**Результаты и их обсуждение.** В ходе исследования были рассмотрены мезотрофные озера с чертами олиготрофии (оз. Кривое, Волос Северный, Волос Южный), которые характеризовались низкими значениями биомассы фитопланктона. Средние значения биомассы колебались от 0,4 до 1 мг/л. При этом в сезонной динамике наблюдали наибольший пик биомассы в поздневесенний период (май) до 1,1 мг/л в среднем для всех озер. Далее биомасса постепенно снижалась и в позднелетний период (август – сентябрь) достигала значения 0,5 мг/л (рис. 1).

В литературе отмечено, что для таких озер характерен либо один, либо два пика вегетации – весенний и осенний [2, 3]. Нами отчетливо был выделен только весенний пик, обусловленный массовой вегетацией диатомей, хризофитовых и криптофитовых преимущественно за счет видов родов *Cyclotella* (Kütz.) Breb., *Dinobryon* Ehr. и *Rhodomonas* G. Karsten. В течение остальной части вегетационного сезона указанные таксоны сохраняли доминирующее положение при незначительном увеличении доли синезеленых в позднелетний период.

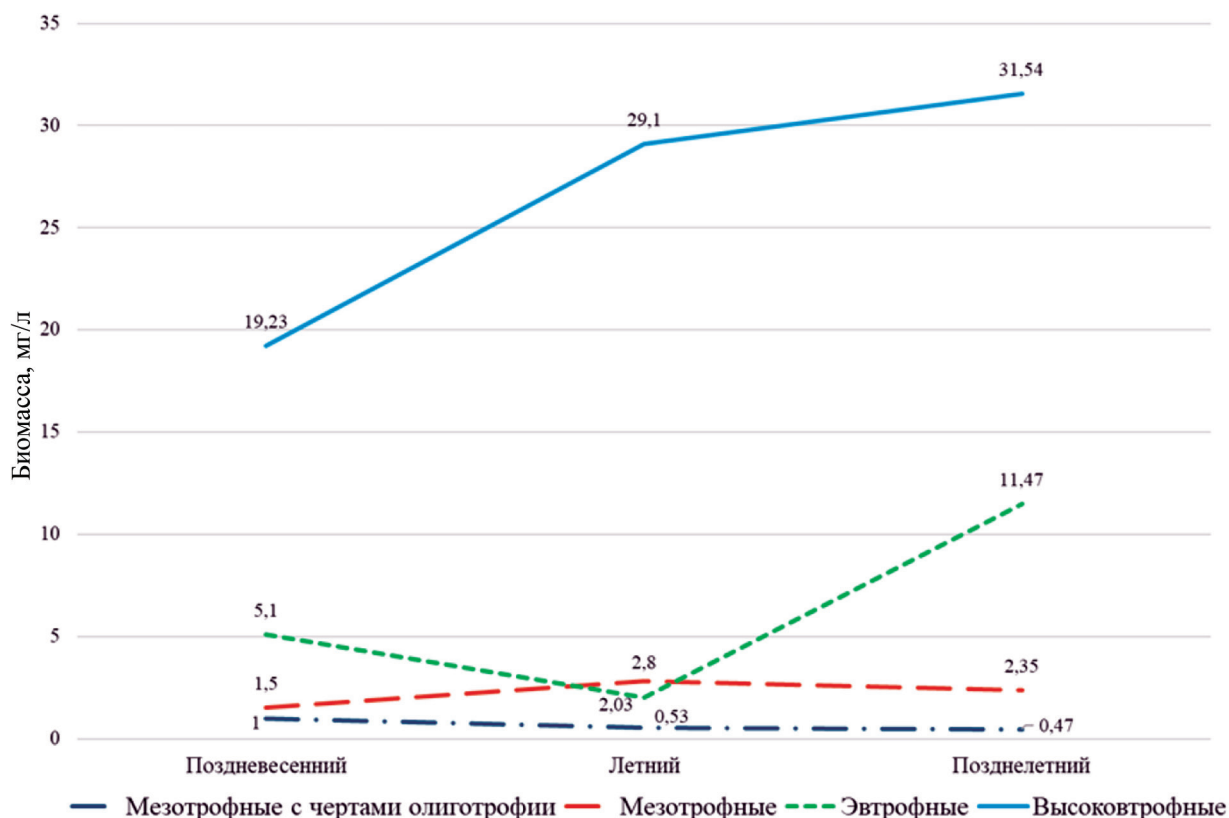


Рис. 1. Динамика биомассы фитопланктона в озерах разного трофического статуса по сезонам

Мезотрофные озера (оз. Вечелье, Обстерно) отличались более сложной структурой сезонной динамики и характеризовались наличием трех и более пиков вегетации. Помимо весеннего и осеннего максимумов для них был типичен дополнительный летний пик, связанный с развитием синезеленых, что ранее отмечалось в литературе [2]. Вследствие сокращения периодов депрессии биомассы между пиками различия средних сезонных значений биомассы были выражены слабо. Так, в поздневесенний период биомасса достигала 1,5 мг/л, летом возрастала до 2,8 мг/л, а в позднелетний период составляла в среднем 2,35 мг/л (см. рис. 1).

Несмотря на относительную стабильность значений биомассы, в течение сезона наблюдалась отчетливая смена видового состава. Весной доминировали диатомовые водоросли, доля которых составляла 43–66 % за счет видов *Synedra acus* Kütz. и *Stephanodiscus* Ehr. sp., тогда как вклад зеленых водорослей не превышал 11 %, а синезеленых – 3–7 %. К концу лета происходило значительное увеличение доли синезеленых, прежде всего *Aphanothece clatrata* West & G. S. West 1906 (в среднем до 37 %), сопровождавшееся снижением вклада диатомовых (до 15–30 %) и зеленых водорослей (4–13 %).

Эвтрофные озера (оз. Потех, Горушка, Отолово) характеризовались высокими значениями биомассы фитопланктона на протяжении всего вегетационного сезона. При этом в их динамике отмечался кратковременный спад биомассы в период «чистой воды» (в среднем до 2,03 мг/л), за которым следовал резкий подъем, достигающий 11,47 мг/л (см. рис. 1). Весной в составе фитопланктона наряду с синезелеными водорослями существенную роль играли диатомовые водоросли (*Stephanodiscus* sp.). В раннелетний период сохранялось присутствие диатомей на фоне развития мелкоклеточных синезеленых (*Aphanothece clatrata*), к концу лета наблюдался резкий рост биомассы за счет видов *Limnotrix planctonica* (Woloszyńska) Meffert, *Planktolyngbya limnetica* Lemm. и *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault.

Высокоэвтрофные озера (оз. Чертсвятское, Ильменок, Великое) отличались непрерывным нарастанием биомассы фитопланктона с момента вскрытия озер с достижением максимальных значений в позднелетний период (в среднем 31,54 мг/л) (см. рис. 1). На протяжении всего сезона в фитопланктоне устойчиво доминировали синезеленые, преимущественно *Aphanizomenon flos-aquae* и *Limnotrix planctonica*. В оз. Ильменок дополнительно отмечалась локальная вспышка развития *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о четкой зависимости сезонной динамики биомассы и видового состава фитопланктона от трофического статуса озер, при этом степень выраженности различий между водоемами существенно варьирует в течение вегетационного сезона.

Для объективной оценки степени сходства и различий между озерами разного трофического статуса, а также для выявления наиболее информативных сезонных интервалов представляется целесообразным применение методов многомерного анализа, в частности кластерного анализа и ординационных методов.

Анализ кластерной структуры озер в поздневесенний, летний и позднелетний периоды выявил формирование трех устойчивых кластеров в каждом из рассматриваемых сезонов (рис. 2).

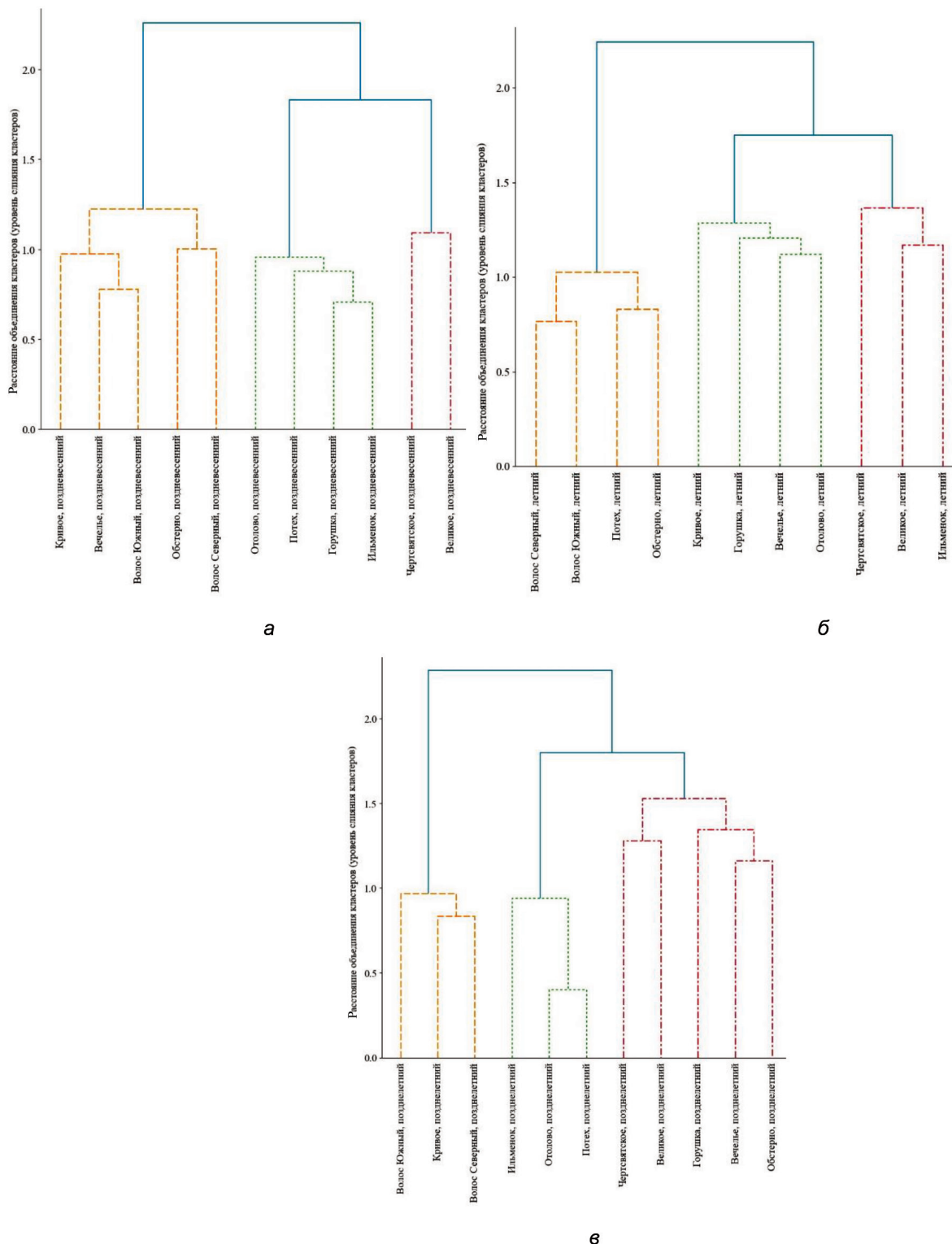


Рис. 2. Кластерный анализ сходства водоемов разного трофического статуса: а – поздневесенний период, б – летний период, в – позднелетний период

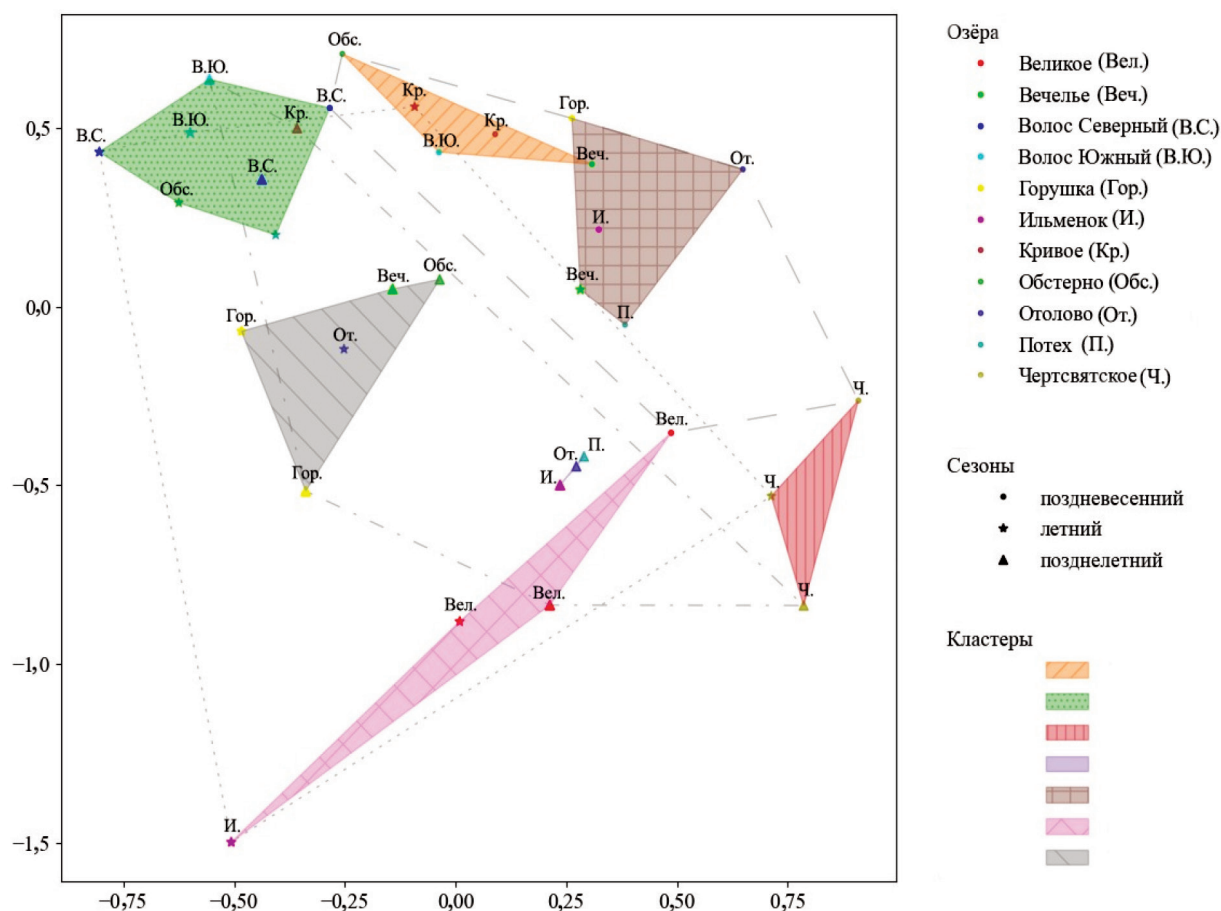


Рис. 3. NMDS-анализ по биомассе

В поздневесенний период образовались три основных кластера. В первый попали все мезотрофные (оз. Обстерно, Вечелье) и мезотрофные с чертами олиготрофии (оз. Кривое, Северный и Южный Волос) озера. Второй кластер образовали все эвтрофные (оз. Потех, Отолово, Горушка) и одно гиперэвтрофное (оз. Ильменок) озера. Последний кластер образован исключительно гиперэвтрофными озерами (оз. Чертсвятское, Великое).

В раннелетний период наблюдалось перераспределение озер между кластерами. В первый кластер вошли мезотрофные с чертами олиготрофии, одно мезотрофное (оз. Обстерно) и одно эвтрофное (оз. Потех) озера. Второй кластер объединял озера всех трофических типов с преобладанием эвтрофных, тогда как третий кластер сохранял однородность и был представлен исключительно гиперэвтрофными озерами (оз. Чертсвятское, Великое, Ильменок).

В позднелетний период кластерная структура вновь изменилась. Первый кластер включал только мезотрофные озера с чертами олиготрофии, второй – эвтрофные и одно гиперэвтрофное (оз. Ильменок) озера. Третий кластер был наиболее неоднородным и подразделялся на два подкластера: гиперэвтрофные озера (оз. Чертсвятское, Великое); эвтрофное оз. Горушка и мезотрофные оз. Вечелье и Обстерно.

Полученные результаты свидетельствуют о выраженной сезонной изменчивости озер по уровню трофности. Наиболее четкое разделение мезотрофных озер с чертами олиготрофии наблюдается в позднелетний период (август – сентябрь). Это обусловлено тем, что в таких водоемах чаще всего наиболее выражены только два пика – весенний и осенний. В это время данные озера могут быть ошибочно приняты за мезотрофные или даже эвтрофные [2].

Гиперэвтрофные озера, наоборот, наиболее однозначно идентифицируются в раннелетний период, поскольку для них не характерно интенсивное нарастание биомассы сразу после вскрытия, а также отсутствует выраженный период «чистой воды» в отличие от эвтрофных и мезотрофных водоемов [12].

NMDS-ординация, выполненная на основе матрицы расстояний по видовой биомассе фитопланктона, подтвердила результаты кластерного анализа, а также выявила ряд других закономерностей в зависимости от трофического статуса озер и сезона наблюдений.

На рис. 3 хорошо заметно, что сезонные различия усиливаются с ростом трофности озер. В мезотрофных с чертами олиготрофии (оз. Кривое, Волос Северный, Волос Южный) и мезотрофных водоемах

(оз. Вечелье, Обстерно) точки, соответствующие различным сезонам, располагаются компактно и характеризуются незначительными смещениями в NMDS-пространстве, что свидетельствует об относительной стабильности структуры фитопланктонных сообществ по биомассе в течение вегетационного периода. И наоборот, в эвтрофных (оз. Потех, Горушка, Отолово) и гиперэвтрофных (оз. Ильменок, Чертсвятское, Великое) водоемах наблюдались протяженные сезонные траектории, отражающие существенные изменения биомассы и состава доминирующих групп фитопланктона от поздней весны к лету и позднему лету.

Наиболее выраженные различия между озерами были зафиксированы для летних и позднелетних состояний фитопланктонных сообществ. Особенно отчетливо данный эффект проявлялся в более трофных озерах, где летне-позднелетние состояния резко отличались от весенних.

Кроме того, интересно образование отдельных кластеров на высокоэвтрофных оз. Чертсвятское и Великое, что отражает их уникальную структуру.

В то же время поздневесенние сообщества фитопланктона характеризовались большей сходностью между озерами различного трофического статуса. Точки, соответствующие поздневесенним пробам, располагались относительно близко друг к другу в NMDS-пространстве, что свидетельствует о более сходной структуре фитопланктонных сообществ в этот период. Вероятно, это отражает доминирование похожих по экологическим требованиям таксонов и влияние общих лимитирующих факторов в начале вегетационного сезона.

Несмотря на то что наиболее точным для гидробиологических исследований является всесезонный мониторинг, практические задачи оперативной диагностики трофического статуса водоемов часто ограничиваются возможностью единичного выезда в полевой сезон. В связи с этим ключевой практической целью исследования было определение наиболее информативного сезона для определения временного интервала, в котором структурные различия фитопланктонных сообществ между типами озер выражены максимально отчетливо, обеспечивая тем самым повышенную надежность экспресс-оценки.

Проведенное исследование демонстрирует, что сезонная динамика фитопланктона отражает особенности озер в зависимости от трофического статуса. Результаты данной работы в полной мере подтверждают классические работы [2, 13], показывая, что общая схема PEG-модели модифицируется в зависимости от уровня трофности, а это, в свою очередь, приводит к формированию уникальных сезонных сообществ для каждого типа водоемов.

Наиболее важным выводом является неравномерная выраженность трофических различий в течение сезона. Наши данные, согласующиеся с выводами французских ученых [14], показывают, что поздневесенний период является наименее информативным для различения озер по трофности. В это время сообщества всех типов озер демонстрируют высокое сходство, обусловленное доминированием диатомовых и других групп, преобладающих в недостаточно прогретой воде (*Cyclotella*, *Dinobryon*, *Synedra*). Этот период экологического выравнивания подтверждает риск, описанный в методологических руководствах [15], о том, что единичная весенняя проба может привести к занижению оценки трофического уровня, особенно для эвтрофных систем. То же было отмечено и для раннелетнего сезона в период «чистой воды».

Летний и в особенности позднелетний периоды выступают ключевыми для диагностики. Именно в это время максимально проявляется специфика трофических условий, различия между типами озер достигают максимума, что четко фиксируется методами кластерного анализа и NMDS.

Мезотрофные озера с чертами олиготрофии наиболее надежно идентифицируются в позднелетний период (август – сентябрь). В данное время их низкая биомасса (0,5 мг/л) и стабильный состав, лишенный выраженного летнего пика синезеленых, резко контрастируют с другими типами. Их диагностика весной осложнена сходством с мезотрофными водоемами.

Мезотрофные озера занимают переходное положение. Их сезонная динамика характеризуется более сложной структурой с несколькими пиками, самый крупный из которых приходится на позднелетний период, когда увеличение доли синезеленых водорослей (до 37–40 %) определяет их более высокий трофический потенциал. Весной они сливаются с менее трофными системами.

Эвтрофные озера проявляют наибольшее внутреннее сходство и наиболее четко дифференцируются от других типов в позднелетний период: у них наблюдается характерная динамика с прохождением фазы «чистой воды», последующим резким доминированием синезеленых (*Limnotrix*, *Aphanizomenon*) и ростом биомассы.

Гиперэвтрофные озера могут быть диагностированы уже в раннелетний период. Ключевым диагностическим признаком, выявленным в нашем исследовании, является отсутствие у них выраженного весеннего пика диатомовых и фазы «чистой воды», характерных для менее трофных озер. Непрерывный рост биомассы с доминированием синезеленых с самого начала сезона (*Aphanizomenon*, *Limnotrix*) создает легко узнаваемую сезонную динамику.

В контексте изменения климата и антропогенного эвтрофирования [5] полученные результаты приобретают особую актуальность. Смещение сезонных фенологических событий (более раннее прогревание, более длительный период стагнации) может усиливать выявленные закономерности: летне-осенний период диагностики может становиться более продолжительным и выраженным. Особое внимание в мониторинге следует уделять именно позднелетнему сезону, который показал максимальную силу разделе-

ния трофических типов. Это соответствует и логике нормативных подходов, например Рамочной водной директиве ЕС, где для оценки часто используется период индекса, приходящийся на летние месяцы [16]. Однако стоит отметить, что для оперативной идентификации гиперэвтрофных условий информативен уже раннелетний отбор проб.

**Заключение.** Проведенное исследование показало, что сезонная динамика фитопланктонных сообществ в озерах Белорусского Поозерья определяется трофическим статусом водоемов и проявляется в различной амплитуде изменений биомассы и степени сезонной перестройки видового состава.

Мезотрофные озера с чертами олиготрофии характеризуются наибольшей устойчивостью фитопланктонных сообществ и высоким уровнем сходства между водоемами на протяжении всего вегетационного периода. Средние значения биомассы фитопланктона в этих озерах варьировали в узком диапазоне: от 0,4 до 1,1 мг/л с максимальными значениями в поздневесенний период (в среднем до 1,1 мг/л) и снижением к позднему лету до 0,5 мг/л. В ординационном пространстве NMDS сезонные смещения были минимальны, что отражает относительную стабильность структуры сообществ. Наиболее четко данные озера идентифицируются в позднелетний период (конец августа – начало сентября), до наступления весеннего и осеннего пиков развития фитопланктона.

Мезотрофные озера занимают переходное положение в градиенте трофности и демонстрируют более сложную сезонную динамику. Средние значения биомассы составляли около 1,5 мг/л в поздневесенний период, увеличивались до 2,8 мг/л летом и оставались высокими в позднелетний период (в среднем 2,35 мг/л). Весной данные водоемы проявляли наибольшее сходство с менее трофными системами, тогда как в позднелетний период различия между мезотрофными и олиготрофными озерами достигали максимума, что сопровождалось ростом доли синезеленых водорослей до 35–40 %.

Эвтрофные озера характеризуются высокими значениями биомассы фитопланктона на протяжении всего вегетационного сезона. В период «чистой воды» биомасса временно снижалась в среднем до 2,03 мг/л, после чего наблюдался резкий подъем, достигающий в среднем 11,47 мг/л. Наибольшее сходство между эвтрофными озерами отмечено в летний период, когда структура фитопланктонных сообществ по биомассе становилась наиболее унифицированной за счет доминирования синезеленых водорослей (*Limnотrix planctonica*, *Planktolyngbya limnetica*, *Aphanizomenon flos-aquae*).

Гиперэвтрофные озера отличаются наибольшей сезонной изменчивостью фитопланктонных сообществ и минимальным сходством с другими типами водоемов. Для них характерно непрерывное нарастание биомассы с момента вскрытия озер и достижение максимальных значений в позднелетний период (в среднем до 31,54 мг/л). В отличие от мезо- и эвтрофных озер период «чистой воды» здесь отсутствует, а высокая биомасса фитопланктона сохраняется уже в раннелетний период, что позволяет надежно идентифицировать гиперэвтрофные водоемы на ранних этапах вегетационного сезона.

Результаты кластерного анализа и NMDS-ординации показали, что летние и позднелетние состояния фитопланктонных сообществ являлись наиболее различимыми, тогда как весенние сообщества характеризовались большим сходством между озерами различного трофического статуса.

#### Список использованных источников

1. Михеева, Т. М. Направленность и характер многолетних изменений фитоценотической структуры и показателей количественного развития фитопланктонных сообществ Нарочанских озер в ходе эволюции их трофического статуса / Т. М. Михеева, Е. В. Лукьянова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2006. – Т. 8, № 1. – С. 125–140.
2. Трифонова, И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона : монография / И. С. Трифонова. – Л. : Наука, 1990. – 182 с.
3. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters / U. Sommer, Z. M. Gliwicz, W. Lampert, A. Duncan // Hydrobiologie. – 1986. – Vol. 106, № 4. – P. 433–471.
4. Reynolds, C. S. The Ecology of Phytoplankton / C. S. Reynolds. – New York : Cambridge University Press, 2006. – 535 p.
5. Winder, M. Phytoplankton response to a changing climate / M. Winder, U. Sommer // Hydrobiologia. – 2012. – Vol. 698, № 1. – P. 5–16.
6. Beyond the Plankton Ecology Group (PEG) Model: Mechanisms Driving Plankton Succession / U. Sommer, R. Adrian, L. De [et al.] // Annual Review of Ecology Evolution and Systematics. – 2012. – Vol. 43, № 1. – P. 429–448.
7. Трифонова, И. С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка / И. С. Трифонова. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1979. – 168 с.
8. Мордухай-Болтовский, Ф. Д. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Ф. Д. Мордухай-Болтовский. – М. : Наука, 1975. – 240 с.
9. Mikheyeva, T. M. Methods of quantitative enumeration of nanophytoplankton (review) / T. M. Mikheyeva // Hydrobiological Journal. – 1989. – Vol. 25. – P. 3–21.
10. Определитель пресноводных водорослей СССР : в 14 т. / М. М. Голлербах [и др.] ; науч. ред. В. П. Савич. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1951–1983.
11. Komarek, J. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota. Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota. Oscillatoriales / J. Komarek, K. Anagnostidis. – München : Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, 2005. – 759 S.

12. Еремкина, Т. В. Структура и функционирование фитопланктона озер северной части Увильдинской зоны (Челябинская область) в условиях антропогенного эвтрофирования : автореф. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Еремкина Татьяна Владимировна ; Рос. акад. наук, Ин-т биологии внутр. вод. – Борок, 2010. – 40 с.
13. Hutchinson, G. E. A treatise on limnology. Introduction to lake biology and the limnoplankton / G. E. Hutchinson. – Minnesota : Wiley, 1967. – 1115 с.
14. Temporal mapping of phytoplankton assemblages in Lake Geneva: Annual and interannual changes in their patterns of succession / O. Anneville, S. Souissi, F. Ibanez [et al.] // Limnology and Oceanography. – 2002. – Vol. 47, № 5. – P. 1355–1366.
15. Wetzel, R. G. Limnological Analyses / R. G. Wetzel, G.E. Likens. – New York : Springer, 2000. – 444 p.
16. Benthic macroinvertebrates in lake ecological assessment: A review of methods, intercalibration and practical recommendations / S. Poikane, R. K. Johnson, L. Sandin [et al.] // Science of The Total Environment. – 2015. – Vol. 543. – P. 123–134.

*Поступила 04.02.2026*

**Ж. А. Рупасова, Ф. И. Привалов, С. Н. Авраменко, А. В. Ушакова, А. С. Саян,  
Н. Б. Павловский, А. В. Ральцевич, Т. В. Шпитальная, М. Н. Вашкевич**

*Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси,  
Минск, Беларусь, email: auramenkastas@gmail.com*

## **ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СЕЗОНА НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ СОРТОВ ЖИМОЛОСТИ СИНЕЙ (*LONICERA CAERULEA* L.) И СТЕПЕНЬ ЕГО ТРАНСФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ В ОБЫЧНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ ПРИ НИЗКОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ**

**Аннотация.** Приведены результаты сравнительного исследования в южной агроклиматической зоне Беларуси в контрастные по гидротермическому режиму сезоны 2023 и 2025 гг. биохимического состава плодов 5 новых интродуцируемых сортов жимолости синей – Aurora, Honey bee, Indigo Gem, Wojtek, Zojka и районированного сорта Ленинградский великан по содержанию ряда органических кислот, углеводов и фенольных соединений и степени его трансформации в процессе хранения в обычной газовой среде при низких положительных температурах. У всех или большинства таксонов жимолости прохладная и дождливая погода мая – июня 2025 г. способствовала обогащению плодов относительно более благоприятного по погодным условиям сезона 2023 г. органическими соединениями разной химической природы и повышению их нутриентной ценности по совокупности 14 биохимических характеристик, наименьшему – у сорта Ленинградский великан и наиболее значительному – у новых тестируемых таксонов, особенно у сортов Indigo gem и Zojka. Несмотря на сравнительно непродолжительный период хранения плодов жимолости, ограниченный 8 сутками, выявлена существенная трансформация их биохимического состава, в которой обозначились сходные у всех таксонов закономерности, проявившиеся в значительном обеднении свободными органическими, аскорбиновой и гидроксикоричными кислотами, отчасти пектиновыми веществами, антоциановыми пигментами при снижении общего количества биофлавоноидов, на фоне обогащения сухими веществами, катехинами, флавонолами, растворимыми сахарами при увеличении показателя сахарокислотного индекса и неоднозначных изменений в содержании дубильных веществ. Показано, что направленность и степень выразительности выявленных тенденций в значительной мере определялись генотипом растений и химической природой органических соединений. Установлено, что наименьшей, причем сходной зависимостью от гидротермического режима сезона, характеризовался процесс трансформации биохимического состава плодов у сортов Indigo gem и Aurora, тогда как наибольшей – у сортов Honey bee и Zojka при промежуточном, сходном положении у сортов Wojtek и Ленинградский великан.

**Ключевые слова:** вегетационный период, погодные условия, жимолость синяя, сорт, плоды, хранение, органические кислоты, углеводы, фенольные соединения

**J. A. Rupasova, F. I. Privalov, S. N. Avramenko, A. V. Ushakova, A. S. Sayan, N. B. Pavlovsky, A. V. Raltsevich,  
T. V. Shpitalnaya, M. N. Vashkevich**

*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, email: auramenkastas@gmail.com*

## **THE EFFECT OF SEASONAL HYDROTHERMAL CONDITIONS ON THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF BLUE HONEYSUCKLE (*LONICERA CAERULEA* L.) FRUITS AND THE DEGREE OF ITS TRANSFORMATION DURING STORAGE IN A CONVENTIONAL GAS ATMOSPHERE AT A LOW POSITIVE TEMPERATURE**

**Abstract.** This paper presents the findings of a comparative study conducted in the southern agroclimatic zone of Belarus during the 2023 and 2025 growing seasons. These seasons differed in terms of hydrometeorological conditions. The study examined the biochemical composition of the fruits of five newly introduced blue honeysuckle varieties—Aurora, Honey Bee, Indigo Gem, Wojtek, Zojka, and the regionalized variety Leningradsky Velikan—regarding the content of various organic acids, carbohydrates, and phenolic compounds. The study also examined the degree of their transformation during storage in a standard gas atmosphere at low positive temperatures. For the majority of taxa classified within the genus *Lonicera*, the cool and rainy weather conditions experienced during May and June of 2025 contributed to the enrichment of the fruits, in comparison to the relatively more favorable weather conditions observed during the 2023 season. A set of 14 biochemical characteristics was utilized to assess the organic compounds of various chemical natures and the increase in their nutritional value. The smallest increase was observed in the Leningradsky Velikan variety, while the most significant increase was observed in the new tested taxa, particularly in the Indigo Gem and Zojka varieties. Despite the relatively brief storage period of honeysuckle fruits, which is limited to eight days, a substantial transformation in their biochemical composition was observed. This transformation revealed patterns common to all taxa, manifested in a marked depletion of free organic acids, ascorbic acid, and hydroxycinnamic acids, as well as, to some extent, pectin substances and anthocyanin pigments. This depletion was accompanied by a decrease in the total amount of bioflavonoids, against a background of enrichment with dry matter, catechins, flavonols, and soluble sugars, along with an increase in the sugar-acid index and ambiguous changes in tannin content. The direction and degree of expression of the identified trends were found to be largely determined by the plant genotype and the chemical nature of the organic compounds. The biochemical composition of fruits was found to be most influenced by the seasonal hydrothermal regime in the Indigo Gem and Aurora varieties, with the greatest impact observed in the Honey Bee and Zojka varieties, and an intermediate response seen in the Wojtek and Leningradsky Velikan varieties.

**Keywords:** vegetation period, weather conditions, *Lonicera caerulea*, variety, fruits, storage, organic acids, carbohydrates, phenolic compounds

Ж. А. Рупасава, Ф. І. Прывалаў, С. М. Аўраменка, Г. У. Ушакова, А. С. Саян, М. Б. Паўлоўскі,  
А. В. Ральцэвіч, Т. В. Шпітальная, М. М. Вашкевіч

Цэнтральны батанічны сад Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,  
Мінск, Беларусь, email: auramenkastas@gmail.com

### УПЛЫЎ ГІДРАТЭРМІЧНАГА РЭЖЫМУ СЕЗОНА НА БІЯХІМІЧНЫ СКЛАД ПЛАДОЎ САРТОЎ БРУЖМЕЛЮ СІНЯГА (*LONICERA CAERULEA* L.) І СТУПЕНЬ ЯГО ТРАНСФАРМАЦЫІ Ў ПРАЦЭСЕ ЗАХОЎВАННЯ Ў ЗВЫЧАЙНЫМ ГАЗАВЫМ АСЯРОДДЗІ ПРЫ НИЗКАЙ СТАНОЎЧАЙ ТЭМПЕРАТУРЫ

**Анотацыя.** Прыведзены вынікі параўнальнага даследавання ў паўднёвай агракліматычнай зоне Беларусі ў кантрастныя па гідратэрмічным рэжыме сезоны 2023 і 2025 гг. біяхімічнага складу пладоў 5 новых інтрадукаваных гатункаў бружмелю сіняга – Aurora, Honey bee, Indigo Gem, Wojtek, Zojka і раяніраванага сорту Ленінградскі волат па колькасці шэрагу арганічных кіслот, вугляводаў і фенольных злучэнняў і ступені яго трансфармацыі ў працэсе захоўвання ў звычайным газавым асяроддзі пры нізкіх станючых тэмпературах. Ва ўсіх або большасці таксонаў бружмелю халаднаватае і дажджлівае надвор'е мая – чэрвеня 2025 г. спрыяла ўзбагачэнню пладоў адносна больш спрыяльнага па ўмовах надвор'я сезона 2023 г. арганічнымі злучэннямі рознай хімічнай прыроды і павышэнню іх нутрыентнай каштоўнасці па сукупнасці 14 біяхімічных характарыстык, найменшаму – у сорта Ленінградскі волат і найбольш значнаму – у новых тэсціруемых таксонах, асабліва ў сартах Indigo gem і Zojka. Нягледзячы на параўнальна непрацяглы перыяд захоўвання пладоў бружмелю, абмежаваны 8 суткамі, выяўлена істотная трансфармацыя іх біяхімічнага саставу, у якой адзначаны падобныя ва ўсіх таксонаў заканамернасці, якія праяўляюцца ў значным аб'ядненні свабоднымі арганічнымі, аскарбінавай і гідракісарычнымі кіслотамі, часткова пекцінавымі рэчывамі, антацыянавымі пігментамі пры зніжэнні агульнай колькасці бяфлаваноідаў, на фоне абагачэння сухімі рэчывамі, катэхінамі, флаваноламі, растваральнымі цукрамі пры павелічэнні паказчыка цукракіслотнага індэкса і неадназначных змяненняў у складзе дубільных рэчываў. Паказана, што накіраванасць і ступень выразнасці выяўленых тэндэнцый у значнай меры вызначаліся генатыпам раслін і хімічнай прыродай арганічных злучэнняў. Устаноўлена, што найменшай, прычым падобнай залежнасцю ад гідратэрмічнага рэжыму сезона характарызаваўся працэс трансфармацыі біяхімічнага складу пладоў у сартоў Indigo gem і Aurora, тады як найбольшай – у сартоў Honey bee і Zojka пры прамежавым падобным становішчы ў сартоў Wojtek і Ленінградскі волат.

**Ключавыя словы:** вегетацыйны перыяд, умовы надвор'я, бружмель сіні, сорт, плады, захоўванне, арганічныя кіслоты, вугляводы, фенольныя злучэнні

**Введение.** В связи с возросшим в последние годы интересом населения Беларуси к культуре жимолости синей (*Lonicera caerulea*) особый научный и практический интерес обретают вопросы хранения плодов, кратковременность периода которого ограничивает возможности реализации и поставок ягодной продукции на внутренний и внешний рынки. Наиболее приемлемым в этом плане представляется их хранение в холодильных установках при низких положительных температурах. По нашим наблюдениям, его продолжительность в этих условиях не превышает 10–11 суток [1]. Как показали результаты исследований с плодами жимолости урожая 2023 г., не прекращающиеся при этом процессы их жизнедеятельности обуславливали обезвоживание тканей и сопровождалось расходом части накопленных органических соединений, а следовательно, и изменением качества и органолептических свойств ягодной продукции. Вместе с тем в многолетнем цикле наблюдений установлено значительное влияние погодных условий вегетационного периода на биохимический состав последней [2], что, в свою очередь, могло отразиться на степени его трансформации в период хранения.

Целью настоящих исследований являлось установление влияния гидротермического режима сезона на накопление ряда органических кислот, углеводов и фенольных соединений в плодах 5 новых интродуцируемых сортов жимолости синей – Aurora, Honey bee, Indigo gem, Wojtek и Zojka и районированного в Беларуси сорта Ленинградский великан из коллекционного фонда Центрального ботанического сада НАН Беларуси, а также на степень изменений содержания в них органических соединений разной химической природы в процессе хранения в обычной газовой среде при низких положительных температурах.

**Материалы и методика исследования.** Исследования выполнены в южной агроклиматической зоне Беларуси в условиях сезонов 2023 и 2025 гг. в рамках полевых и лабораторных экспериментов с обозначенными выше таксонами опытных растений, выращивание которых осуществляли по общепринятой технологии на экспериментальном участке отраслевой лаборатории интродукции и технологии нетрадиционных ягодных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси (Ганцевичский р-н Брестской обл.) на осушенной торфяно-болотной почве. По достижении плодами состояния съемной зрелости их собирали и закладывали на хранение. В качестве тары использовали одноразовые пищевые пластиковые контейнеры с отверстиями объемом 400 мл (Т 602 для ягод и фруктов с крышками Т 601). Образцы, сформированные только из внешне здоровых плодов обозначенных сортов жимолости, хранили в лабораторном холодильнике при низких положительных температурах  $+4 \pm 1^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха 50 %.

Исследование биохимического состава их усредненных проб осуществляли перед закладкой на хранение и при его завершении в связи с утратой потребительских свойств. На обозначенных этапах лабораторного эксперимента определяли содержание в плодах органических соединений, относящихся к разным классам действующих веществ. При этом содержание сухих веществ учитывали по ГОСТ [3], свободных (титруемых) органических кислот (общей кислотности) – объемным методом [4], аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [4], гидроксикоричных кислот (в пе-

речете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом [5], растворимых сахаров – ускоренным фенол-серноокислотным полумикрометодом [6], пектиновых веществ – кальциево-пектатным методом [7], дубильных веществ (танинов) – титрометрическим методом Левенталя [8], основных компонентов биофлавоноидного комплекса, в том числе антоциановых пигментов, – по методу Т. Swain, W. E. Hillis [9] с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [10]; собственно антоцианов и катехинов (с использованием ванилинового реактива) – спектрофотометрическим методом [4, 11]; флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [4]. Оценку влияния погодных условий вегетационного сезона на степень изменений интегрального уровня нутриентной ценности плодов сортов жимолости по совокупности 14 биохимических характеристик за период хранения осуществляли на основе авторского способа ранжирования объектов, защищенного патентом [12]. Все определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторностях. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Поскольку основной задачей настоящих исследований являлось установление зависимости биохимического состава плодов жимолости синей и степени его трансформации от гидротермического режима периода формирования, то рассмотрение полученных результатов предварим анализом погодной ситуации в данный период. Как следует из табл. 1, первые два весенних месяца 2023 г. оказались заметно теплее, чем обычно, при обилии атмосферных осадков. Несмотря на острый дефицит влаги в мае на фоне значительных перепадов температуры воздуха со снижением даже в июне ее минимальных значений до отрицательных, у всех таксонов опытных растений наблюдалось ускорение на 1,5–2 недели, по сравнению с предыдущими сезонами, сроков прохождения всех фенологических фаз при заметном отставании в необходимом количестве тепла. Это позволило рассматривать погодные условия периода формирования плодов жимолости в 2023 г. как весьма благоприятные для их развития. В связи с более ранним, причем одновременным у всех сортов, наступлением фазы плодоношения начало эксперимента в указанном сезоне пришлось уже на 30 мая, а его завершение – на 7 июня.

**Таблица 1. Среднемесячные характеристики гидротермического режима периода формирования плодов *Lonicera caerulea* (по данным Белгидромета)**

Месяц	Температура воздуха, °С					Осадки, мм		
	Средняя	Норма	% от нормы	Максимальная	Минимальная	Сумма	Норма	% от нормы
2023 г.								
Март	3,3	0,9	367	18,7	–6,5	84	37	227
Апрель	8,6	7,7	112	20,6	–3,0	42	41	102
Май	12,8	13,6	94	26,7	–3,3	5	66	8
Июнь	17,3	16,5	105	28,5	–0,3	119	78	152
2025 г.								
Март	5,5	0,9	611	19,1	–11,7	48	37	130
Апрель	9,5	7,7	123	27,4	–4,9	27	41	66
Май	10,7	13,6	80	26,0	–3,5	80	66	121
Июнь	16,9	16,5	102	29,4	8,2	117	78	150

Гидротермический режим весенних месяцев 2025 г. заметно отличался от такового в 2023 г. Наиболее выразительно межсезонные различия проявились в марте, характеризовавшемся в 1,7 раза более существенным, чем в первом сезоне, превышением средних многолетних значений среднемесячной температуры воздуха, но при более существенных ее перепадах на фоне вдвое меньшего количества атмосферных осадков. Температурный фон апреля лишь в 1,1 раза превосходил таковой в 2023 г., но наблюдавшийся при этом заметный дефицит влаги в определенной степени сдерживал развитие растений жимолости, чему способствовало также заметное похолодание в мае, сопровождавшееся дождливой погодой с превышением в 1,2 раза многолетней нормы выпадения осадков. Июнь отличался сопоставимым с установленным в 2023 г. температурным фоном, но при этом еще более значительным по сравнению с маем превышением нормы по количеству осадков, достигавшему 1,5-кратной величины, сопоставимой с таковой в предыдущем сезоне. На наш взгляд, гидротермический режим сезона 2025 г. с затяжным характером дождливой и сравнительно прохладной погоды в период формирования плодов жимолости в мае – июне не мог не отразиться на сезонном развитии растений, протекавшем с определенным запаздыванием сроков прохождения основных фенологических фаз и заметной разбежкой у исследуемых сортов времени созревания плодов. В связи с этим начало эксперимента по исследованию трансформации их биохимического состава в процессе хранения пришлось на разные, причем более поздние сроки по сравнению с 2023 г. Так, у сортов Ленинградский великан, Wojtek и Indigo get закладка плодов на хране-

ние произведена 11 июня, а закончился эксперимент 18 июня, тогда как у сортов Aurora, Zojka и Honey bee эти сроки оказались смещенными – 17 и 25 июня соответственно.

Сравнительное исследование биохимического состава плодов перечисленных таксонов жимолости синей, сформированных в условиях сезонов 2023 и 2025 гг., выявило заметные генотипические и межсезонные различия, подтверждаемые значительной шириной диапазонов варьирования большинства анализируемых признаков в сортовом ряду и двулетнем цикле наблюдений (табл. 2). Обращает на себя внимание отчетливое сходство в годы наблюдений диапазонов варьирования в сортовом ряду содержания сухих, пектиновых и дубильных веществ, свободных органических кислот, растворимых сахаров и показателя сахарокислотного индекса, что свидетельствовало об относительно слабой зависимости данных показателей от погодных условий вегетационного периода. Однако для аналогичных диапазонов варьирования остальных биохимических характеристик показаны весьма значительные межсезонные различия, состоявшие в их расширении в 2025 г. относительно 2023 г. для параметров накопления аскорбиновой и гидроксикоричных кислот и заметном сужении для таковых всех компонентов биофлавоноидного комплекса. Это однозначно указывало на усиление генотипических различий в первом случае и нивелирование таковых во втором.

Таблица 2. Диапазоны варьирования в сортовом ряду характеристик биохимического состава плодов *Lonicera caerulea* (в сухом веществе)

Показатель	2023 г.	2025 г.
Сухие вещества, %	11,80–14,50	11,60–14,60
Свободные органические кислоты, %	13,40–27,50	13,30–30,30
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	295,300–402,3	508,00–1 217,00
Гидроксикоричные кислоты, мг/100 г	441,70–560,10	485,00–781,00
Растворимые сахара, %	32,00–54,30	33,00–50,30
Сахарокислотный индекс	1,31–3,42	1,26–3,80
Пектиновые вещества, %	4,94–8,76	4,78–8,70
Собственные антоцианы, мг/100 г	4 190,00–18 223,00	4 420,00–13 640,00
Лейкоантоцианы, мг/100 г	1 745,00–5 511,00	2 168,00–6 168,00
Сумма антоциановых пигментов, мг/100 г	7 897,00–22 298,00	9 126,00–15 808,00
Катехины, мг/100 г	536,00–1 357,00	556,00–1 115,00
Флавонолы, мг/100 г	1 924,00–4 121,00	2 350,00–4 053,00
Сумма биофлавоноидов, мг/100 г	10 665,00–27 776,00	12 090,00–20 639,00
Дубильные вещества, %	3,10–3,87	2,70–3,94

Так, если в 2023 г. расхождения крайних позиций в приведенных диапазонах для органических кислот не превышали 1,3–1,4 раза, то в 2025 г. они уже достигали 1,6–2,4-кратной величины при противоположной картине межсезонных различий по данному признаку у всех компонентов биофлавоноидного комплекса. Например, в первый год наблюдений расхождения в содержании антоциановых пигментов, катехинов и флавонолов на границах обозначенных диапазонов соответствовали 2,1–4,5-кратной величине, тогда как во второй они сократились до 1,7–3,1-кратного размера. При этом в 2025 г. границы диапазонов варьирования в сортовом ряду содержания лейкоантоцианов, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот сместились в область более высоких, чем в 2023 г., значений, во всех остальных случаях – в область более низких.

Нетрудно убедиться в существенной зависимости содержания органических соединений в плодах исследуемых сортов жимолости синей от погодных условий вегетационного периода, о величине которой можно судить по данным табл. 3. При этом на фоне показанных выше межсезонных различий температурного режима и количества выпавших осадков в период формирования плодов в большинстве случаев обнаружена явная общность тенденций в изменении параметров накопления ряда соединений, но степень данных преобразований определялась генотипом опытных растений. Так, у всех или большинства таксонов жимолости весьма прохладная и дождливая погода мая – июня 2025 г. способствовала обогащению плодов по сравнению с сезоном 2023 г. на 55–240 % аскорбиновой кислотой, наиболее значительному у сорта Honey bee, и на 6–74 % гидроксикоричными кислотами, особенно у сорта Indigo gem, сопровождавшемуся обеднением их на 13–19 % свободными органическими кислотами, активизация накопления которых на 52 и 84 % (обусловившая снижение на 32 и 43 % сахарокислотного индекса) выявлена лишь у сортов Honey bee и Zojka. У остальных же таксонов жимолости величина данного показателя, характеризующего сладость вкуса плодов, превышала установленную в 2023 г. на 11–19 %. Такой положительный результат связан с тем, что межсезонные различия в содержании растворимых сахаров были незначительными и варьировались в сортовом ряду в диапазоне 3–7 %, причем независимо от их ориентации темпы биосинтеза данных углеводов превышали таковые титруемых кислот.

Таблица 3. Межсезонные (2023/2025 гг.) различия количественных показателей биохимического состава плодов сортов *Lonicera caerulea*, %

Показатель	Сорт					
	Ленинградский великан	Auroga	Zojka	Wojtek	Indigo gem	Honey bee
Сухие вещества	–	+18,6	–6,3	+5,4	–4,3	–9,4
Свободные органические кислоты	–16,4	–13,5	+83,6	–18,9	–13,4	+51,5
Аскорбиновая кислота	+54,9	+109,5	+194,5	+67,7	+178,2	+240,3
Гидроксикоричные кислоты	+6,8	+6,9	–	+50,0	+73,6	+5,6
Растворимые сахара	–7,4	–3,1	+4,5	–3,6	+3,1	+3,5
Сахарокислотный индекс	+11,1	+11,8	–43,1	+19,1	+19,3	–31,9
Пектиновые вещества	–	–	–10,1	–	+28,2	–3,2
Собственно антоцианы	+5,5	+44,9	–28,8	–	–12,6	–40,0
Лейкоантоцианы	+27,0	–60,7	+253,4	+19,0	+29,2	+11,2
Сумма антоциановых пигментов	+15,6	+5,9	+25,5	+5,4	+7,0	–30,6
Катехины	–27,3	–	–9,0	–16,1	+3,8	–17,8
Флавонолы	+22,1	–	+9,8	+16,6	+19,4	–
Сумма биофлавоноидов	+13,4	+5,1	+20,3	+6,3	+8,9	–25,7
Дубильные вещества	–17,2	–9,8	–	–	–	–
Суммарный результат	+88,1	+115,6	+494,3	+150,9	+340,4	+153,5

Примечание. – – отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента межсезонных различий при  $p < 0,05$ .

Что касается пектиновых веществ, то межсезонные различия в их содержании проявились лишь в плодах трех таксонов жимолости и состояли в его снижении на 3–10 % у сортов Honey bee и Zojka и увеличении на 28 % у сорта Indigo gem. Особый научный и практический интерес представляло исследование влияния погодных условий вегетационного периода на состояние биофлавоноидного комплекса плодов ввиду его значительной физиологической ценности для человеческого организма [13]. Как следует из табл. 3, в условиях сезона 2025 г. у большинства сортов наблюдалась активизация по сравнению с 2023 г. накопления в плодах на 5–26 % антоциановых пигментов, особенно у сорта Zojka, характеризовавшегося наибольшим в сортовом ряду увеличением содержания лейкоантоцианов (до 253 %).

Следует отметить, что именно эти соединения в основном обеспечивали позитивные сдвиги в общем количестве данных пигментов, поскольку активизация биосинтеза собственно антоцианов на 6 и 45 % выявлена лишь у двух таксонов жимолости – районированного сорта Ленинградский великан и нового тестируемого сорта Auroga, тогда как в остальных случаях наблюдалось отставание от сезона 2023 г. по данному признаку на 13–40 % (наибольшее – у сорта Honey bee, для которого показано аналогичное отставание на 31 % также по общему количеству антоциановых пигментов).

Во второй год наблюдений заметной активизацией накопления на 10–22 % в плодах большинства таксонов жимолости отмечены также флавонолы, что наиболее выразительно проявилось у сорта Indigo gem и особенно у сорта Ленинградский великан при отсутствии межсезонных различий по данному показателю у сортов Auroga и Honey bee. Вместе с тем в большинстве случаев, несмотря на ослабление по сравнению с 2023 г. биосинтеза не только собственно антоцианов, но и на 9–27 % катехинов, особенно у сорта Ленинградский великан, для общего количества биофлавоноидов показаны в основном позитивные сдвиги на 5–20 % относительно 2023 г., наиболее значительные у сорта Zojka (см. табл. 3). Поскольку данные соединения обладают высокой Р-витаминной активностью и являются мощными антиоксидантами [13], то усиление их накопления в плодах тестируемых таксонов жимолости во второй год исследований, обусловленное проявлением их защитной функции при приспособлении растений к неблагоприятным погодным условиям сезона 2025 г., следует рассматривать как положительное явление.

Нетрудно убедиться, что на фоне выявленных сходных тенденций в изменении исследуемых характеристик плодов жимолости в зависимости от гидротермического режима сезона выразительность их проявления определялась генотипом растений и химической природой органических соединений. Для интегральной оценки степени обогащения биохимического состава плодов в условиях сезона 2025 г., учитывая влияние всех обозначенных факторов, для каждого тестируемого сорта жимолости осуществлено суммирование приведенных в табл. 3 относительных размеров статистически значимых межсезонных различий показателей с учетом их знака, дающее представление о величине суммарного результата. Как видим, в неблагоприятных погодных условиях сезона 2025 г. у всех сортов данного вида наблюдалось улучшение относительно 2023 г. качественного состава плодов в целом на 88–494 %, наименее значительное – у районированного сорта Ленинградский великан, обусловленное его выработавшейся за многолетний период адаптацией к местным почвенно-климатическим условиям, тогда как у новых тестируемых таксонов жимолости данный показатель оказался существенно выше, особенно у сортов Indigo gem и Zojka, что свидетельствовало о наиболее выраженной их зависимости от комплекса биотических

и абиотических факторов. В соответствии со снижением степени межсезонных различий биохимического состава плодов по совокупности биохимических характеристик, указывающем на повышение его устойчивости к абиотическим факторам в районе интродукции, исследуемые сорта были расположены в следующей последовательности: Zojka > Indigo gem > Honey bee = Wojtek > Aurora > Ленинградский великан.

Логично предположить, что выявленные межсезонные и таксономические различия в биохимическом составе плодов жимолости в начале эксперимента могли отразиться на темпах и степени его трансформации в процессе их хранения в обычной газовой среде при низких положительных температурах. При этом для установления доминирующих тенденций в динамике органических соединений разной химической природы в зависимости от генотипа растений и гидротермического режима сезона представлялось целесообразным дать сравнительную оценку степени расхождений в их содержании на начальном и завершающем этапах хранения плодов, сформированных в условиях сезонов 2023 и 2025 гг.

**Таблица 4. Относительные различия с исходным уровнем биохимических характеристик плодов интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* на завершающем этапе хранения в условиях обычной газовой среды при температуре +4 ± 1 °С, %**

Показатель	Сорт											
	Ленинградский великан		Aurora		Zojka		Wojtek		Indigo gem		Honey bee	
	2023 г.	2025 г.	2023 г.	2025 г.	2023 г.	2025 г.	2023 г.	2025 г.	2023 г.	2025 г.	2023 г.	2025 г.
Сухие вещества	–	+6,9	+8,5	+9,3	–6,3	–	–	+7,4	+6,5	+6,8	+9,4	+6,0
Свободные органические кислоты	–18,9	–15,0	–29,5	–17,9	–32,1	–4,5	–18,9	–12,1	–16,6	–14,2	–32,5	–7,9
Аскорбиновая кислота	–20,8	–13,6	–21,0	–44,1	–20,3	–42,6	–22,0	–11,9	–40,0	–9,5	–24,1	–41,7
Гидроксикоричные кислоты	–16,5	–10,6	–20,9	–6,5	–41,9	–15,9	–17,8	–11,3	–50,0	–11,1	–17,6	–8,0
Растворимые сахара	+8,7	+2,8	+7,9	+6,4	+22,9	–	+11,1	+5,8	+29,1	+5,2	+10,0	–
Сахарокислотный индекс	+33,6	+20,0	+52,7	+30,4	+82,3	+6,8	+37,4	+19,9	+55,6	+22,5	+62,7	+11,9
Пектиновые вещества	–3,3	–	–4,0	–	–13,8	–	–	–	–7,3	–	–	–
Собственно антоцианы	–13,6	–11,3	–6,9	–17,6	–25,8	–6,9	–11,6	–5,4	–5,2	–8,0	–12,1	–4,9
Лейкоантоцианы	–14,6	–	–12,7	+22,0	+59,1	–8,9	–6,9	–8,7	–31,0	–13,1	–	–15,1
Сумма антоциановых пигментов	–14,1	–5,1	–9,1	–12,2	–9,5	–8,0	–10,4	–6,3	–12,2	–9,7	–5,7	–7,9
Катехины	+14,6	+12,7	+11,4	+7,5	+25,0	+7,1	+6,8	+13,2	+29,5	+10,3	+6,5	+5,4
Флавонолы	+19,5	+4,3	+8,8	+2,4	+25,0	+5,5	+10,8	+2,2	+36,0	+3,6	+7,0	+2,5
Сумма биофлавоноидов	–5,7	–2,4	–4,9	–8,7	–	–4,9	–6,2	–4,1	–3,5	–6,7	–3,2	–5,1
Дубильные вещества	–25,5	+11,5	–19,3	+9,1	–24,2	+3,9	–34,2	+4,6	–23,5	+8,7	–28,7	+4,3
Отрицательные сдвиги	–133,0	–58,0	–128,3	–107,0	–173,9	–91,7	–128,0	–59,8	–189,3	–72,3	–123,9	–90,6
Положительные сдвиги	+76,4	+58,0	+89,3	+87,1	+214,3	+23,3	+66,1	+53,1	+156,7	+57,1	+95,6	+30,1
Амплитуда сдвигов	209,4	116,0	217,6	194,1	388,2	115,0	194,1	112,9	346,0	129,4	219,5	120,7
Результирующий показатель	–56,6	0	–39,0	–19,9	+40,4	–68,4	–61,9	–6,7	–32,6	–15,2	–28,3	–60,5

*Примечание.* – – отсутствие статистически значимых различий по t-критерию Стьюдента с исходным уровнем при  $p < 0,05$ .

Как следует из табл. 4, несмотря на весьма непродолжительный период хранения плодов жимолости, ограниченный лишь 8 сутками, в их биохимическом составе обнаружены значительные изменения, характеризовавшиеся как индивидуальными особенностями данного процесса у опытных объектов, так и наличием отчетливо выраженных общих закономерностей. Так, в оба года исследований на протяжении обозначенного периода у сортов Aurora, Indigo gem и Honey bee отмечено незначительное (на 6–9 %) увеличение содержания сухих веществ, обусловленное потерями влаги, причем у сортов Wojtek и Ленинградский великан это наблюдалось лишь в 2025 г. при отсутствии значимых различий с исходным уровнем данного показателя у сорта Zojka, у которого в 2023 г. обнаружено даже его достоверное снижение на 6 %. Вместе с тем в оба сезона в процессе хранения плодов происходило их существенное обеднение всеми определявшимися органическими кислотами, подтверждаемое снижением к окончанию эксперимента содержания титруемых кислот на 5–33 %, наиболее значительное в 2023 г., особенно у новых интродуцируемых сортов Aurora, Zojka и Honey bee, аскорбиновой кислоты – на 14–44 %, наибольшее – у этих же таксонов жимолости в 2025 г., а у сорта Indigo gem – в 2023 г. При этом в оба года исследований наименее выразительной, причем сходной, деградацией витамина С характеризовались районирован-

ный сорт Ленинградский великан и интродуцируемый сорт Wojtek. Обеднение плодов гидроксикоричными кислотами в процессе хранения при наибольшей выразительности в 2023 г. варьировалось в сортовом ряду в двулетнем цикле в диапазоне 7–50 %, причем максимальным снижением их содержания отмечены сорта Zojka и Indigo gem.

Аналогичная картина наблюдалась нами ранее в подобном эксперименте с плодами новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой [14], что указывало на общебиологическую природу данного явления. При этом нельзя не заметить, что темпы деградации исследуемых органических кислот в процессе хранения плодов жимолости в значительной степени определялись генотипом опытных растений. На наш взгляд, столь выразительная деструкция обозначенных органических кислот обусловлена их интенсивным расходом в дыхательном процессе в качестве основного энергетического и трофического ресурса [15], а значительная скорость утилизации в плодах данных соединений указывала на чрезвычайно высокую активность их метаболизма даже при хранении в условиях пониженных температур. Что касается трансформации углеводного комплекса плодов жимолости в процессе хранения, то участие продуктов распада пектиновых веществ в качестве запасного энергетического материала в дыхательном газообмене [16] значительно уступало таковому органических кислот и проявилось лишь в 2023 г., причем не у всех опытных объектов, тогда как в 2025 г. достоверных различий в содержании пектинов на начальном и завершающем этапах эксперимента не выявлено вовсе. На этом фоне у всех таксонов жимолости происходило заметное обогащение плодов растворимыми сахарами, наиболее выраженное в первый год исследований и обусловленное показанным выше распадом пектинов и органических кислот с образованием моно- и дисахаридов [16], что обусловило улучшение вкусовых свойств ягодной продукции. Это подтверждалось соответствующим увеличением показателя ее сахарокислотного индекса на 34–82 % в 2023 г. и 7–30 % в 2025 г. относительно исходного уровня на фоне весьма выразительных генотипических различий (см. табл. 4). Столь выразительные межсезонные расхождения при этом обусловлены менее значительным в 2025 г., нежели в 2023 г., обогащением плодов растворимыми сахарами при менее существенной деградации титруемых кислот.

Особый интерес представляло выявление особенностей трансформации биофлавоноидного комплекса плодов жимолости, обладающего значительной Р-витаминной и антиоксидантной активностью и определяющей их основную потребительскую ценность. Как следует из табл. 4, в период их хранения установлены неоднозначные изменения в содержании основных компонентов данного комплекса, обусловленные, по мнению В. В. Арасимовича [17], специфическим действием каждого из них на процессы окислительного фосфорилирования и дыхания. В данном случае наблюдалось обогащение плодов флавонолами, взаимодействующими со свободными радикалами, перекисями и металлами с образованием стабильных хелатов и тем самым задерживающими окисление катехинов и антоцианов, что должно было способствовать сохранению соединений. При этом наиболее выразительно это проявилось в эксперименте с плодами урожая 2023 г., что отмечалось выше и для других биохимических характеристик. Для сравнения покажем, что если в данном сезоне увеличение содержания флавонолов относительно исходного уровня составляло 7–36 %, то в 2025 г. оно не превышало 2–6 %. При этом темпы активизации биосинтеза флавонолов в значительной степени определялись генотипом опытных растений. Благодаря способности данных соединений к сдерживанию окислительных процессов в период хранения плодов жимолости наблюдалось заметное накопление в них восстановленных соединений, в частности катехинов, подтверждаемое увеличением их содержания относительно исходного уровня на 7–25 % в 2023 г. и 5–13 % в 2025 г.

В отличие от флавонолов и катехинов в трансформации антоцианового комплекса в процессе хранения плодов жимолости выявлено доминирование отрицательных тенденций на фоне заметных генотипических различий в их выразительности, что привело к снижению общего содержания антоциановых пигментов в эти годы на 6–14 и 5–12 % соответственно. Заметно, что такое снижение было обусловлено деструкцией обоих компонентов комплекса – антоцианов и лейкоантоцианов (см. табл. 4). Лишь в единичных случаях (в 2023 г. у сорта Zojka и в 2025 г. у сорта Aurora) в результате взаимопревращений данных соединений установлено существенное обогащение плодов лейкоантоцианами на фоне максимального в сортовом ряду истощения в них запасов собственно антоцианов. При этом столь заметные у данных таксонов жимолости различия темпов накопления указанных соединений в процессе хранения плодов почти не повлияли на изменение суммарного количества антоциановых пигментов.

Нетрудно убедиться, что степень трансформации Р-витаминного комплекса плодов жимолости в период хранения в значительной степени определялась не только химической природой его отдельных компонентов, но и генотипом опытных растений. Заметим, что, несмотря на весьма выразительные изменения в содержании основных групп биофлавоноидов, для их общего количества в большинстве случаев не выявлено существенных различий с его исходным уровнем. Тем не менее на завершающем этапе хранения плодов показано их обеднение полифенолами на 3–6 % в 2023 г. и 2–9 % – в 2025 г., наиболее значительное – в первом сезоне у сортов Ленинградский великан и Wojtek, а во втором – у сортов Indigo gem и Aurora (см. табл. 4).

Принимая во внимание многостороннее позитивное физиологическое действие данных соединений на организм человека, в том числе антиоксидантное, их деградацию в период хранения плодов следует рас-

смагивать как негативное явление. Что касается дубильных веществ (танинов), являющихся продуктами полимеризации и конденсации лейкоантоцианов и катехинов [13], то в годы исследований в изменении их содержания в период хранения плодов установлены прямо противоположные тенденции, состоявшие в снижении относительно исходного уровня на 19–34 % в первом сезоне и увеличении на 4–9 % – во втором.

Как видим, несмотря на сравнительно непродолжительный период хранения плодов жимолости при низких положительных температурах, ограниченный всего 8 сутками, происходила существенная трансформация их биохимического состава, в которой обозначились сходные у всех таксонов жимолости закономерности, в значительной степени дублировавшие таковые у растений сем. *Ericaceae* – голубики высокорослой и клюквы крупноплодной [14]. Они состояли в значительном обеднении ягодной продукции свободными органическими, аскорбиновой и гидроксикоричными кислотами, отчасти пектиновыми веществами, антоциановыми пигментами при снижении общего количества биофлавоноидов на фоне ее обогащения сухими веществами, катехинами, флавонолами, растворимыми сахарами при увеличении показателя сахарокислотного индекса и неоднозначных изменений в содержании дубильных веществ. Вместе с тем направленность и степень выразительности выявленных тенденций в значительной мере определялись генотипом растений и химической природой органических соединений.

С целью определения степени трансформации биохимического состава плодов жимолости в процессе хранения в обычной газовой среде при низких положительных температурах и выявления таксона с наименьшими потерями действующих веществ, а также установления сезона, обеспечившего наибольшую стабильность нутриентной ценности ягодной продукции по совокупности 14 показателей, был использован методический прием, основанный на сопоставлении у исследуемых объектов на завершающем этапе хранения плодов относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений от исходного уровня исследуемых характеристик [12]. По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений независимо от их знака можно судить о степени трансформации биохимического состава плодов в целом, тогда как величина соотношения относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий его характеристик с исходными показателями являлась оценочным критерием изменения интегрального уровня нутриентной ценности плодов тестируемых сортов за период хранения.

Представленные в табл. 5 данные, характеризовавшие направленность и степень выразительности сдвигов в биохимическом составе плодов опытных таксонов жимолости в процессе хранения, показали наличие заметных генотипических и межсезонных различий в направленности и величине вышеуказанных сдвигов, свидетельствовавших о существенной их зависимости от химической природы органических соединений, сортовой принадлежности растений и погодных условий вегетационного периода. Обращает на себя внимание, что на фоне преобладания отрицательных сдвигов в биохимическом составе плодов их относительные размеры, как и положительных в 2023 г., заметно превышали таковые в 2025 г., что, в свою очередь, обусловило весьма выразительные межсезонные различия амплитуды выявленных сдвигов, варьировавшейся в эти годы в сортовом ряду в диапазонах 194,1–388,2 и 112,9–194,1 % соответственно, при минимальных значениях в обоих случаях у сорта *Wojtek*, что указывало на наибольшую степень трансформации качественного состава его плодов в процессе хранения. При этом наибольшими его изменениями в первый год исследований характеризовались сорт *Indigo gem* и особенно сорт *Zojka*, тогда как во второй год – сорт *Auroga*. Напомним, что несмотря на неблагоприятный характер погодных условий периода созревания плодов в 2025 г. с пониженным температурным фоном и обилием осадков, было установлено его более выраженное позитивное влияние на биосинтез большинства действующих веществ по сравнению с аналогичным периодом 2023 г. На наш взгляд, данное обстоятельство могло оказать определенное влияние на темпы деструкции и взаимопревращений органических соединений в процессе хранения плодов, что подтверждалось столь выразительными межсезонными различиями амплитуды выявленных сдвигов. Заметим, что различия максимального и минимального значений этого показателя в 2025 г. заметно уступали таковым в 2023 г., что свидетельствовало об определенном ослаблении влияния генотипа растений на степень трансформации биохимического состава плодов в процессе хранения.

Вместе с тем независимо от погодных условий периода их формирования у всех таксонов жимолости наблюдалось снижение нутриентной ценности плодов по совокупности 14 биохимических характеристик, оцениваемое величиной кратного размера соотношения суммарных значений положительных и отрицательных сдвигов относительно исходного уровня, условно принятого за 1 (см. табл. 5). Исключением из общей закономерности в 2023 г. явился лишь сорт *Zojka*, у которого за период хранения выявлено не ухудшение, а наоборот, улучшение качества плодов в 1,2 раза, а в 2025 г. – районированный сорт Ленинградский великан, для которого показано отсутствие изменений данного параметра. На наш взгляд, это объясняется тем, что во время хранения плодов наряду с расходом ряда действующих веществ в качестве дыхательных субстратов, обусловившем снижение их содержания по сравнению с исходным уровнем, имело место также их накопление, связанное со взаимопревращениями ряда органических соединений, не охваченных настоящими исследованиями, в частности крахмала, целлюлозы, терпеноидов и др. Заметим, что с аналогичным явлением мы сталкивались ранее в подобных экспериментах с плодами голубики высокорослой [14].

**Таблица 5. Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий с исходным уровнем содержания органических соединений в плодах сортов *Lonicera caerulea* на завершающем этапе хранения в условиях обычной газовой среды при температуре +4 ± 1 °С**

Сорт	Относительные размеры сдвигов, %				
	Положительные	Отрицательные	Амплитуда	Положительные / отрицательные	Отрицательные / положительные
2023 г.					
Ленинградский великан	76,4	133,0	209,4	0,58	1,74
Aurora	89,3	128,3	217,6	0,70	1,44
Zojka	214,3	173,9	388,2	1,23	0,81
Wojtek	66,1	128,0	194,1	0,52	1,94
Indigo gem	156,7	189,3	346,0	0,83	1,21
Honey bee	95,6	123,9	219,5	0,77	1,30
2025 г.					
Ленинградский великан	58,2	58,0	116,2	1,00	1,00
Aurora	87,1	107,0	194,1	0,81	1,23
Zojka	23,3	91,7	115,0	0,25	3,94
Wojtek	53,1	59,8	112,9	0,89	1,13
Indigo gem	57,1	72,3	129,4	0,79	1,27
Honey bee	30,1	90,6	120,7	0,33	3,01

Сопоставление в сортовом ряду соотношения относительных размеров разноориентированных сдвигов в биохимическом составе плодов в процессе хранения, приведенных в табл. 5, выявило существенные генотипические и межсезонные различия в степени снижения их нутриентной ценности, в соответствии с которой опытные объекты были расположены в следующей последовательности: 2023 г. – Zojka > Indigo gem > Honey bee > Aurora > Ленинградский великан > Wojtek; 2025 г. – Ленинградский великан > Wojtek > Aurora > Indigo gem > Honey bee > Zojka.

Нетрудно убедиться в значительных межсезонных различиях приведенных рядов, обусловленных индивидуальными у каждого таксона жимолости темпами трансформации биохимического состава плодов в процессе хранения при низких положительных температурах в зависимости от гидротермического режима периода их формирования. При этом в 2025 г. наблюдалась перегруппировка сортов Zojka, Indigo gem и Honey bee, характеризовавшихся в 2023 г. наименьшим снижением нутриентной ценности плодов, в область с наиболее значительным ее снижением, и наоборот, для сортов Ленинградский великан и Wojtek показана противоположная закономерность при сохранении в оба сезона одной и той же позиции у сорта Aurora. На основе сравнения в сортовом ряду степени снижения питательных и витаминных свойств плодов на фоне контрастных погодных условий вегетационного периода для каждого таксона жимолости дана количественная оценка зависимости показателя от абиотических факторов, в порядке усиления которой построен следующий ряд тестируемых объектов:

Indigo gem = Aurora > Wojtek = Ленинградский великан > Honey bee > Zojka.  
1,05    1,16    1,71                    1,73                    2,33    4,92

Как видим, наименьшей, причем сходной зависимостью от гидротермического режима сезона характеризовался процесс трансформации биохимического состава плодов при хранении у сортов Indigo gem и Aurora, тогда как наибольшей – у сортов Honey bee и Zojka при промежуточном, сходном положении у сортов Wojtek и Ленинградский великан.

**Выводы.** В результате сравнительного исследования в южной агроклиматической зоне Беларуси на фоне контрастных погодных условий сезонов 2023 и 2025 г. биохимического состава плодов 5 новых интродуцируемых сортов жимолости синей – Aurora, Honey bee, Indigo gem, Wojtek, Zojka и районированного сорта Ленинградский великан, выбранного в качестве эталона сравнения, по содержанию ряда органических кислот, углеводов и фенольных соединений и степени его трансформации в процессе хранения в обычной газовой среде при низких положительных температурах установлена значительная зависимость данных показателей от гидротермического режима вегетационного периода. У всех или большинства таксонов жимолости прохладная и дождливая погода мая – июня 2025 г. способствовала обогащению плодов относительно более благоприятного по погодным условиям сезона 2023 г. органическими соединениями разной химической природы и повышению их нутриентной ценности по совокупности 14 биохимических характеристик (наименьший – у районированного сорта Ленинградский великан и наиболее значительный – у новых тестируемых таксонов, особенно у сортов Indigo gem и Zojka).

Несмотря на сравнительно непродолжительный период хранения плодов жимолости, ограниченный 8 сутками, установлена существенная трансформация их биохимического состава, в которой обозначились сходные у всех таксонов закономерности, состоявшие в значительном обеднении свободными органическими, аскорбиновой и гидроксикоричными кислотами, отчасти пектиновыми веществами, антиокси-

новыми пигментами при снижении общего количества биофлавоноидов, на фоне обогащения сухими веществами, катехинами, флавонолами, растворимыми сахарами и увеличении показателя сахарокислотного индекса, а также неоднозначных изменений в содержании дубильных веществ.

Показано, что направленность и степень выразительности выявленных тенденций в значительной мере определялись генотипом опытных растений и химической природой органических соединений. Установлено, что наименьшей, причем сходной зависимостью от гидротермического режима сезона характеризовался процесс трансформации биохимического состава плодов у сортов Indigo gem и Aurora, тогда как наибольшей – у сортов Honey bee и Zojka при промежуточном, сходном положении у сортов Wojtek и Ленинградский великан.

#### Список использованных источников

1. Влияние генотипа растений жимолости синей (*Lonicera edulis* Turcz. ex Freyn) и погодных условий вегетационного периода на лежкоспособность плодов при низкой положительной и комнатной температурах / Н. Б. Павловский, Ж. А. Рупасова, А. В. Ральцевич [и др.] // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2024. – № 2. – С. 153–161.
2. Влияние генотипа растений и абиотических факторов на изменчивость биохимических характеристик плодов голубики высокорослой при интродукции в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова, Н. Б. Павловский, К. А. Добрянская [и др.] // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2024. – № 3. – С. 39–47.
3. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги : ГОСТ 28561-90. – Введен 01.07.1991. – М. : Стандартинформ. – 11 с.
4. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, Н. П. Ярош [и др.] ; под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 430 с.
5. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники : дис. ... канд. фармацевт. наук : 15.00.02 / Марсов Николай Григорьевич ; Яросл. гос. мед. акад. – Пермь, 2006. – 200 с.
6. Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы : учеб. пособие / сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – 148 с.
7. Технохимический контроль консервного производства : учеб. для вузов по спец. «Технология консервирования» / А. Т. Марх, Т. Ф. Зыкина, В. Н. Голубев. – М. : Агропромиздат, 1989. – 303 с.
8. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея СССР. Вып. 1: Общие методы анализа. – М. : Медицина, 1987. – С. 286–287.
9. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // Journal of the Science of Food and Agriculture. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68.
10. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Труды 3-го Всесоюзного семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. С. 451–461.
11. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреева, Г. И. Калинкина, Н. Э. Коломиец [и др.] // Фармация. – 2013. – Т. 3, № 3. – С. 19–21.
12. Патент ВУ 17648, МПК А01Н 1/04 (2006.01), А01G 1/00 (2006.01). Способ ранжирования таксонов растения : № а 20101502 : заявлено 20.10.2010 : опубл. 30.10.2013 / Рупасова Ж. А., Леонтьев В. Н., Шутова А. Г., Спиридович Е. В., Решетников В. Н. ; заявитель : Центр ботан. сад НАН Беларуси. – 7 с.
13. Карabanов, И. А. Флавоноиды в мире растений / И. А. Карabanов. – Мн. : Ураджай, 1981. – 80 с.
14. Генотипические особенности трансформации биохимического состава плодов *Vaccinium corymbosum* L. в процессе хранения в обычной газовой среде при низких положительных температурах / Ж. А. Рупасова, С. Н. Авраменко, А. В. Ушакова [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2. – С. 34–41.
15. Грушева, Т. П. Изменение химического состава плодов колонновидных сортов яблони при хранении / Т. П. Грушева, И. Н. Остапчук // Плодоводство. – 2015. – Т. 27. – С. 286–293.
16. Арасимович, В. В. Обмен углеводов при созревании и хранении плодов яблони / В. В. Арасимович, Н. П. Пономарева. – Кишинев : Штиинца, 1976. – 106 с.
17. Арасимович, В. В. Биохимия созревания плодов / В. В. Арасимович // Физиология сельскохозяйственных растений. – 1998. – Т. 10. – С. 62–82.

Поступила 21.09.2025

А. И. Садковская

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: [annet.sadkovskaya@mail.ru](mailto:annet.sadkovskaya@mail.ru)**РЕСУРСНО-ЦЕНОТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БРУСНИКИ  
(VACCINIUM VITIS-IDAEE) В СОСНЯКАХ МШИСТЫХ (PINETUM PLEUROZIOSUM)  
ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ**

**Аннотация.** Приведены данные мониторинговых (2018–2022 гг.) исследований ресурсно-ценотических параметров (встречаемость, обилие, урожайность, высота) *Vaccinium vitis-idaea* L. (брусника) на возрастном градиенте древостоя сосняка мшистого (*Pinetum pleuroziosum*) на территории республиканского ландшафтного заказника «Гродненская пушча» (площадь 20,5 тыс. га; Августовское лесничество, Гродненская обл., Universal Transverse Mercator: 34UFE3). Ресурсоведческие изыскания проводили методом проективного покрытия. Встречаемость *V. vitis-idaea* в сосновых сообществах варьирует в пределах от 4 до 100 %, обилие – от  $1,00 \pm 0,00$  до  $12,45 \pm 1,08$  %, высота побегов – от  $5,89 \pm 0,32$  до  $10,39 \pm 0,42$  см, урожайность побегов (воздушно-сухое сырье) – от  $0,74 \pm 0,13$  до  $51,07 \pm 0,82$  г/м<sup>2</sup>. Устойчивые высокие значения ресурсно-ценотических параметров *V. vitis-idaea* отмечены в перестойных сосняках мшистых. По мере увеличения возраста древостоя и формирования стабильного живого напочвенного покрова лесного типа появляется линейная зависимость ресурсно-ценотических параметров *V. vitis-idaea* от увлажнения ( $r_s = 0,57–0,74$ ,  $p < 0,05$ ) и содержания азота в почве ( $r_s = 0,50–0,57$ ,  $p < 0,08$ ). Рекомендовано изымать *Cormi Vitis idaeae* в рентабельном объеме до проведения сплошной рубки или в 1–2-й год после проведения данного вида рубки главного пользования.

**Ключевые слова:** *Pinetum pleuroziosum*, естественное возобновление, возрастной ряд древостоя, сквозистость полога, *Vaccinium vitis-idaea*, брусника, проективное покрытие, урожайность побегов, *Cormi Vitis idaeae*

А. I. Sadkovskaya

Belarusian State University, Minsk, Belarus e-mail: [annet.sadkovskaya@mail.ru](mailto:annet.sadkovskaya@mail.ru)**RESOURCE AND COENOTIC PARAMETERS OF LINGONBERRY (VACCINIUM VITIS-IDAEE) IN PINE FORESTS  
WITH MOSSES (PINETUM PLEUROZIOSUM) OF NATURAL REGENERATIVE**

**Abstract.** The article presents data from monitoring studies (2018–2022) of resource-cenotic parameters (occurrence, abundance, yield, height) of *Vaccinium vitis-idaea* L. (lingonberry) on the age gradient of mossy pine (*Pinetum pleuroziosum*) stands in the Grodno Pushcha Republican Landscape Reserve (area of 20.5 thousand hectares; Avgustovskoye Forestry, Grodno Region, Universal Transverse Mercator: 34UFE3). Resource surveys were conducted using the projective coverage method. The occurrence of *V. vitis-idaea* in pine communities varies from 4 to 100 %, the abundance – from  $1.00 \pm 0.00$  to  $12.45 \pm 1.08$  %, the shoot height – from  $5.89 \pm 0.32$  to  $10.39 \pm 0.42$  cm, and the shoot yield of *V. vitis-idaea* (air-dry) – from  $0.74 \pm 0.13$  to  $51.07 \pm 0.82$  g/m<sup>2</sup>. High values of resource-cenotic parameters of *V. vitis-idaea* were noted in overmature pine forests with mosses. As the age of the standing forest and stable living ground cover of the forest type increases, a linear relationship is observed between the resource-cenotic parameters of *V. vitis-idaea* and moisture ( $r_s = 0.57–0.74$ ,  $p < 0.05$ ) and soil nitrogen content ( $r_s = 0.50–0.57$ ,  $p < 0.08$ ). It is recommended to remove *Cormi Vitis idaeae* in a profitable volume before felling or 1–2 years after this type of felling.

**Keywords:** *Pinetum pleuroziosum*, natural regeneration, stand age range, canopy transparency, *Vaccinium vitis-idaea*, lingonberry, projective cover, shoot yield, *Cormi Vitis idaeae*

Г. I. Садкоўская

Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: [annet.sadkovskaya@mail.ru](mailto:annet.sadkovskaya@mail.ru)**РЭСУРСНА-ЦЭНАТЫЧНЫЯ ПАРАМЕТРЫ БРУСНІЦ (VACCINIUM VITIS-IDAEE)  
У САСНЯКАХ ІМШЫСТЫХ (PINETUM PLEUROZIOSUM)  
НАТУРАЛЬНАГА ПАХОДЖАННЯ**

**Анотацыя.** Прыведзены даныя маніторынгавых (2018–2022 гг.) даследаванняў рэсурсна-цэнатычных параметраў (сустрэкальнасць, мноства, ураджайнасць, вышыня) *Vaccinium vitis-idaea* L. (брусніцы) на ўзроставым градыенце дрэвастою сасняку імшыстага (плошча 20,5 тыс. га; Аўгустоўскае лясніцтва, Гродзенская вобл., Universal Transverse Mercator: 34UFE3). Рэсурснаўчыныя пошукі праводзілі метадам праектыўнага пакрыцця. Сустрэкальнасць *V. vitis-idaea* ў сасновых супольнасцях вар'іруе ў межах ад 4 да 100 %, мноства – ад  $1,00 \pm 0,00$  да  $12,45 \pm 1,08$  %, вышыня парасткаў – ад  $5,89 \pm 0,32$  да  $10,39 \pm 0,42$  см, ураджайнасць парасткаў (паветрана-сухая сыравіна) – ад  $0,74 \pm 0,13$  да  $51,07 \pm 0,82$  г/м<sup>2</sup>. Устойлівыя высокія значэнні рэсурсна-цэнатычных параметраў *V. vitis-idaea* адзначаны ў перастойных сасняках імшыстых. Па меры павелічэння ўзросту дрэвастою і фарміравання стабільнага жывога надглебавага покрыва ляснога тыпу з'яўляецца лінейная залежнасць рэсурсна-цэнатычных параметраў *V. vitis-idaea* ад увільгатнення ( $r_s = 0,57–0,74$ ,  $p < 0,05$ ) і ўтрымання азоту ў глебе ( $r_s = 0,50–0,57$ ,  $p < 0,05$ ). Рэкамендавана нарыхтоўваць *Cormi Vitis idaeae* ў рэнтабельным аб'ёме да правядзення рубкі або ў 1–2-гі год пасля правядзення дадзенага тыпу рубкі галоўнага карыстання.

**Ключавыя словы:** *Pinetum pleuroziosum*, натуральнае аднаўленне, узроставы рад дрэвастою, разрэджанасць полага, *Vaccinium vitis-idaea*, брусніцы, праектыўнае пакрыццё, ураджайнасць парасткаў, *Cormi Vitis idaeae*

© Садковская А. И., 2026

**Введение.** Формация сосновых лесов (*Pineta*) является наиболее распространенной среди лесов на территории Республики Беларусь. Она занимает около половины (48,5 %) лесопокрытых площадей и встречается во всех геоботанических районах [1–4]. Преобладающими типами леса сосновой формации по суходолу во всех геоботанических подзонах страны являются сосняк мшистый (*Pinetum pleuroziosum*; 34,5 %), часто с содоминированием *Vaccinium vitis-idaea* (брусника) в травяно-кустарничковом ярусе, сосняк орляковый (*Pinetum pteridiosum*; 26,6 %) и сосняк черничный (*Pinetum vaccinosum*; 16,8 %) [2, 4, 5].

Общая площадь сосняков за последние 40 лет имеет тенденцию к снижению [4], вследствие чего необходимо более углубленно изучать эффективные и экономически выгодные способы лесовосстановления сосновой формации. Восстановление сосняков на основе использования различных способов естественного возобновления леса снижает затраты и позволяет формировать насаждения, более устойчивые к негативным природным и антропогенным воздействиям. Большинство работ, посвященных изучению естественного лесовосстановления сосновых сообществ, в частности сосняков мшистых, посвящены: фитоценозам, сформированным на послерубочном пространстве [4, 6–8], в постпирогенных условиях [9, 10]; возобновлению *Pinus sylvestris* под пологом леса [11, 12]; лесовосстановлению на старопашотных землях (постагрогенных) [13, 14], так как площади, передаваемые сельским хозяйством под лесохозяйственную деятельность, небольшие, но имеют тенденцию к росту.

В травяно-кустарничковом ярусе доминирующего в Беларуси типа сосновой формации – сосняке мшистом важным ценотическим компонентом и часто содоминантом является ценное дикорастущее ягодное и лекарственное растение – кустарничек *V. vitis-idaea* [5, 15–17]. Заготовка листьев *V. vitis-idaea*, по данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, составляет около 30 % (69 691 кг) от общего объема заготовки (закупки) отечественного дикорастущего лекарственного растительного сырья. Лекарственное сырье представлено побегами (*Cormi Vitis idaeae*) и листьями (*Vaccinii vitis-idaeae folia*) [17].

Ресурсоведческие исследования *V. vitis-idaea* соответствуют приоритетному направлению научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 гг. в области биологических, химико-фармацевтических и медицинских технологий (технологии управления лесными ресурсами и их производства) и могут стать основой для эффективного импортозамещения лекарственного сырья в Республике Беларусь.

Цель работы – выявить закономерности изменчивости ресурсно-ценотических параметров *V. vitis-idaea* пространственно-временного ряда сосняка мшистого естественного возобновления.

**Материалы и методы исследования.** Ресурсоведческие исследования проводили на территории республиканского ландшафтного заказника «Гродненская пуца» (площадь 20,5 тыс. га; Августовское лесничество Гродненского лесхоза, Гродненская обл., Universal Transverse Mercator: 34UFE<sub>3</sub>) во второй – третьей декадах августа 2018–2022 гг. Нами изучен 71 фитоценоз сосняка мшистого (*Pinetum pleuroziosum*) (тип лесорастительных условий А<sub>2</sub>) естественного происхождения I–VI классов возраста древостоя [18], из них 49 с произрастанием *V. vitis-idaea* и классом возраста древостоя от III до VI. В молодняках ( $n = 11$ ) и жердняках ( $n = 11$ ) за 5-летний мониторинговый период *V. vitis-idaea* не выявлена, что обусловлено формированием насаждений на постагрогенных землях.

В каждом из фитоценозов с *V. vitis-idaea* нами заложены постоянные пробные площади (400 м<sup>2</sup>) и проведены геоботанические описания [18] (табл. 1). В пределах пробных площадей изучали древостой (видовая принадлежность, высота, диаметр на уровне 1,3 м и плотность деревьев), подрост и подлесок (видовая принадлежность, высота и плотность). Для описания живого напочвенного покрова по диагонали каждой пробной площади закладывали 25 учетных площадок по 1 м<sup>2</sup>, на которых глазомерно определяли проективное покрытие всех видов растений, в том числе и лишайников. Общее число учетных площадок – 1 525.

Для ресурсоведческих изысканий по диагоналям пробных площадей закладывали 20 учетных площадок ( $\Sigma n = 1\ 020$ ) по 1 м<sup>2</sup>. На учетных площадках глазомерно определяли проективное покрытие *V. vitis-idaea*; в 5-кратной повторности измеряли высоту надземных побегов.

Таблица 1. Распределение геоботанических и ресурсоведческих описаний в изученных *Pinetum pleuroziosum* за 5 лет

Класс возраста древостоя	Год					Общее число описаний
	2018	2019	2020	2021	2022	
I (1–20 лет)	1 <sup>0</sup>	1 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	11 <sup>0</sup>
II (21–40 лет)	1 <sup>0</sup>	1 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	11 <sup>0</sup>
III (41–60 лет)	1	1	3	3	3	11
IV (61–80 лет)	1	1	3	3	3	11
V (81–100 лет)	1	3	3	3	3	13
VI (101–120 лет)	2	3	3	3	3	14
Всего	5+2 <sup>0</sup>	8+2 <sup>0</sup>	12+6 <sup>0</sup>	12+6 <sup>0</sup>	12+6 <sup>0</sup>	49+22 <sup>0</sup>

Примечание. <sup>0</sup> – пробные площади, в которых *V. vitis-idaea* не выявлена, проведены только геоботанические описания.

Урожайность ( $г/м^2$ ) побегов *V. vitis-idaea* определяли методом проективного покрытия [19]. В пределах каждой учетной площадки на участке площадью  $1 дм^2$ , максимально заполненном надземными побегами, срезали побеги *V. vitis-idaea*. Далее сырье сушили воздушно-теневым способом и определяли воздушно-сухую массу на лабораторных весах НТ-220 СЕ с погрешностью  $\pm 0,01$  г. Урожайность сырья с  $1 м^2$  рассчитывали как произведение проективного покрытия вида на учетной площадке ( $1 м^2$ ) на абсолютную «цену»  $1 \%$  покрытия (масса воздушно-сухого сырья побегов *V. vitis-idaea* с  $1 дм^2$ ). Высоту побегов *V. vitis-idaea* измеряли с точностью до  $0,1$  см. Массовая доля листьев на побеге (для Беларуси) составляет  $69 \%$  от массы побега [20].

Эксплуатационный запас (ЭЗ) и объем ежегодной заготовки (ОЕЗ) побегов *V. vitis-idaea* рассчитывали на  $1$  га для унификации и поиска максимальных значений ЭЗ и ОЕЗ. ЭЗ определяли путем вычитания двух ошибок средней арифметической ( $2 \cdot m$ ) от средней арифметической урожайности,  $г/м^2$  ( $M$ ) и умножая на  $1$  га с учетом встречаемости *V. vitis-idaea* на пробной площади ( $V$ ) [21]. Для перевода ЭЗ в килограммы полученное значение делили на  $1000$  г. ЭЗ рассчитывали по формуле:

$$ЭЗ = \frac{(M - 2m)10\,000m^2V}{1\,000\text{ г}}$$

ОЕЗ (кг/га  $1$  раз в  $5$  лет) рассчитывали, как отношение ЭЗ к  $6$  [21]. При необходимости запасы растительного сырья для заготовителей возможно оценить на реальных площадях выделов или/и кварталов (табл. 2,  $1$  столбец).

Экологические режимы фитоценозов (увлажнение, содержание азота в почве, кислотность и освещенность) рассчитывали по шкалам Г. Элленберга [22] на основе геоботанических описаний.

Для определения класса константности встречаемости использовали следующую градацию:  $1-20 \%$  – I класс,  $21-40 \%$  – II класс,  $41-60 \%$  – III класс,  $61-80 \%$  – IV класс,  $81-100 \%$  – V класс [23].

Анализ ценологических групп растений проводили по методике Н. Г. Улановой [24].

Сквозистость крон древостоя определяли глазомерным методом в пяти точках на пробной площади ( $4$  точки по углам и  $1$  точка в центре) и далее рассчитывали среднее арифметическое значение. Абсолютную освещенность определяли с помощью люксметра Ю-116 с погрешностью измерений  $\pm 10 \%$ . Для этого в пяти точках пробной площади ( $4$  точки по углам и  $1$  точка в центре) на высоте  $1,3$  м определяли освещенность с использованием фильтра  $\times 1000$ . Контрольные значения освещенности определяли в  $2$ -кратной повторности в самом освещенном (максимально открытом) месте и далее оценивали относительную освещенность в  $\%$ .

Проверку выборок на нормальность провели по тесту Шапиро–Уилка. По результатам проверки в  $93 \%$  ( $1\,168$  из  $1\,254$ ) выборок мы получили распределение, отличное от нормального, вследствие чего использовали непараметрические инструменты анализа: попарное сравнение – тест Манна–Уитни, сравнение  $3$  и более выборок – тест Краскела–Уоллиса [25, 26].

Вариабельность ресурсно-ценологических параметров *V. vitis-idaea* оценивали по коэффициенту вариации, который классифицировали следующим образом:  $< 10 \%$  – выборка слабо вариабельна,  $11-25 \%$  – средне вариабельна, при  $> 25 \%$  – выборка сильно вариабельна [26].

Статистическую обработку данных проводили в программах Statistica 10 (корреляционный анализ, тест Шапиро–Уилка, тест Манна–Уитни, тест Краскела–Уоллиса, регрессионный анализ) [26] и PAST 5.0.2 [27].

**Результаты и их обсуждение.** Многолетние исследования *V. vitis-idaea* в естественных сосняках мшистых III–VI классов возраста древостоя показали, что встречаемость вида колеблется от  $4$  до  $100 \%$  (табл. 2). Ярко выраженная внутриклассовая изменчивость встречаемости отмечена в средневозрастных сообществах – по мере повышения возраста древостоя ( $45, 47, 57$  лет) возрастает частота встречаемости *V. vitis-idaea* от  $4$  до  $88 \%$  (см. табл. 2). В более сформированных сосняках мшистых (приспевающие, спелые и перестойные) встречаемость выше, но размах ниже – *V. vitis-idaea* наблюдается преимущественно с частотой  $88-100 \%$  (V класс константности).

Высота облиственных побегов *V. vitis-idaea* колеблется в пределах от  $5,89 \pm 0,32$  до  $10,39 \pm 0,42$  см (см. табл. 2). Максимальные высоты побегов *V. vitis-idaea* характерны перестойным соснякам (от  $7,10 \pm 0,31$  до  $10,39 \pm 0,42$  см), в трех классах возраста древостоя высота побегов *V. vitis-idaea* ниже, что, вероятно, обусловлено более интенсивной лесохозяйственной деятельностью в более молодых сообществах [28]. Изученные ценопопуляции *V. vitis-idaea* по высоте являются неоднородными:  $C_v > 25 \%$ .

Высокие частоты ( $78 \%$ , рис. 1) достоверных различий внутри классов возраста по высоте побегов отмечены в средневозрастных сообществах, далее с увеличением возраста древостоя частота различий снижается и колеблется в пределах  $30-42 \%$ , что объясняется устойчивостью данного параметра к различного рода флуктуациям на более зрелых стадиях сосняков мшистых (приспевающие, спелые, перестойные).

Проективное покрытие ценопопуляций *V. vitis-idaea* в сосняках мшистых варьирует в пределах от  $1,00 \pm 0,00$  до  $12,45 \pm 1,08 \%/м^2$  (см. табл. 2). Стабильно относительно высокие значения проективного покрытия вида характерны перестойным сообществам за весь период исследований (около  $10 \%/м^2$ ), что, на наш взгляд, обусловлено сформированным живым напочвенным покровом лесного типа [29]: в живом напочвенном покрове, формирующим устойчивую фитосреду для *V. vitis-idaea*, доминирует лесная цено-

Таблица 2. Ресурсно-ценотические показатели *V. vitis-idaea* естественных Pinetum pleuroziosum

Класс возраста древостоя	Возраст древостоя, лет	Год	КВ; В; S, га	V, %	Проективное покрытие, %/1 м <sup>2</sup>		Высота, см*		Урожайность, г/м <sup>2</sup> **		ЭЗ, кг/га	ОЕЗ, (кг/га 1 раз в 5 лет)
					M ± m	C <sub>v</sub> , %	M ± m	C <sub>v</sub> , %	M ± m	C <sub>v</sub> , %		
III	45	2020	216;	4	6,70 ± 0,70	47,0	8,22 ± 0,33	43,4	11,22 ± 1,50	59,8	3,29	0,55
		2021	7;	4	4,10 ± 0,59	64,7	7,50 ± 0,33	47,8	7,16 ± 2,54	158,4	1,92	0,32
		2022	1,1	12	2,05 ± 0,17	31,4	6,42 ± 0,25	40,8	2,21 ± 0,41	83,5	1,66	0,28
	47	2020	216;	24	7,65 ± 1,45	85,0	8,93 ± 0,39	47,3	23,47 ± 6,85	130,6	23,43	3,91
		2021	9;	24	3,75 ± 0,24	28,5	9,27 ± 0,36	42,6	2,83 ± 0,40	63,4	11,18	1,86
		2022	0,8	12	1,25 ± 0,10	35,5	7,93 ± 0,38	46,2	0,74 ± 0,13	81,0	0,57	0,09
	57	2018		88	5,40 ± 0,50	41,8	6,70 ± 0,26	42,5	5,07 ± 0,72	63,6	3,20	0,53
		2019	85;	84	8,50 ± 0,83	43,4	7,71 ± 0,34	47,8	13,77 ± 1,83	59,5	84,90	14,15
		2020	3;	88	7,40 ± 0,73	44,1	5,98 ± 0,24	43,8	10,05 ± 2,08	63,3	51,76	8,63
2021		1,1	88	1,65 ± 0,15	40,7	4,90 ± 0,18	40,8	1,12 ± 0,19	74,5	15,16	2,53	
2022			88	1,95 ± 0,14	31,0	4,95 ± 0,17	37,4	1,88 ± 0,31	74,6	11,00	1,83	
IV	67	2018		84	2,75 ± 0,24	38,9	7,62 ± 0,34	49,5	2,03 ± 0,35	76,4	1,12	0,19
		2019	90;	88	5,15 ± 0,21	18,1	7,00 ± 0,29	46,1	5,61 ± 0,58	46,6	39,06	6,51
		2020	11;	76	3,85 ± 0,29	34,0	7,75 ± 0,32	44,9	5,08 ± 0,72	63,3	27,70	4,62
	72	2021	14,0	92	1,85 ± 0,23	56,2	7,90 ± 0,33	44,5	1,78 ± 0,39	97,7	21,19	3,53
		2022		92	1,95 ± 0,21	48,4	7,33 ± 0,26	37,6	2,01 ± 0,44	98,8	10,33	1,72
		2020	85;	100	12,25 ± 1,14	41,4	7,39 ± 0,35	51,3	30,56 ± 6,35	93,0	178,51	29,75
	78	2021	13;	100	7,05 ± 0,46	29,3	7,25 ± 0,27	41,2	12,97 ± 1,73	59,8	218,49	36,41
		2022	2,1	100	3,60 ± 0,28	34,2	6,33 ± 0,26	45,0	8,01 ± 1,68	91,2	46,57	7,76
		2020	76;	88	10,35 ± 0,99	42,8	7,51 ± 0,30	43,7	28,24 ± 4,36	69,0	171,82	28,64
V	82	2021	4;	100	4,70 ± 0,29	27,7	6,61 ± 0,27	45,5	7,92 ± 1,28	72,5	123,18	20,53
		2022	3,5	72	2,95 ± 0,17	25,7	6,50 ± 0,26	43,8	4,50 ± 0,54	53,3	34,24	5,71
		2019		100	9,40 ± 1,06	50,3	7,49 ± 0,36	52,7	22,96 ± 6,32	123,1	103,22	17,20
	87	2020	57;	100	8,95 ± 0,88	44,2	8,86 ± 0,42	51,8	30,00 ± 5,92	88,2	181,61	30,27
		2021	15;	96	9,00 ± 4,07	202,0	7,76 ± 0,34	48,4	51,07 ± 0,82	316,0	1 091,46	181,91
		2022	2,4	92	6,90 ± 2,24	145,4	7,81 ± 0,31	43,8	21,47 ± 9,77	203,6	17,66	2,94
88	2018		80	3,15 ± 0,37	52,8	5,98 ± 0,25	45,5	2,54 ± 0,56	99,1	11,35	1,89	
	2019	75;	96	5,35 ± 0,69	57,9	6,81 ± 0,32	50,6	6,17 ± 0,86	62,1	17,84	2,97	
	2020	7;	12	4,25 ± 0,28	29,4	6,57 ± 0,27	45,4	7,24 ± 0,72	44,3	6,97	1,16	
88	2021	4,5	92	3,85 ± 0,44	50,8	7,57 ± 0,31	43,6	4,69 ± 0,89	85,1	61,41	10,24	
	2022		80	2,40 ± 0,11	20,9	5,89 ± 0,32	58,9	1,96 ± 0,18	40,1	12,87	2,14	
	2019	67;	96	5,00 ± 0,34	30,4	7,05 ± 0,28	43,9	9,69 ± 2,20	99,1	50,87	8,48	
88	2020	8;	88	7,60 ± 0,82	48,0	8,51 ± 0,36	46,8	10,12 ± 1,55	68,6	61,70	10,28	
	2021	5,9	24	1,90 ± 0,07	16,2	7,47 ± 0,30	44,0	1,25 ± 0,14	49,1	5,37	0,90	
		2022		20	1,00 ± 0,00	0,0	6,45 ± 0,24	35,3	0,92 ± 0,14	70,2	1,26	0,21

Окончание табл. 2

Класс возраста Древостоя	Возраст древостоя, лет	Год	КВ; В; S, га	V, %	Проекттивное покрытие, %/1 м <sup>2</sup>		Высота, см*		Урожайность, г/м <sup>2</sup> **		ЭЗ, кг/га	ОЕЗ (кг/га 1 раз в 5 лет)	
					M ± m	C <sub>v</sub> , %	M ± m	C <sub>v</sub> , %	M ± m	C <sub>v</sub> , %			
VI	107	2019	197; 4; 1,2	100	10,16 ± 1,73	74,3	7,72 ± 0,35	48,6	21,29 ± 7,48	153,1	63,34	10,56	
		2020		100	12,50 ± 3,15	112,6	9,01 ± 0,40	48,8	47,03 ± 19,72	187,5	75,90	12,65	
		2021		100	11,60 ± 1,42	54,9	8,55 ± 0,35	0,34	37,49 ± 10,72	127,9	369,29	61,55	
		2022		100	9,70 ± 2,04	93,8	8,33 ± 0,34	45,1	34,57 ± 10,70	138,4	131,68	21,95	
	112	2018	85; 5; 1,8	44	8,80 ± 0,84	42,6	7,14 ± 0,30	46,4	14,25 ± 3,02	94,9	3,61	0,60	0,60
		2019		96	11,95 ± 1,27	47,5	7,86 ± 0,39	54,2	26,45 ± 4,17	70,6	173,79	28,96	28,96
		2020		92	12,45 ± 1,08	38,8	7,79 ± 0,36	50,6	34,51 ± 4,49	58,1	234,92	39,15	39,15
		2021		100	10,20 ± 0,54	23,7	8,52 ± 0,34	43,5	18,87 ± 1,95	46,3	344,17	57,36	57,36
	112	2022	84; 17; 4,5	100	3,40 ± 0,33	43,1	7,10 ± 0,31	47,7	7,50 ± 1,24	74,0	50,15	8,36	8,36
		2018		100	5,90 ± 0,74	56,3	9,98 ± 0,44	48,0	7,55 ± 1,98	117,5	3,58	0,60	0,60
		2019		100	9,65 ± 0,74	34,5	7,67 ± 0,36	51,2	15,58 ± 1,58	45,5	124,14	20,69	20,69
		2020		100	5,55 ± 0,76	60,9	10,39 ± 0,42	43,8	16,20 ± 5,48	151,3	52,40	8,73	8,73
	2021		96	4,20 ± 0,49	52,2	9,35 ± 0,36	42,0	6,30 ± 1,20	84,9	86,23	14,37	14,37	
	2022		100	5,15 ± 0,39	33,5	8,08 ± 0,38	50,9	13,25 ± 2,73	92,1	77,93	12,99	12,99	

Примечание. КВ; В – квартал; выдел; S – площадь выдела; V – встречаемость на пробной площади; \*\* – воздушно-сухие *Coryli Vitis idaeae*; \* – среднее значение высоты из учетных площадок 1 дм<sup>2</sup> (n = 1), 9 дм<sup>2</sup> (n = 3), 1 м<sup>2</sup> (n = 2); ЭЗ – эксплуатационный запас; ОЕЗ – объем ежегодной заготовки; M ± m – среднее значение параметра ± ошибка среднего значения; C<sub>v</sub> – коэффициент вариабельности.

тическая группа – от 81 до 92 %. Перестойным сообществам также характерны более низкие частоты достоверных различий обилия *V. vitis-idaea* внутри классов возраста (40,0 %) и разногодичной изменчивости (53,8 %) (см. рис. 1) по сравнению с другими естественными насаждениями (см. табл. 2).

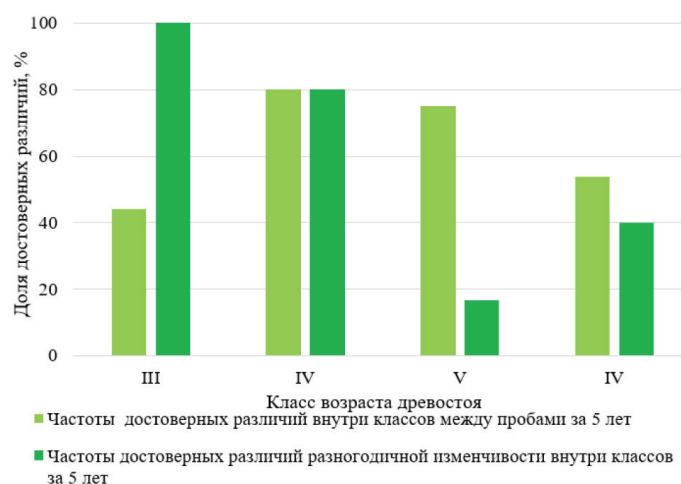


Рис. 1. Частоты достоверных различий проективного покрытия *Vaccinium vitis-idaea* в естественных сосняках мшистых (*Pinetum pleuroziosum*)

Наиболее низкие значения обилия *V. vitis-idaea* за весь период исследований характерны средневозрастным сообществам (от  $1,25 \pm 0,10$  до  $8,50 \pm 0,83$   $\text{г}/\text{м}^2$ ), что, на наш взгляд, обусловлено мозаичным распределением сунузий с участием *V. vitis-idaea* в фитоценозах. Данную тенденцию также подтверждают высокие частоты достоверных различий (100 %) разногодичной (за 3 года и 5 лет исследований) изменчивости обилия в средневозрастных сосняках (см. рис. 1), которые свидетельствуют о значительных флуктуациях ценопопуляций.

Коэффициент вариабельности обилия *V. vitis-idaea* во всех классах возраста за весь период исследований  $> 25$  %, что говорит о неоднородном распределении особей *V. vitis-idaea* по проективному покрытию в ценопопуляциях.

Урожайность побегов (воздушно-сухое сырье) *V. vitis-idaea* (*Cormi Vitis idaeae*) ( $51,07 \pm 0,82$   $\text{г}/\text{м}^2$ ) наиболее высокая в спелых сосняках мшистых в возрасте 82 лет. Высокие значения урожайности также отмечены в перестойных сообществах (от  $6,30 \pm 1,20$  до  $34,57 \pm 10,70$   $\text{г}/\text{м}^2$ ) за пять лет исследований, что, на наш взгляд, связано с формированием устойчивого живого напочвенного покрова лесного типа (см. табл. 2) при условии отсутствия интенсивной лесохозяйственной деятельности.

Относительно невысокие значения урожайности *Cormi Vitis idaeae* характерны средневозрастным (от  $0,74 \pm 0,13$  до  $13,77 \pm 1,83$   $\text{г}/\text{м}^2$ ), частично приспевающим в возрасте 67 лет (от  $1,78 \pm 0,39$  до  $5,61 \pm 0,58$   $\text{г}/\text{м}^2$ ) и спелым сообществам в возрасте 87 лет (от  $0,92 \pm 0,14$  до  $10,12 \pm 1,55$   $\text{г}/\text{м}^2$ ). Урожайность *Cormi Vitis idaeae* за период исследований находилась в диапазоне от  $0,74 \pm 0,13$  до  $51,07 \pm 0,82$   $\text{г}/\text{м}^2$ . Максимальные объемы ежегодной заготовки *Cormi Vitis idaeae* выявлены в перестойных сосняках мшистых с возрастом древостоя от 101 года до 120 лет ( $0,60$ – $57,36$   $\text{кг}/\text{га}$  1 раз в 5 лет) (см. табл. 2) [30].

Непосредственно до рубки или в 1–2-й год после проведения сплошной рубки главного пользования рекомендуется изымать растительное сырье *Cormi Vitis idaeae* в полном объеме, так как после проведения интенсивных лесохозяйственных мероприятий происходит резкая смена светового режима, сопровождающаяся увеличением солнечной инсоляции, которая приводит к выгоранию побегов *V. vitis-idaea* и, следовательно, резкому снижению урожайности *Cormi Vitis idaeae* [31–33].

Высокие частоты (69–90 %) достоверных различий разногодичной изменчивости урожайности *Cormi Vitis idaeae* отмечены в приспевающих, спелых и перестойных сообществах (рис. 2). Средневозрастным соснякам характерны меньшие частоты различий (44 %), что, на наш взгляд, обусловлено невысокой встречаемостью *V. vitis-idaea* в начале формирования ценопопуляций данного вида в сукцессионном ряду сосняка мшистого.

Нами выявлена сильная достоверная положительная связь урожайности и проективного покрытия *V. vitis-idaea* ( $r_s = 0,94$ ,  $p < 0,05$ , рис. 3) на возрастном градиенте древостоя естественных сосняков мшистых и положительная согласованная изменчивость между урожайностью и высотой *V. vitis-idaea* ( $r_s = 0,46$ ,  $p < 0,05$ ), а также между обилием и высотой побегов *V. vitis-idaea* ( $r_s = 0,41$ ,  $p < 0,05$ ).

Положительная достоверная связь между урожайностью и обилием *V. vitis-idaea* отмечена многими исследователями [20, 34–37]. Регрессионные уравнения не показали устойчивых линейных связей ( $p > 0,05$ ) между урожайностью и проективным покрытием *V. vitis-idaea* в изученных классах возраста древостоя, за исключением IV класса: урожайность (воздушно-сухое сырье),  $\text{г}/\text{м}^2 = -7,9058 + 3,3651 \cdot$  проективное покрытие,  $\text{г}/\text{м}^2$  ( $r^2 = 0,80$ ;  $r = 0,89$ ;  $p < 0,05$ ).

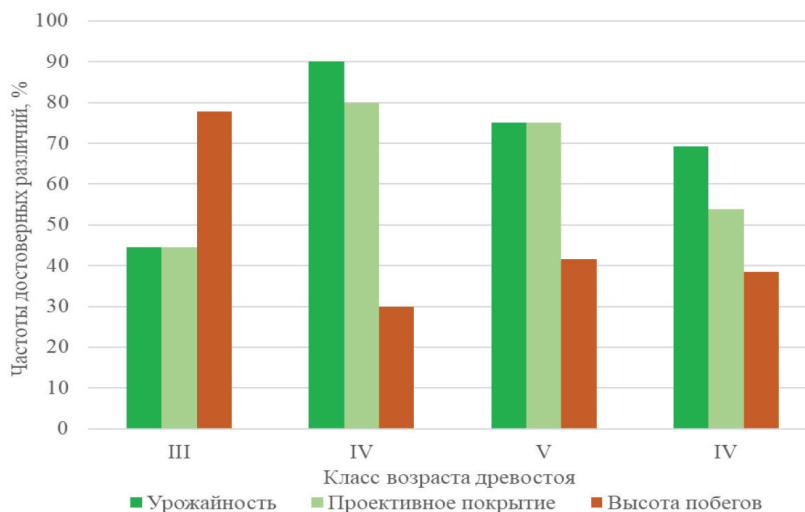


Рис. 2. Частоты достоверных различий разногодичной изменчивости внутри классов возраста дровостоя между пробами за 5 лет

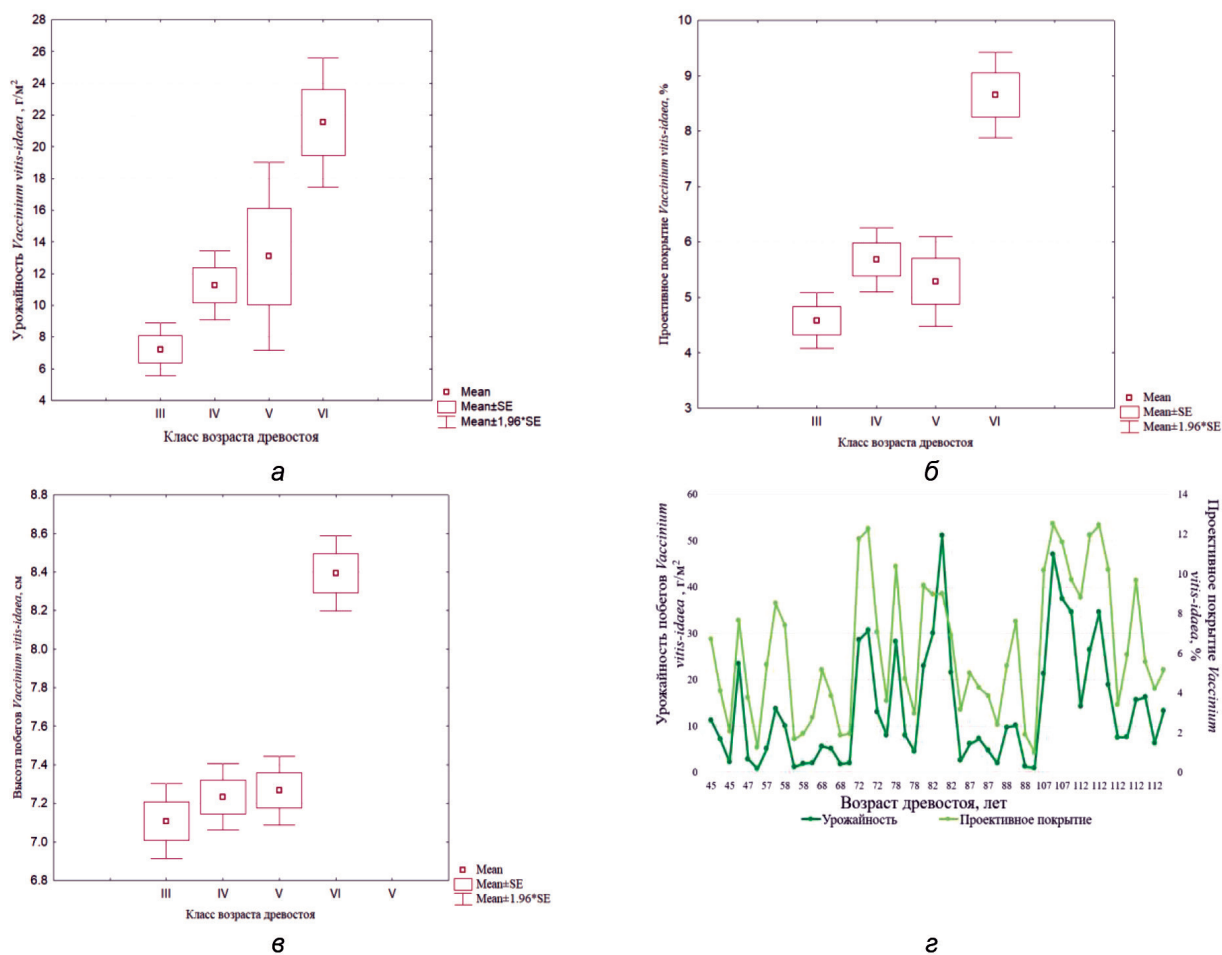


Рис. 3. Изменчивость урожайности (а), проективного покрытия (б), высоты (в) побегов *V. vitis-idaea* по классам возраста дровостоя и согласованная изменчивость урожайности и обилия *V. vitis-idaea* (г) на возрастном градиенте естественных *Pinetum pleuroziosum* (Mean – среднее арифметическое, SE – ошибка среднего арифметического, Mean 1,96 · SE – 95 % доверительного интервала для среднего значения)

Нами отмечена средняя ( $r_s = 0,57-0,69, p < 0,05$ ) и сильная ( $r_s = 0,70-0,74, p < 0,05$ ) положительная достоверная корреляционная связь ресурсно-ценотических характеристик *V. vitis-idaea* и увлажнения почв (по Г. Элленбергу [22]) в приспевающих, спелых и перестойных сосняках мшистых (рис. 4), что связано, по данным ряда исследователей, с высокой конкуренцией за водные ресурсы в более зрелых сосняках мшистых, в которых сформирован более мощный слой высоко влагоемкой подстилки [34, 38]. Повышенная влагоемкость подстилки обусловлена сформированным плотным моховым ярусом в данных биотопах. Высота мохового покрова в IV–VI классах возраста древостоя составляет 5,61–6,73 см, а в I и II классах возраста – 1,49 и 1,85 см соответственно. Моховой ярус представлен двумя доминантами *Pleurozium schreberi* (проективное покрытие – 19–66 %; V класс константности встречаемости) и *Hylocomium splendens* (проективное покрытие – 17–55 %; V класс константности встречаемости), которые относятся к группе мохообразных с ветвистым сплетением [39], что способствует удержанию влаги.

Достоверная положительная корреляционная связь отмечена между высотой побегов *V. vitis-idaea* и содержанием азота в почве ( $r_s = 0,50-0,57, p < 0,08$ ) в приспевающих и перестойных сосняках, что обусловлено снижением концентрации азота в почве по мере увеличения возраста древостоя [40]. Выявлена сильная положительная изменчивость между урожайностью, обилием *V. vitis-idaea* и кислотностью почв ( $r_s = 0,84, p < 0,05$ ).

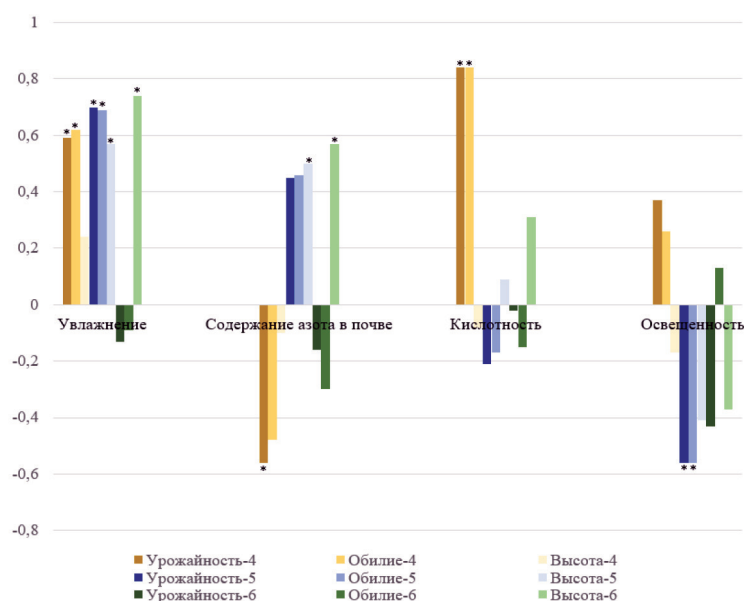


Рис. 4. Корреляции ресурсно-ценотических параметров и факторов (цифра после слов указывает класс возраста древостоя; \* – указана достоверная корреляция ( $p < 0,08$ ))

**Заключение.** Урожайность *Cormi Vitis idaeae* возрастного ряда сосняка мшистого варьирует от  $0,74 \pm 0,13$  до  $51,07 \pm 0,82 \text{ г/м}^2$ . Устойчивый относительный максимум плотности запаса лекарственного растительного сырья *V. vitis-idaea* характерен перестойным сообществам (VI класс возраста при высоких значениях обилия (от  $3,40 \pm 0,33$  до  $12,50 \pm 3,15 \text{ %/м}^2$ ) и высоты (от  $7,10 \pm 0,31$  до  $10,39 \pm 0,42$  см) побегов *V. vitis-idaea*. Установлена линейная зависимость между ресурсно-ценотическими параметрами *V. vitis-idaea*: сильная – между урожайностью и проективным покрытием ( $r_s = 0,94, p < 0,05$ ) и средняя – между урожайностью и высотой побегов ( $r_s = 0,46, p < 0,05$ ) и проективным покрытием и высотой побегов ( $r_s = 0,41, p < 0,05$ ). Устойчивая связь через регрессионные уравнения между урожайностью и проективным покрытием *V. vitis-idaea* отмечена только в IV классе возраста древостоя: урожайность (воздушно-сухое сырье),  $\text{г/м}^2 = -7,9058 + 3,3651 \cdot \text{проективное покрытие, \% / м}^2$  ( $r^2 = 0,80; r = 0,89; p < 0,05$ ). Данную модель рекомендуем использовать для экстраполяции и прогнозной оценки лекарственного растительного сырья (побеги) *V. vitis-idaea* в приспевающих сосняках мшистых Гродненской пуши.

На возрастном градиенте сосняка мшистого отмечена линейная связь ресурсно-ценотических параметров *V. vitis-idaea* от увлажнения ( $r_s = 0,57-0,74, p < 0,05$ ) и содержания азота в почве ( $r_s = 0,50-0,57, p < 0,08$ ).

В связи с выгоранием *V. vitis-idaea* после проведения сплошных рубок рекомендуется изымать растительное сырье *Cormi Vitis idaeae* в рентабельном объеме до проведения рубки или в 1–2-й год после проведения данного вида рубки главного пользования.

**Благодарности.** Автор благодарна доктору биологических наук заведующему кафедрой системной биологии Гродненского государственного университета им. Янки Купалы О. В. Созинову за руководство исследовательской работой, а также за ценные советы и конструктивные замечания, которые значительно улучшили качество работы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2024. – Мн. : Белгослес, 2019. – 87 с.
2. Юркевич, И. Д. Сосновые леса Белоруссии: типы, ассоциации, продуктивность / И. Д. Юркевич, Н. Ф. Ловчий. – Мн. : Наука и техника, 1984. – 176 с.
3. Ловчий, Н. Ф. Экологический анализ структуры и продуктивности сосновых лесов Беларуси / Н. Ф. Ловчий. – Мн. : Бел. наука, 1999. – 263 с.
4. Лабоха, К. В. Современное состояние сосновых лесов Беларуси / К. В. Лабоха, А. О. Луферов, А. Н. Карась // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – Мн. : БГТУ, 2020. – № 1. – С. 28–38.
5. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Правила выделения типов леса = Устойлівае лесакараванне і лесакарыстанне. Правілы выдзялення тыпаў лесу : ТКП 587-2016 (33090). – Введ. 26.09.16. – Мн., 2016. – 48 с.
6. Юркевич, И. Д. Совершенствование рубок в связи с типами и естественным возобновлением леса / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод. – Мн. : Наука и техника, 1968. – 116 с.
7. Пугачевский, А. В. Оценка лесовосстановительных процессов на вырубках сосновых фитоценозов Белорусского Полесья / А. В. Пугачевский, В. А. Серенкова // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 83–86.
8. Рожков, Л. Н. Анализ перспективы несплошных рубок и естественного воспроизводства леса в Беларуси / Л. Н. Рожков, И. Ф. Ерошкина // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 91–94.
9. Усеня, В. В. Естественное возобновление на гарях насаждений основных лесобразующих пород Беларуси / В. В. Усеня, Н. В. Гордей, Е. В. Чурило // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т леса. – Гомель : Ин-т леса НАН Беларуси. – 2010. – Вып. 70. – С. 322–329.
10. Гордей, Н. В. Исследование постпирогенных лесовосстановительных процессов в сосновых насаждениях / Н. В. Гордей, Е. А. Тегленков // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 54–57.
11. Санников, С. Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса / С. Н. Санников, Н. С. Санникова. – М. : Наука, 1985. – 152 с.
12. Серенкова, В. А. Оценка предварительного и последующего естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Белорусского Полесья / В. А. Серенкова, А. М. Потапенко // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 70–73.
13. Вараксин, Г. С. Заращение древесной растительностью земель сельскохозяйственного назначения / Г. С. Вараксин, А. А. Вайс, Е. М. Байкалов // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 5. – С. 201–205.
14. Созинов О. В. Динамика эколого-фитоценологических характеристик в столетних сосняках, сформировавшихся на лесных и пахотных землях / О. В. Созинов, М. В. Ермохин, А. Ю. Комар [и др.] // Ботаника (исследования). – 2024. – Вып. 54. – С. 226–240.
15. Елин, Е. Я. Атлас растений-индикаторов лесов Украины / Е. Я. Елин, Г. И. Мещериков. – Киев : Урожай, 1973. – 288 с.
16. Морозов, О. В. Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) сосновых лесов Беларуси / О. В. Морозов ; под ред. Ж. А. Рупасовой. – Мн. : Право и экономика, 2006. – 114 с.
17. Государственная фармакопея Республики Беларусь. Общие и частные фармакопейные статьи. Разработана на основе Европейской фармакопеи / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, РУП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении». – Т. II. – Мн. : Минздрав Беларуси, 2007. – 471 с.
18. Ипатов, В. С. Описание фитоценоза : метод. рекомендации / В. С. Ипатов, Д. М. Мирин. – СПб., 2008. – 71 с.
19. Буданцев, А. Л. Ресурсоведение лекарственных растений : метод. пособие к произв. практике для студентов фармацевт. фак. / А. Л. Буданцев, Н. П. Харитоновна. – СПб. : СПбХФА, 1999. – 86 с.
20. Сысой, И. П. Продуктивность и устойчивость лекарственных растений природной флоры северной части Беларуси (на примере популяции модельных видов) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.01 / Сысой Ирина Петровна ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн., 2019. – 31 с.
21. Ботаническое ресурсоведение: классификация и оценка запасов полезных растений : учеб.-метод. пособие / А. А. Егоров, О. В. Созинов, Г. Н. Бузуг [и др.] ; под общ. ред. А. Л. Буданцева. – СПб. : Изд-во С. Петерб. ун-та, 2023. – 100 с.
22. Ellenberg, H. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas / H. Ellenberg. – Göttingen, 1991. – 282 s.
23. Беляева, Н. В. Обилие и константность как показатели участия вида в сложении растительной ассоциации / Н. В. Беляева, О. И. Григорьева, М. М. Гуталь // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2009. – № 22. – С. 68–75.
24. Уланова, Н. Г. Эколого-ценотический анализ растительных сообществ : учеб. пособие / Н. Г. Уланова, П. Ю. Жмылев. – М. : МАКС Пресс, 2014. – 80 с.
25. Унгурияну, Т. Н. Сравнение трех и более независимых групп с использованием непараметрического критерия Краскела–Уоллиса в программе STATA / Т. Н. Унгурияну, А. М. Гржибовский // Экология человека. – 2014. – Т. 6. – С. 55–58.
26. Сушко, Г. Г. Биометрия : учеб. пособие / Г. Г. Сушко. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2023. – 110 с.
27. Hammer, O. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis / O. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // Palaeontologia Electronica. – 2001. – № 4 (1). – art. 4A.
28. Правила рубок леса в Республике Беларусь : ТКП 143-2008(02080). – Введ. 01.01.2009. – Мн. : Минлесхоз Респ. Беларусь, 2013. – IV, 94 с.
29. Садковская, А. И. Изменчивость видового состава разновозрастных сосняков мшистых / А. И. Садковская, О. В. Созинов // Современная наука о растительности : тез. докл. Всерос. конф., посвящ. 90-летию каф. геоботаники биол. фак. МГУ, Москва – Звенигородская биостанция МГУ, 10–13 (14) окт. 2019 г. – М. : МГУ, 2019. – С. 54–56.
30. Садковская, А. И. Урожайность *Corni vitis-idaea* в динамическом ряду естественных *Pinetum pleuroziosum* заказника «Гродненская пуца» / А. И. Садковская, О. В. Созинов // Современные проблемы экологии и наук о Земле : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Гомель, 20 сент. 2024 г.) / Мин-во образования Респ.

Беларусь, Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: О. В. Ковалёва (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2024. – С. 371–374. – 1 CD-ROM/

31. Обыдёнников, В. И. Проблема сохранения, возобновления и повышения продуктивности ценопопуляций ягодников в связи с лесоводственными системами / В. И. Обыдёнников, И. Л. Ключников // Лесной вестник. – 1998. – Т. 3. – С. 89–98.

32. Курилович, Т. В. Брусника: культивирование как альтернатива заготовкам сырья в естественных местообитаниях / Т. В. Курилович // Лекарственное растениеводство: от опыта прошлого к современным технологиям : материалы Четвертой Междунар. науч.-практ. интернет-конф. – Полтава, 2015. – С. 118–122.

33. Садковская, А. И. Изменчивость ресурсно-ценотических параметров *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) на возрастном градиенте культур сосняка мшистого (*Pinetum pleuroziosum*) / А. И. Садковская, О. В. Созинов // Растительные ресурсы. – 2025. – Т. 61, № 2. – С. 67–82.

34. Романов, В. С. Экологические и фитоценотические аспекты формирования черничных и брусничных ассоциаций / В. С. Романов, О. В. Морозов // Лесоведение и лесное хозяйство. – 1984. – Вып. 19. – С. 8–13.

35. Пааль, Т. В. Структура ценопопуляций брусники *Vaccinium vitis-idaea* L. / Т. В. Пааль, Я. Л. Пааль ; АН ЭССР, Ин-т зоологии и ботаники, Ин-т лесн. хоз-ва и охраны природы. – Таллинн : Валгус, 1989. – 211 с.

36. Созинов, О. В. Ресурсная характеристика ценопопуляций *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) в Гродненской области (Республика Беларусь) / О. В. Созинов // Растительные ресурсы. – 2014. – Т. 50, № 3. – С. 337–346.

37. Кузьмичева, Н. А. Линейные и нелинейные связи урожайности и проективного покрытия лекарственных растений / Н. А. Кузьмичева, Г. Н. Бузук, Е. В. Ломако // Вестник фармации. – 2015. – № 1(67). – С. 24–28.

38. Петелько, А. И. Влияние леса на водный режим почв / А. И. Петелько, Н. Е. Новиков // Научные ведомости. Серия Естественные науки. – 2018. – Т. 42, № 3. – С. 326–331.

39. Сакович, А. А. Биоэкологическая база данных мохообразных Беларуси / А. А. Сакович, Г. Ф. Рыковский // Актуальные проблемы экологии : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 1–3 окт. 2014) : в 2 ч. / Гродн. гос. ун-т им. Я. Купалы ; редкол.: В. Н. Бурдь (гл. ред.) [и др.]. – Гродно, 2014. – Ч. 1. – С. 39–40.

40. Влияние типа землепользования на свойства почв и структуру экосистемных запасов углерода в среднетаежной подзоне Карелии / И. А. Дубровина, Е. В. Мошкина, В. А. Сидорова [и др.] // Почвоведение. – 2021. – № 11. – С. 1392–1406.

Поступила 20.10.2025

М. С. Ямбуров<sup>1</sup>, С. Лю<sup>1</sup>, Е. В. Кондратов<sup>2</sup>, Х. Н. Цегалко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский ботанический сад Томского государственного университета,  
Томск, Россия, e-mail: yamburov@mail.ru

<sup>2</sup>Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси,  
Минск, Беларусь, e-mail: kondratov.20144@mail.ru

### АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОИ «ВЕДЬМИНОЙ МЕТЛЫ» СОСНЫ ВЕЙМУТОВОЙ (*PINUS STROBUS* L.) МУТАЦИОННОГО ТИПА И ЕЕ ВЕГЕТАТИВНОГО ПОТОМСТВА

**Аннотация.** Приводятся результаты сравнительного исследования анатомо-морфологических показателей хвои «ведьминой метлы» сосны веймутовой (*Pinus strobus* L.) и ее вегетативного потомства. В качестве контроля использовалась хвоя нормальной части кроны. Показано, что длина, площадь поверхности, объем, сухая масса, площадь флоэмы и площадь смоляного канала у «ведьминой метлы» ниже нормы. При этом ширина, толщина эпидермы, число клеток эндодермы, число смоляных каналов и площадь смоляной ткани выше нормы. У вегетативного потомства происходит еще большее снижение показателей большинства признаков, при этом установлены стабильные (соотношение ширины и толщины) и увеличивающиеся (толщина покровных тканей) характеристики по отношению к норме.

**Ключевые слова:** анатомия хвои, *Pinus strobus*, «ведьмины метлы», спонтанные соматические мутации

M. S. Yamburov<sup>1</sup>, S. Liu<sup>1</sup>, Y. V. Kondratov<sup>2</sup>, K. N. Tsehalka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siberian Botanical Garden of Tomsk State University,  
Tomsk, Russian Federation, e-mail: yamburov@mail.ru

<sup>2</sup>The Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus, e-mail: kondratov.20144@mail.ru

### ANATOMICAL AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF NEEDLES OF MUTATIONAL WITCH'S BROOM IN WEYMOUTH PINE (*PINUS STROBUS* L.) AND ITS VEGETATIVE PROGENY

**Abstract.** This study presents the results of a comparative analysis of the anatomical and morphological characteristics of the needles of the "witch's broom" on Weymouth pine (*Pinus strobus* L.) and its vegetative progeny. Needles from the normal part of the crown were used as a control. It is shown that the length, surface area, volume, dry mass, phloem area, and resin canal area in witches' brooms are below normal. At this width, the epidermal strength, endoderm cell count, resin canal count, and resin-bearing tissue area are above normal. In the vegetative progeny, there is an even greater reduction in the key characteristics, with stable (width-to-thickness ratio) and increasing (integumentary tissue thickness) values established in relation to normal.

**Keywords:** needle anatomy, *Pinus strobus*, witches' brooms, spontaneous somatic mutations

М. С. Ямбураў<sup>1</sup>, С. Лю<sup>1</sup>, Я. В. Кандратаў<sup>2</sup>, Х. М. Цэгалка<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сібірскі батанічны сад Томскага дзяржаўнага ўніверсітэта,  
Томск, Расія, e-mail: yamburov@mail.ru

<sup>2</sup>Цэнтральны батанічны сад Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,  
Мінск, Беларусь, e-mail: kondratov.20144@mail.ru

### АНАТАМА-МАРФАЛАГІЧНЫЯ АСАБЛІВАСЦІ ІГЛІЦЫ «ВЕДЗЬМІНАЙ МЯТЛЫ» САСНЫ ВЕЙМУТАВАЙ (*PINUS STROBUS* L.) МУТАЦЫЙНАГА ТЫПУ І ЯЕ ВЕГЕТАТЫЎНАГА ПАТОМСТВА

**Анатацыя.** Прыводзяцца вынікі параўнальнага даследавання анатама-марфалагічных паказчыкаў ігліцы «ведзьмінай мятлы» сасны веймутавай (*Pinus strobus* L.) і яе вегетатыўнага патомства. У якасці кантролю выкарыстоўвалася ігліца звычайнай часткі кроны. Паказана, што даўжыня, плошча паверхні, аб'ём, сухая маса, плошча флаэмы і плошча смаланага канала ў «ведзьмінай мятлы» ніжэй за норму. Пры гэтым шырыня, таўшчыня эпідэрмы, колькасць клетак эндодэрмы, колькасць смаляных каналаў і плошча смаланоснай тканкі вышэй за норму. У вегетатыўнага патомства адбываецца яшчэ большае зніжэнне паказчыкаў большасці прыкмет, пры гэтым устаноўлены не толькі стабільныя (суадносіны шырыні і таўшчыні) параметры, але і якія павялічваюцца (таўшчыня пакрыўных тканін) у адносінах да нормы.

**Ключавыя словы:** анатомія ігліцы, *Pinus strobus*, «ведзьміны мятлы», спонтанныя саматычныя мутацыі

**Введение.** Мутантные «ведьмины метлы» формируются при возникновении мутаций в клетках меристем почек. Данный тип встречается редко в природных популяциях и является разновидностью почковых вариаций [1, 2]. Благодаря способности передавать свои признаки при вегетативном и частично при семенном размножении почковые вариации имеют высокую селекционную ценность и могут использо-

ваться для выведения новых форм растений [3–6]. На их основе получены сотни сортов, отличающихся интенсивным ветвлением и рядом других специфических признаков [6].

Несмотря на такое широкое применение «ведьминых мётел», до сих пор мало что известно о природе мутаций, их влиянии на морфогенез побегов. Известно, что мутации возникают в одной почке и далее их имеет вся система ветвления, развившаяся из этой почки [7]. Очень редко происходит реверсия мутантных побегов к дикому фенотипу [8]. Предполагается, что данные мутации имеют сложную генетическую природу, для них характерно как качественное, так и количественное проявление в морфологических признаках, которые могут быть выражены в различной степени [9]. Имеющиеся в настоящее время исследования анатомии хвои мутантных побегов недостаточны и охватывают только несколько видов хвойных пород, распространенных на территории Сибири [10–13].

На примере *Pinus sibirica* Du Tour уже было показано, что наличие подвоя является значительным фактором, оказывающим влияние на длину хвои [14]. У корнесобственного семенного потомства «ведьминых мётел» хвоя имела меньшие длину, ширину, толщину и число смоляных каналов по сравнению с привойным потомством [14]. В процессе изучения 11 привойных клонов «ведьминых мётел» *P. sibirica* с разной плотностью кроны было выявлено, что длина хвои уменьшалась с увеличением плотности кроны [15].

У «ведьминых мётел» не всегда имеется четкая зависимость характера изменений анатомо-морфологических признаков хвои от плотности кроны. Так, у *Picea obovata* Ledeb. наблюдается следующая тенденция: чем интенсивнее ветвление «ведьминой метлы», тем большим числом признаков ее хвоя отличается от нормы и тем сильнее выражены изменения этих признаков (длина хвои уменьшается, а ширина, толщина и площадь поперечного сечения, наоборот, увеличиваются) [11]. Такая же закономерность приводится для *Pinus sylvestris* L., но характер изменений иной: чем выше интенсивность ветвления «ведьминой метлы», тем короче и тоньше хвоя, а также меньше значения большинства анатомических признаков [12]. В приведенных работах по *P. obovata* и *P. sylvestris* анатомо-морфологические показатели хвои сравнивались у «ведьминых мётел» с нормальной хвоей материнского дерева. При исследовании анатомо-морфологических признаков хвои привойного вегетативного потомства «ведьминых мётел» и привоев нормальной кроны у *P. sibirica* установлено, что хвоя «ведьминых мётел» имела меньшие значения большинства анатомических признаков по сравнению с привоями нормы [13]. Наименьшие значения большинства анализируемых признаков также наблюдались у «ведьминой метлы» с самой густой кроной, однако наибольшее уменьшение длины и толщины хвои у данной мутации было со средней плотностью кроны [13].

Цель – сравнительное исследование морфологии и анатомии нормальной хвои веймутовой сосны (*P. strobus* L.), ортета «ведьминой метлы» мутационного типа и ее рамет. Следует отметить, что данная работа является продолжением ранее проведенных исследований [16] и позволяет глубже изучить упомянутое явление.

**Методика и объекты исследования.** «Ведьмина метла» сосны веймутовой была обнаружена на территории дендрария ботанического сада Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (Горки) в 2015 г. Она располагалась в средней части кроны на боковой ветви 2-го порядка (рис. 1) [16]. «Ведьмина метла» была исследована в возрасте 15 лет и имела среднюю плотность кроны, диаметр которой достигал 71 см. В 2016 г. черенки были привиты на пятилетние подвои сосны кедровой корейской (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.).



Рис. 1. «Ведьмина метла» *P. strobus* в кроне материнского дерева

Был проведен сбор 1-летней хвои с «ведьмой метлы», ее 5-летнего вегетативного потомства и нормальной части кроны с побегов той же экспозиции, где располагалась «ведьминая метла». Свежесобранную хвою в количестве 30 шт. фиксировали и хранили в 70%-м этаноле [16].

Радиальные срезы хвои толщиной 30 мкм получали на роторном замораживающем микротоме МЗ-2 («Точмедприбор», Украина). Анатомическое исследование срезов проводилось на микроскопе Axio Lab. A1 (Carl Zeiss, Германия) с использованием программы AxioVision для получения, обработки и анализа изображений. Исследование анатомии хвои проводилось при увеличении  $\times 50$ . Измерялись следующие признаки хвои: ширина, толщина, площадь поперечного сечения, диаметр жилки, площади ксилемы и флоэмы, число и диаметр смоляных каналов, толщина эпидермы, число клеток эндодермы. Поперечный срез хвои *P. strobus* представлен на рис. 2.



Рис. 2. Поперечный срез хвои *P. strobus*: Ж – жилка (сосудисто-волокнистый пучок), М – мезофилл, СК – смоляной канал, Кс – ксилема, Фл – флоэма, Э – эпидерма

По полученным данным дополнительно рассчитывались следующие признаки: соотношение ширины и толщины, объем и площадь поверхности хвои, отношение сухой массы и площади поверхности хвои, площади мезофилла, жилки и смоляного канала, доля фотоассимилирующей, проводящей и смолоносной тканей.

Анализ данных проводился с использованием программы Microsoft Excel (Version 2508, Build 16.0.19127.20302, США). Рассчитывались среднее значение признака ( $M$ ), ошибка среднего значения ( $m$ ) и коэффициент корреляции Спирмена ( $R_s$ ) [16].

Статистическую значимость различий признаков хвои между нормой, материнской «ведьминой метлой» и вегетативным потомством определяли однофакторным дисперсионным анализом ANOVA в программе Statistica 8.0 (StatSoft Inc., США) при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Хвоя «ведьминой метлы» сосны веймутовой имела длину в 2,4 раза меньше нормы, но несколько больше толщину и ширину (на 4 и 5 % соответственно) (таблица). Отношение ширины к толщине у «ведьминой метлы» и нормы не отличалась, следовательно, они имели одинаковую форму хвои в поперечном сечении [16]. Сухая масса хвои «ведьминой метлы» была в 2,1 раза меньше нормы, а площадь поверхности хвои – меньше в 2,2 раза, в связи с этим показатель отношения сухой массы хвои к площади ее поверхности, который отражает продукционные процессы в виде накопления сухого вещества на единицу площади фотоассимилирующих органов, у данных вариантов не отличался. Покровная ткань (эпидерма) у «ведьминой метлы» была толще нормы на 13 %.

За счет небольшого увеличения ширины и толщины хвоя «ведьминой метлы» имела площадь поперечного сечения несколько больше нормы, однако в связи со значительно меньшей длиной объем был меньше нормы в 2 раза. Площадь мезофилла на поперечных срезах у вариантов не отличалась [16].

**Анатомо-морфологические признаки хвои нормальной части кроны *P. strobus*, ортета «ведьминой метлы» и ее рамет**

Признак	Норма	«Ведьминая метла»	Вегетативное потомство «ведьминой метлы»
Длина хвои, мм	92,4 ± 1,6 <sup>a</sup>	39,1 ± 1,1 <sup>b</sup>	21,0 ± 0,6 <sup>c</sup>
Ширина хвои, мкм	699,8 ± 11,5 <sup>a</sup>	738,3 ± 10,5 <sup>b</sup>	558,5 ± 9,1 <sup>c</sup>
Толщина хвои, мкм	568,3 ± 7,2 <sup>a</sup>	593,4 ± 7,8 <sup>a</sup>	464,7 ± 5,0 <sup>b</sup>

Окончание таблицы

Признак	Норма	«Ведьмина метла»	Вегетативное потомство «ведьминой метлы»
Соотношение ширина/толщина	1,24 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,25 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,21 ± 0,2 <sup>a</sup>
Сухая масса 1 хвоинки, мг	7,48 ± 0,2 <sup>a</sup>	3,54 ± 0,2 <sup>b</sup>	0,80 ± 0,01 <sup>c</sup>
Площадь поверхности хвои, мм <sup>2</sup>	165,3 ± 2,6 <sup>a</sup>	74,1 ± 2,7 <sup>b</sup>	30,5 ± 1,0 <sup>c</sup>
Сухая масса / площадь хвои, мг/см <sup>2</sup>	4,6 ± 0,1 <sup>a</sup>	5,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,7 ± 0,1 <sup>b</sup>
Толщина эпидермы, мкм	21,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	24,5 ± 0,5 <sup>b, c</sup>	24,1 ± 0,4 <sup>b</sup>
Объём хвои, мм <sup>3</sup>	23,6 ± 0,4 <sup>a</sup>	11,2 ± 0,5 <sup>b</sup>	3,5 ± 0,1 <sup>c</sup>
Площадь поперечного сечения хвои, ×10 <sup>3</sup> мкм <sup>2</sup>	256,0 ± 4,3 <sup>a</sup>	282,8 ± 6,0 <sup>a</sup>	167,1 ± 2,8 <sup>b</sup>
Площадь мезофилла, ×10 <sup>3</sup> мкм <sup>2</sup>	159,8 ± 2,9 <sup>a</sup>	168,0 ± 4,3 <sup>a</sup>	95,0 ± 2,0 <sup>b</sup>
Число клеток эндодермы, шт.	15,5 ± 0,2 <sup>a</sup>	18,0 ± 0,3 <sup>b</sup>	14,4 ± 0,1 <sup>a, c</sup>
Диаметр жилки, мкм	257,8 ± 3,3 <sup>a</sup>	273,2 ± 3,5 <sup>a</sup>	212,0 ± 2,2 <sup>b</sup>
Площадь жилки, ×10 <sup>3</sup> мкм <sup>2</sup>	52,7 ± 1,2 <sup>a</sup>	58,3 ± 1,4 <sup>a</sup>	35,1 ± 0,7 <sup>b</sup>
Площадь флоэмы, ×10 <sup>3</sup> мкм <sup>2</sup>	6,3 ± 0,2 <sup>a</sup>	5,6 ± 0,2 <sup>b</sup>	3,0 ± 0,1 <sup>c</sup>
Площадь ксилемы, ×10 <sup>3</sup> мкм <sup>2</sup>	6,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	5,7 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,7 ± 0,1 <sup>b</sup>
Число смоляных каналов, шт.	1,5 ± 0,1 <sup>a</sup>	2,7 ± 0,1 <sup>b</sup>	1,3 ± 0,1 <sup>a</sup>
Диаметр смоляного канала, мкм	75,6 ± 1,5 <sup>a</sup>	75,3 ± 1,1 <sup>a</sup>	61,1 ± 1,5 <sup>b</sup>
Площадь смоляного канала, ×10 <sup>3</sup> мкм <sup>2</sup>	4,6 ± 0,3 <sup>a</sup>	4,5 ± 0,3 <sup>b</sup>	2,9 ± 1,1 <sup>c</sup>
Площадь смолоносной ткани, ×10 <sup>3</sup> мкм <sup>2</sup>	6,9 ± 0,6 <sup>a</sup>	12,3 ± 0,5 <sup>b</sup>	3,9 ± 0,3 <sup>c</sup>
Фотоассимилирующая ткань, %	62,5 ± 0,5 <sup>a</sup>	59,3 ± 0,4 <sup>b</sup>	56,8 ± 0,4 <sup>c</sup>
Проводящая ткань, %	4,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	4,0 ± 0,1 <sup>b</sup>	3,3 ± 0,1 <sup>c</sup>
Смолоносная ткань, %	2,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	4,3 ± 0,1 <sup>b</sup>	2,3 ± 0,2 <sup>a</sup>

*Примечание.* Данные представлены в виде  $M \pm m$ , где  $M$  – средняя арифметическая,  $m$  – ошибка средней арифметической; индекс <sup>a, b, c</sup> показывает наличие статистически значимых отличий между нормальной частью кроны, «ведьминой метлой» и вегетативным потомством «ведьминой метлы» по результатам однофакторного дисперсионного анализа; совпадающие буквы указывают на отсутствие статистически значимых отличий между вариантами при  $p < 0,05$  [16].

Число клеток эндодермы жилки (сосудисто-волокнистого пучка) у «ведьминой метлы» было больше нормы на 16 %, однако сами клетки менее широкие. Диаметр и площадь жилки незначительно больше нормы, но площадь проводящих тканей снижалась, особенно флоэмы, на 10 %.

Диаметр и площадь смоляных каналов у сравниваемых вариантов не отличались, но у «ведьминой метлы» среднее число смоляных каналов и, следовательно, суммарная площадь смолоносной ткани на поперечных срезах хвои была почти в 2 раза больше нормы [16]. Это связано с тем, что в нормальной хвое число смоляных каналов варьировало от 0 до 3 шт. – 1 канал встречался у 47 % поперечных срезов, 2 канала – у 37 %, 3 канала – у 7 % и не имело каналов 9 %. У «ведьминой метлы» число смоляных каналов варьировало от 2 до 4 шт. – 2 канала встречалось у 36 % срезов, 3 канала – у 60 % и 4 канала – у 3 %. Дополнительные каналы образовывались на адаксиальной стороне хвои (рис. 3).

Таким образом, на поперечных срезах хвои «ведьминой метлы» на 5 % меньше была доля фотоассимилирующей ткани (мезофилла) и на 16 % меньше проводящих тканей (флоэма и ксилема), но в 1,8 раза больше доля смолоносной ткани. На долю остальных тканей на поперечных срезах в обоих вариантах приходилось около 30 % площади, которая включала клетки эпидермы, эндодермы, а также механические и запасающие ткани жилки.

Раметы (привойное вегетативное потомство, рис. 4) отличались от ортета (материнской «ведьминой метлы») значительным уменьшением размеров хвои: длина хвои меньше почти в 2 раза, ширина и толщина – на 22 и 24 % соответственно. Отношение ширины и толщины составляло 1 : 2, не менялось во всех вариантах и, по-видимому, является очень консервативным признаком для *P. strobus*. Уменьшение длины, ширины и толщины хвои у рамет приводило к уменьшению объема хвои в 3,2 раза. Сухая масса хвои рамет была меньше ортета почти в 4,5 раза, но площадь поверхности хвои – меньше в 2,4 раза, что приводило к значительному (на 45 %) снижению отношения сухой массы хвои к площади ее поверхности.

Несмотря на уменьшение размеров хвои у рамет, толщина покровных тканей не отличалась от ортета и оставалась выше нормы на 12 %, что свидетельствует о том, что возникающие мутации приводят к увеличению толщины покровных тканей и данный признак не зависит от условий роста.

Уменьшение ширины и толщины приводило к уменьшению площади поперечного сечения хвои на 41 %, площади мезофилла – на 43 %, диаметра и площади жилки – на 22 и 40 % соответственно. Зна-



Рис. 3. Поперечный срез хвои «ведьминой метлы» *P. strobus* с 4 смоляными каналами (СК)



Рис. 4. Вегетативное потомство «ведьминой метлы» *P. strobus*

чительно снижалась площадь проводящих тканей жилки: ксилемы – на 52 % и флоэмы – на 48 %, также число клеток эндодермы в хвое рамет уменьшалось на 20 % по сравнению с ортетом и не отличалось от нормальной хвои.

Число смоляных каналов у рамет уменьшалось в 2 раза и становилось близким к значениям нормальной хвои, но варьировало от 1 до 2 шт. – 1 канал встречался у 71 % хвоинок и 2 канала – у 29 %. Уменьшался и диаметр смоляных каналов на 19 %, что вместе с уменьшением их числа приводило к уменьшению площади смолоносной ткани в 3,2 раза.

Таким образом, на поперечных срезах хвои рамет по сравнению с ортетом уменьшалась доля фотосинтезирующей ткани на 5 %, проводящих тканей – на 18 % и смолоносной ткани – на 47 %. Доля остальных тканей увеличивалась (покровные, механические и др.) и составляла около 40 % площади поперечного среза.

По некоторым анатомо-морфологическим признакам хвои нормальной части кроны, ортета «ведьминой метлы» и ее рамет были рассчитаны корреляции. Для нормальной хвои сосны веймутовой были характерны очень слабые отрицательные корреляции ( $R_s < -0,2$ ) показателя отношения сухой массы хвои к площади поверхности с другими признаками (диаметр центрального цилиндра, площадь жилки, площадь ксилемы и флоэмы, площадь мезофилла). В то время как у ортета «ведьминой метлы» показатель отношения сухой массы хвои к площади поверхности относительно других признаков сохранял характер связи (отрицательная корреляция), значительно увеличивалась сила связи данного признака с диаметром жилки ( $R_s = -0,75$ ), площадью жилки ( $R_s = -0,84$ ), площадью ксилемы ( $R_s = -0,40$ ), площадью флоэмы ( $R_s = -0,45$ ) и площадью мезофилла ( $R_s = -0,88$ ). Для хвои рамет «ведьминой метлы» данный признак также имел заметную и высокую отрицательную корреляцию с диаметром жилки ( $R_s = -0,51$ ), площадью жилки ( $R_s = -0,66$ ) и площадью мезофилла ( $R_s = -0,68$ ), но меньше с площадью ксилемы ( $R_s = -0,14$ ) и площадью флоэмы ( $R_s = -0,35$ ).

Первоначально предполагалось, что особенности анатомо-морфологических признаков хвои «ведьминой метлы» будут устойчивыми и также выраженными у рамет при вегетативном размножении. Наследуемость всех признаков хвои ортета при вегетативном размножении может быть использована при первичном отборе мутантных форм для получения тонко-, толсто-, короткохвойных и других декоративных сортов.

Однако в отличие от характера и интенсивности ветвления, которые проявлялись у рамет, как и у ортета «ведьминой метлы», анатомо-морфологические признаки хвои, по-видимому, в значительной мере зависели от условий роста и качества подвоя. Материнская «ведьминая метла» в кроне дерева, возможно, в большей мере обеспечивалась необходимыми ей элементами минерального питания и различными веществами гормональной природы, которые перераспределялись из нормальной части кроны.

Привойное вегетативное потомство «ведьминой метлы», вероятно, испытывало дефицит или элементов минерального питания, или веществ гормональной природы (возможно, также имелся дисбаланс их соотношения) по причине недостаточной совместимости в результате межвидовой прививки либо из-за особенностей сосудистой системы, образованной между привоем и подвоем после прививочной операции, что в итоге приводило к значительным изменениям анатомо-морфологических признаков хвои.

Некоторые признаки, значительно отличающие «ведьмину метлу» от нормы, такие как короткохвойность (а также зависящие от этого другие признаки, например объем хвои и ее сухой массы) или более толстая эпидерма, сохранялись у привитых рамет (у некоторых признаков даже усиливалась выраженность). Другие признаки, которые были очень выражены у материнской «ведьминой метлы», например увеличение числа смоляных каналов, наоборот, исчезали у рамет.

Влияние мутации на изменение тех или иных признаков хвои может быть видоспецифичным – в нашем исследовании у *P. strobus* признак отношения ширины хвои к толщине был консервативным и имел одинаковое значение у нормы, ортета («ведьминой метлы») и ее рамет; дополнительные смоляные каналы у «ведьминой метлы» образовывались на адаксиальной стороне хвои, а в исследованиях *P. sibirica* у привитых «ведьминых метел» хвоя имела некоторую уплощенность по сравнению с привоями нормы; дополнительные смоляные каналы встречались у «ведьминой метлы» и нормы, но располагались на абаксиальной стороне [13].

Показатель отношения сухой массы листа к площади его поверхности (УППЛ, удельная поверхностная плотность листа) широко используется для листовых пород в качестве интегральной характеристики, отражающей продукционные процессы накопления сухого вещества на единицу площади фотоассимилирующих органов, и в значительной мере адаптивен, поскольку зависит от целого ряда факторов (освещенность, обеспеченность элементами минерального питания и др.). В нашем исследовании «ведьминой метлы» и нормальной части кроны этот признак не различался, но значительно (почти в 2 раза) был ниже у рамет, что может свидетельствовать о проблемах в синтезе сухого вещества при росте рамет на подвое другого вида (*P. koraiensis*).

Вопросы синтеза фотоассимилятов, их транспорта и накопления сухого вещества в хвое «ведьминых метел» в настоящее время не изучены, в связи с чем не понятно, как интерпретировать некоторые анатомические особенности. Например, в хвое «ведьминой метлы», по сравнению с нормой, отмечено несоответственно небольшое (на 5–10 %) уменьшение площади флоэмы и ксилемы при значительном (в 2 раза) уменьшении объема хвои, но у привитых рамет, по сравнению с ортетом, площадь флоэмы и ксилемы уменьшались почти в 2 раза, а объем хвои – в 3 раза.

Это может свидетельствовать о том, что при развитии вегетативного потомства «ведьминых метел» на подвоях они не были в полной мере обеспечены элементами минерального питания и различными веществами гормональной природы, однако на примере *P. sibirica* показано, что имеются данные по характеру роста привоев «ведьминых метел» и нормы на едином подвое, свидетельствующие о высокой «аттрактивной» способности и более высокой продуктивности привоев «ведьминых метел» [17].

**Выводы.** Изменения анатомо-морфометрического строения хвои «ведьминых метел» и их наследование при вегетативном размножении являются видоспецифичными. Хвоя «ведьминой метлы» *P. strobus* отличалась от нормы по большинству анатомо-морфологических признаков: одни были ниже нормы (длина, площадь поверхности, объем, сухая масса, площадь флоэмы и площадь смоляного канала), другие – выше (ширина, толщина эпидермы, число клеток эндодермы, число смоляных каналов и площадь смоляной ткани).

При выращивании рамет «ведьминой метлы» *P. strobus* на подвое *P. koraiensis* происходило значительное снижение значений большинства анатомо-морфологических признаков. Установлено, что соотношение ширины и толщины является стабильным признаком, а толщина покровных тканей увеличивается по сравнению с нормой. Таким образом, полученные результаты могут быть учтены при селекции садовых форм веймутовой сосны.

#### Список цитированных источников

1. Хиров, А. А. О «ведьминой метле» на сосне *Pinus silvestris* L. / А. А. Хиров // Ботанический журнал. – 1973. – Т. 58, № 3. – С. 433–436.
2. Шульга, В. В. О карликовой форме сосны и «ведьминой метле» / В. В. Шульга // Лесоведение. – 1979. – № 3. – С. 82–86.
3. Waxman, S. Witches' brooms sources of new and dwarf forms of *Picea*, *Pinus* and *Tsuga* species / S. Waxman // Acta Hort. Symposium on propagation in Arboriculture. – 1975. – № 54. – P. 25–32.
4. Waxman, S. Dwarf conifers from witches' brooms / S. Waxman // Combined Proceedings of the International Plant Propagators' Society. – 1987. – Vol. 36. – P. 131–136.
5. Yamburov, M. S. Witches' brooms in Siberian stone pine as somatic mutations and initial genetic material for breeding of nut-bearing and ornamental cultivars / M. S. Yamburov, S. N. Goroshkevich // The breeding and genetic resources of five-needle pines : Conference in Southern Carpathians. – Romania : Valiug, 2006. – P. 26–27.
6. «Ведьмины метлы» мутационного типа как перспективный источник для получения новых декоративных форм хвойных растений / М. С. Ямбуров, С. Н. Горошкевич, И. Н. Третьякова [и др.] // Вестник ИрГСХА. – 2011. – Вып. 44, ч. 4. – С. 153–160.
7. The development of mutational witches' brooms in scotch pine (*Pinus sylvestris*) / M. S. Yamburov, A. S. Prokopyev, T. P. Astafurova [et al.] // Asian Journal of Microbiology Biotechnology and Environmental Sciences. – 2016. – Vol. 18, № 4. – P. 913–919.
8. Анатомо-морфологический анализ хвои ревертантов *Picea × albertiana* 'Conica' / А. В. Карманова, М. С. Ямбуров, Е. В. Кондратов, В. И. Торчик // Хвойные бореальной зоны. – 2022. – Т. 40, № 6. – С. 480–486.

9. Zhuk, E. Witches' broom and normal crown clones from the same trees of *Pinus sibirica*: a comparative morphological study / E. Zhuk, G. Vasilyeva, S. Goroshkevich // *Trees*. – 2015. – Vol. 29, № 4. – С. 1079–1090.
10. Yamburov, M. S. Needle anatomy of mutational witches' brooms of siberian fir / M. S. Yamburov, K. G. Titova // *World Applied Sciences Journal*. – 2013. – Vol. 28, № 7. – P. 909–913.
11. Ямбуров, М. С. Морфоанатомические особенности хвои «ведьминых метел» мутационного типа ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) / М. С. Ямбуров, С. В. Груздева, И. И. Меркушева // Интродукция, сохранение биоразнообразия и зеленое строительство в горных территориях : межрегион. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Камлак, 20–23 авг. 2014 г. / Алтай. фил.-стационар Центр. Сиб. ботан. сада «Горно-Алтай. ботан. сад». – Камлак, 2014. – С. 141–146.
12. Коняхина, Е. М. Анатомия хвои «ведьминых метел» мутационного типа у сосны обыкновенной / Е. М. Коняхина, М. С. Ямбуров, С. В. Груздева // Проблемы изучения растительного покрова Сибири : материалы V Междунар. науч. конф., посвящ. 130-летию Гербария им. П. Н. Крылова и 135-летию Сиб. ботан. сада Том. гос. ун-та (Томск, 20–22 окт. 2015 г.) / Нац. исслед. Том. гос. ун-т, Том. отд-ние Рус. ботан. о-ва. – Томск, 2015. – С. 245–247.
13. Vasilyeva, G. Needle structure of mutational witches' brooms in *Pinus sibirica* / G. Vasilyeva, E. Zhuk // *Dendrobiology*. – 2016. – Vol. 75. – P. 79–85.
14. Полякова, О. И. Морфолого-анатомические особенности хвои у семенного и разновозрастного вегетативного потомства мутационных «ведьминых метел» *Pinus sibirica* Du Tour. / О. И. Полякова // *Лесной вестник*. – 2020. – Т. 24, № 6. – С. 51–57.
15. Полякова, О. И. Разнообразие в морфологии клонов «ведьминых метел» сосны кедровой сибирской / О. И. Полякова, Е. А. Жук // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : материалы XXII Междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 15–18 мая 2023 г. / Алтай. гос. ун-т ; редкол.: А. И. Шмаков [и др.]. – Барнаул, 2023. – С. 266–269.
16. Анатомия хвои «ведьминой метлы» мутационного типа у сосны веймутовой (*Pinus strobus* L.) / М. С. Ямбуров, С. Лю, Е. В. Кондратов, В. И. Торчик // *Лесное хозяйство* : материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотр. и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2023. – URL: <https://conf.belstu.by/wp-content/uploads/2023/05/секция1-Материалы-ППС-2023.pdf> (дата обращения: 24.11.2025).
17. Clones of non-pathological witches' broom and normal crown from the same trees in *Pinus sibirica* on common and separate rootstocks: how and why David wins over Goliath / S. Goroshkevich, G. Vasilyeva, E. Zhuk // *New Forests*. – 2023. – Vol. 54. – P. 217–232.

Поступила 30.01.2026

**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ  
И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*NATURE MANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE  
AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES*

*ПРЫРОДАКАРЫСТААННЕ, ЭКОЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ  
І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ*

ISSN 1810-9810 (Print)  
УДК 574.24:579.64:581.5

**Е. А. Маслюков, А. П. Яковлев, Г. И. Булавко, А. А. Лешков**

*Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси,  
Минск, Беларусь, e-mail: massl2001@yandex.by*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РИЗОСФЕРНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ  
В СОСТАВЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ  
И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕСЧАНОГО СУБСТРАТА,  
РОСТ И РАЗВИТИЕ САЛАТА ЛИСТОВОГО**

**Аннотация.** Представлены результаты использования растворов бактериальных препаратов отечественного производства, действующими штаммами которых являлись *Enterobacter*, *Rahnella*, *Pseudomonas* и *Bacillus*, в условиях обедненного песчаного субстрата. В вариантах опыта наблюдалось усиление почвенного дыхания и увеличение почвенной микробомассы на 38 и 30 % относительно контрольного образца. Внесение препаратов «Бактопин» и «Гордебак» способствовало повышению подвижного фосфора в субстрате и почти не меняло уровень содержания обменного калия. Ответная физиологическая реакция растений салата листового на применение бактериальных препаратов проявилась в достоверно значимом увеличении содержания хлорофилла а (на 31 %) и каротиноидов (на 36 %), что способствовало заметному превышению морфометрических характеристик (высота растений, площадь листовой пластинки) и биопродукционных параметров (сухая масса надземной и подземной частей) в опытных вариантах относительно контрольного варианта в среднем в 1,86 и 1,31 раза. Лабораторный опыт проводили в 3-кратной повторности.

**Ключевые слова:** бактериальные препараты, песчаный субстрат, микробомасса, тест-культура, макроэлементный состав, пигментный комплекс

**E. A. Maslyukov, A. P. Yakovlev, G. I. Bulavko, A. A. Leshkov**

*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus, e-mail: massl2001@yandex.by*

**THE STUDY OF RHIZOSPHERE MICROORGANISMS EFFECTIVENESS IN BACTERIAL PREPARATIONS  
ON AGROCHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SANDY SUBSTRATE, GROWTH  
AND DEVELOPMENT OF LETTUCE**

**Abstract.** The results of using domestically produced bacterial preparation solutions under depleted substrate conditions are presented. The active strains were *Enterobacter*, *Rahnella*, *Pseudomonas*, and *Bacillus*. The experimental variants demonstrated enhanced soil respiration and an increase in soil microbial mass by 38 and 30%, respectively, compared to the control sample. The addition of Bactopin and Gordebak increased available phosphorus in the substrate and had virtually no effect on exchangeable potassium levels. The amount of mobile phosphorus increased in the experimental variants which contained Bactopin and Gordebak, while the amount of exchangeable potassium did not change significantly. The physiological response of leaf lettuce plants to the bacterial preparations resulted in a significantly increased chlorophyll a (by 31 %) and carotenoid (by 36 %) content, which contributed to a noticeable increase in morphometric characteristics (plant height, leaf blade area) and bioproduction parameters (dry mass of aboveground and underground parts) relative to the control by an average of 1,86 and 1,31 times. The laboratory experiment was carried out in 3 repetitions.

**Keywords:** bacterial preparations, sandy substrate, microbial mass, test-culture, macronutrients composition, pigment complex

**Я. А. Маслюкоў, А. П. Якаўлеў, Г. І. Булаўка, А. А. Ляшкоў**

*Цэнтральны батанічны сад Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,  
Мінск, Беларусь, e-mail: massl2001@yandex.by*

**ДАСЛЕДАВАННЕ ЭФЕКТАЎ НАСЦІ РЫЗАСФЕРНЫХ МІКРААРГАНІЗМАЎ У СКЛАДЗЕ БАКТЭРЫЯЛЬНЫХ  
ПРЭПАРАТАЎ НА АГРАХІМІЧНЫЯ І БІЯЛАГІЧНЫЯ ЎЛАСЦІВАСЦІ ПЯСЧАНАГА СУБСТРАТА,  
РОСТ І РАЗВІЦЦЁ САЛАТЫ ЛІСТАВОЙ**

**Анатацыя.** Прадстаўлены вынікі выкарыстання раствораў бактэрыяльных прэпаратаў айчыннай вытворчасці, штаммамі якіх з'яўляліся *Enterobacter*, *Rahnella*, *Pseudomonas* і *Bacillus*, ва ўмовах абедненага пясчанага субстрату.

У варьянтах вопыту назіралася ўзмацненне глебавага дыхання і павелічэнне глебавай мікробамасы на 38 і 30 % адносна кантрольнага варьянта. Унясенне прэпаратаў “Бактапін” і “Гардэбак” спрыяла павышэнню рухомага фосфару ў субстраце і амаль не мяняла ўзровень утрымання абменнага калію. Зваротная фізіялагічная рэакцыя раслін салаты ліставой на ўжыванне бактэрыяльных прэпаратаў выявілася ў пэўна значным павелічэнні ўтрымання хларафіла а (на 31 %) і караціноідаў (на 36 %), што спрыяла значнаму павышэнню марфаметрычных характарыстык (вышыня раслін, плошча ліставай пласцінкі) і біяпрадукцыйных параметраў (сухая маса надземнай і падземнай частак) у вопытных варьянтах адносна кантрольнага варьянта ў сярэднім у 1,86 і 1,31 раза. Лабараторны вопыт праводзілі ў 3-кратнай паўторнасці.

**Ключавыя словы:** бактэрыяльныя прэпараты, пшчаны субстрат, мікробамаса, тэст-культура, макраэлементны склад, пігментны комплекс

**Введение.** Применение экологически безопасных бактериальных препаратов в рамках проведения биологического этапа рекультивации – один из современных биотехнологических методов, предлагаемый как альтернатива внесению традиционных синтетических удобрений [1]. Показано, что использование бактериальных удобрений, созданных на основе хозяйственно ценных штаммов микроорганизмов, благоприятно сказывается на вызревании культур, усвоении макроэлементов, устойчивости к фитопатогенам [2]. Внесение данных препаратов способствует как активизации почвообразовательного процесса, так и последующему рациональному использованию территорий, нарушенных в ходе антропогенного вмешательства [3, 4]. Полагаем, что одновременно с проведением полевых исследований в зависимости от направления рекультивации (сельскохозяйственная, лесохозяйственная, рекреационная и т. д.) необходимо планировать и проводить эксперименты в лабораторных условиях с применением различных тест-объектов с моделированием эдафических условий и изучением ответной реакции самих растений на данный агротехнический прием. Целью нашей работы стало исследование микробиологических и агрохимических характеристик песчаного субстрата и оценка отдельных морфофизиологических показателей растений салата листового на внесение бактериальных препаратов отечественного производства.

**Материалы и методы исследования.** В лабораторном эксперименте использовали песчаный субстрат, отобранный на карьере ПГС «Рутковское» (Гродненская обл., Новогрудский р-н), в котором содержались: минеральный азот (аммонийная форма –  $92,8 \pm 2,1$  мг/кг, нитратная форма –  $22,9 \pm 0,9$  мг/кг); подвижный фосфор ( $140,3 \pm 2,7$  мг/кг), обменный калий ( $39,1 \pm 4,4$  мг/кг), что в соответствии с критериями агрохимических величин [5] позволяет отнести его к субстратам с крайне низким уровнем обеспеченности основными элементами питания.

В работе использовали салат листовой среднераннего сорта Джентилина, широко распространенный тест-объект семейства Астровые. Семена высевали на глубину  $\approx 1$  см в ячейки микроплаты  $V = 80$  см<sup>3</sup>. Одновременно с посевом семян в субстрат вносили 2%-й раствор препаратов «АгроМик», «Гордебак», «Бактопин» и «Бактавен» в объеме 10 мл/ячейка. В контрольном варианте производили полив ячеек водой в том же объеме. Последующие обработки выполняли с периодичностью 1 раз в 3 недели от момента посева (2 обработки). Выращивание производили без досвечивания, в условиях естественного дневного освещения при продолжительности светового дня 11–12 ч. Для поддержания влажности субстрата на уровне 60–80 % от полной влагоемкости (ПВ) выполняли полив водой. Повторность опыта – 3-кратная.

Препараты разработаны Институтом микробиологии НАН Беларуси.

«АгроМик» содержит азотфиксирующий штамм *Agrobacterium* sp. и фосфатмобилизирующий штамм *Pseudomonas* sp. с титром не менее  $1,0 \times 10^9$  КОЕ/мл и добавлением арбускулярно-микоризных грибов рода *Glomus*. Препарат обширно тестировали на растениях льна масличного [6], ячменя голозерного [7], оценивали некоторые биохимические аспекты развития плодов голубики в условиях выработанного торфяника [8].

«Гордебак» получен путем совместного глубинного культивирования ассоциативного *Enterobacter* sp. В-402Д и фосфатмобилизирующего *Enterobacter* sp. В-409Д ( $(5,0-6,0) \times 10^9$  КОЕ/мл). Помимо указанных тест-объектов препарат положительно воздействует на приживаемость и укоренение микроклонально размноженных растений березы и осины [9].

«Бактопин» включает совместно культивируемые бактерии diaзотрофа *Rahnella aquatilis* БИМ В-704Д ( $2,3 \times 10^9$  КОЕ/мл) и гетеротрофного ростстимулирующего фосфатмобилизирующего микроорганизма *Pseudomonas putida* БИМ В-702Д ( $1,8 \times 10^9$  КОЕ/мл) с добавлением популяции АМГ. Положительный эффект препарат оказывает на ростовые качества и ризосферную биогенность озимого и ярового рапса [10].

Основа препарата «Бактавен» – штамм *Bacillus subtilis* БИМ-В760Д (не менее  $0,1 \times 10^9$  КОЕ/мл). Фитопротекторное действие препарата обуславливается антифунгальной активностью. Подтверждена биологическая эффективность в отношении корневых гнилей овса (59,9 %), красно-бурой пятнистости (26,3 %), способствующая увеличению урожайности зерна овса на 2,3–3,0 ц/га [2], а также его продуктивности против корневых и прикорневых гнилей томата защищенного грунта (52,4 %) с прибавкой урожая 1,2 кг/м<sup>2</sup> [11].

После двух месяцев культивирования опытных растений по общепринятым в агрохимии [12] и почвенной микробиологии [13, 14] методам определяли содержание доступных форм основных элементов питания, а также почвенное дыхание, биомассу микроорганизмов и коэффициент метаболической активности. Растения салата листового извлекали из субстрата, отмывали корневую систему водой, определяли сырую и сухую массу надземной и подземной частей, площадь листовой поверхности (ImageJ, NIH, США).

Путем экстракции в ацетоне определяли содержание хлорофилла и каротиноидов; по методу Лебеяднца проводили мокрое озоление в концентрированной азотной кислоте [15]. Методом пламенной фотометрии определяли содержание катионов натрия и калия в листовых пластинках растений (BWB Flash, Великобритания).

Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных методов вариационной статистики в программах MS Excel 2010 и STATISTICA v. 12.0.

**Результаты и их обсуждение.** Поскольку при выращивании салата использованы штаммы микроорганизмов, то одним из базовых показателей для оценки их эффективности является его микробиологическая активность, определяемая по активности дыхания почвы, величине микробной массы в 1 г почвы и метаболическому коэффициенту, отражающему количество образованного CO<sub>2</sub> на единицу микробной массы. Изучаемые характеристики субстрата получены по окончании культивирования (табл. 1).

Таблица 1. Показатели микробиологической активности субстрата

Вариант	Дыхание почвы, мкгСО <sub>2</sub> /г почвы/ч	Биомасса, мкгС/ почвы	Коэффициент метаболической активности микроорганизмов (qCO <sub>2</sub> )
Контрольный образец	0,76 ± 0,04	245,2 ± 12,5	0,23
«АгроМик»	0,91 ± 0,02*	275,6 ± 14,0*	0,25
«Гордебак»	1,13 ± 0,05*	301,5 ± 7,0*	0,22
«Бактопин»	1,09 ± 0,05*	377,6 ± 13,4*	0,28
«Бактавен»	1,05 ± 0,05*	246,9 ± 11,9	0,32

Примечание. \* – статистически значимые различия при p ≤ 0,05.

Усиление почвенного дыхания и общей микробомассы свидетельствует о том, что действующие штаммы препаратов успешно ассимилированы в корнеобитаемой зоне растений и оказывали на испытываемые растения физиологические эффекты. Максимальное положительное влияние на микробомассу и базальное дыхание субстрата проявилось при внесении препаратов «Гордебак» и «Бактопин». Причем если различия между данными препаратами по респирации дыхания оказались относительно небольшими (не более 3,7 %), то микробная биомасса в варианте с применением «Бактопина» на 25 % превышала аналогичный показатель для «Гордебак» и более чем на 50 % – контрольный вариант. Аналогичные закономерности показаны и в полевом эксперименте в посадках лесных культур сосны обыкновенной и ели европейской [16].

Микробный метаболический коэффициент является интегральным показателем состояния почвенного микробного сообщества и мерой устойчивости почв к различным воздействиям, так как отражает эффективность использования субстрата [17]. Поскольку эмиссия СО<sub>2</sub>–С из почвы характеризует разложение органического вещества, а содержание С<sub>мик</sub> в почве – синтез, то их отношение, выраженное в величине qCO<sub>2</sub>, пригодно для оценки сбалансированности между процессами синтеза и минерализации органического вещества почвы [18]. Микробный метаболический коэффициент как показатель экофизиологического статуса почвенных микроорганизмов может отражать устойчивость микробного сообщества почвы, в том числе и при внесении препаратов. Полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют о более благоприятном и стабильном состоянии микробного сообщества в вариантах с внесением бактериальных препаратов, особенно «Бактавена» и «Бактопина».

Активизация биологической активности почвы и увеличение объема микробной биомассы формируют эффективное плодородие почв. Все агротехнические мероприятия, способствующие увеличению этих показателей, работают на стабилизацию эффективного плодородия почвы и получение биологически чистой растениеводческой продукции вследствие обеспечения растений элементами питания, формирующими в процессе биологического круговорота, а не за счет внесения химических удобрений.

Проведенный по окончании опыта агрохимический анализ почвы показал, что содержание доступных для растений форм минерального азота в эксперименте оказалось ниже контрольного образца почти для всех микробиологических препаратов (табл. 2). Только использование «АгроМика» способствовало повышению содержания аммонийной формы азота относительно контрольного варианта. Определение содержания нитратной формы азота в прикорневой зоне растений характеризовалось снижением в 1,5–4,3 раза уровня его накопления (для «Гордебак» и «Бактавена» также). Выявленная закономерность, по нашему мнению, может рассматриваться как положительный эффект в вопросе сдерживания накопления нитратов в растениеводческой продукции.

Увеличение содержания подвижных форм фосфора в вариантах, обрабатываемых «Гордебак» и «Бактопином», говорит об эффективности применения фосфатмобилизирующих штаммов в составе препаратов. Из табл. 2 видно, что в этих вариантах количество подвижного фосфора выросло относительно контроля в 1,40 и 1,26 раза соответственно. Инокуляция данными штаммами обеспечивает улучшенный режим фосфатного питания растений. Трансформация труднорастворимых соединений фосфора – один из агроприемов повышения фосфорного питания в условиях низкой обеспеченности (менее 200 мг/кг). Некоторые ученые отмечают, что эффективные бактериальные изоляты высвобождают в ризосферу сво-

Таблица 2. Агрехимические показатели прикорневой зоны субстрата

Вариант	$m(N-NH_4)$ , мг/кг почвы	$m(N-NO_3)$ , мг/кг почвы	$m(P_2O_5)$ , мг/кг почвы	$m(K_2O)$ , мг/кг почвы
Контрольный вариант	91,6 ± 1,4	22,7 ± 1,1	143,6 ± 2,4	38,3 ± 5,1
«АгроМик»	110,5 ± 2,1	10,9 ± 0,9*	126,5 ± 2,8	39,7 ± 1,4
«Гордебак»	81,8 ± 1,7*	15,3 ± 0,7*	200,3 ± 2,8*	40,1 ± 2,5
«Бактопин»	90,6 ± 1,4	10,7 ± 0,7*	180,8 ± 1,9*	40,9 ± 3,6
«Бактавен»	85,6 ± 1,7*	5,3 ± 0,4*	147,8 ± 1,8	41,0 ± 2,7

Примечание. \* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ .

бодный фосфор из трикальцийфосфата, констатируя, что эффективность штаммов для солиubilизации фосфата в большей мере зависит от специфичности фермента фосфатазы, чем от ее количества, выделяемого в среду [19]. Среди всех изученных в эксперименте штаммов наибольшее количество фосфора выделял один из штаммов *Enterobacter* в составе препарата «Гордебак».

Крайне незначительными оказались в песчаном субстрате запасы калия (38,3–41,0 мг/кг а. с. п.), которые даже при внесении препаратов кардинально картину не меняли, а содержание его обменной формы в эксперименте достоверно не отличалось от контрольного образца, что, исходя из физиологических потребностей культивируемых растений, следует рассматривать как необходимость ежегодного дополнительного внесения.

Кроме того, учитывая, что растения и микроорганизмы нуждаются в одних и тех же макро- и микроэлементах, за счет чего меняются условия питания и жизнедеятельности для самих растений и микробов, полагаем, что добавленные активные штаммы бактерий способствуют более полному использованию минеральных макроэлементов, а это, в свою очередь, ускоряет рост растений и, следовательно, вынос элементов из почвы. В пользу этого свидетельствует также научно установленный факт, что эффективность работы бактериальных препаратов в комплексе с полным минеральным удобрением в посадках кукурузы повышается в 2,0–2,5 раза [20].

Поскольку изменения доступности элементов в почве прямо отражаются на их концентрации в тканях растений, мы проследили для отдельных макроэлементов за уровнем их накопления в зеленой массе. Необходимый для интенсивного апикального роста, кущения, листообразования азот при аммонификации в процессе превращения гетеротрофными микроорганизмами органического азота почвы в  $NH_4^+$  интенсивнее протекал в вариантах с «Бактопином» и «Бактавеном», где содержание нитрантной формы азота в зеленой массе снижалось на 19 и 23 % соответственно по сравнению с контрольным вариантом.

Для вариантов с применением «Бактопина» и «Бактавена» уровень катионов натрия и калия в надземной фитомассе в 2,0 и 1,4 раза оказался выше, что может свидетельствовать об улучшении метаболического потенциала за счет его регуляции и, как следствие, адаптации к неблагоприятным условиям среды. Аналогичные закономерности установлены [21] при добавлении штамма *Bacillus*, что значимо увеличивало накопление калия в растительной продукции как в сочетании с минеральными NPK-удобрениями, так и при отдельном применении (вариант «Бактавен»).

Значимым показателем физиологического состояния растений является содержание в листьях пигментов хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов. Поскольку пигменты интегрированы в мембраны хлоропластов и связаны с белками, их количественное содержание и соотношение могут отражать особенности адаптации фотосинтетического аппарата в целом и обеспечивать его функциональную диагностику. Изменения в составе пигментного комплекса можно также рассматривать в качестве индикаторов механизма адаптации растений к условиям внешней среды [22].

Сравнение исследуемых показателей в контрольном образце и вариантах опыта с внесением удобрений выявило существенные межвариантные различия в характере и степени ответной реакции пигментного комплекса ассимилирующих органов салата на испытываемые агроприемы. Диапазоны варьирования показателей зеленых пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) в листьях салата менее выразительно проявились в варианте с обработкой «АгроМиком» (рис. 1). Так, в листовой ткани опытных растений наблюдалось незначительное увеличение (не более чем на 16 %) общего содержания зеленых пластидных пигментов относительно контрольного варианта.

Для трех препаратов («Гордебак», «Бактопин» и «Бактавен») установлено достоверное превышение уровня содержания хлорофиллов в зеленой массе салата относительно контрольного образца, максимальное различие в котором при внесении «Бактопина» достигало для хлорофиллов *a* и *b* – 1,4 раза, при промежуточном положении изучаемых характеристик для «Гордебака» и «Бактавена».

Общеизвестно, что каротиноидам, выполняющим роль светосборщиков и фотопротекторов, принадлежит особо важная роль в процессе фотосинтеза, в связи с чем активизацию их накопления в листовой ткани под действием внешних агентов следует рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на повышение устойчивости фотосинтетического аппарата и предотвращение его фотодинамической деструкции.

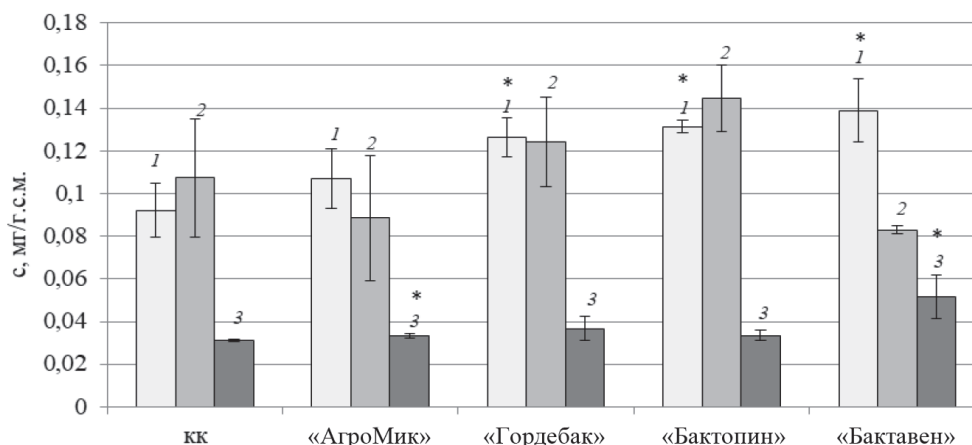


Рис. 1. Характеристика пигментного комплекса листьев салата в лабораторном эксперименте: 1 – хлорофилл а, 2 – хлорофилл б, 3 – каротиноиды (\* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ )

Достоверное увеличение уровня содержания каротиноидов в эксперименте отмечено только в вариантах с применением «Гордебака» и «Бактавена». Сходные результаты использования микробных препаратов наблюдаются при проведении экспериментов на растениях голубики высокорослой и льна масличного [23, 24], ели европейской [16].

Таким образом, показанные выше изменения в пигментном комплексе пластид ассимилирующих органов опытных растений салата под действием испытываемых агроприемов обусловили достоверное увеличение в вариантах опыта с внесением микробных удобрений соотношения содержания хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с контрольным, что свидетельствовало об определенном усилении в нем роли зеленых пигментов. Учитывая, что активизация биосинтеза пластидных пигментов под действием регулируемых факторов может косвенно подтверждать увеличение продуктивности растений, что экспериментально доказано [25, 26], следовало ожидать проявления подобной согласованности позитивных эффектов и в наших исследованиях.

Успешностью фотосинтеза, протекающего в ассимилирующих органах растений, определяется развитие надземной части. Для оценки биоморфометрических показателей роста салата исследовали растения после двух месяцев выращивания, измеряя общую длину надземной части растения (от корневой шейки до кончика верхнего листа), определяя площадь листовой пластинки, а также параметры сырой и сухой массы надземной и подземной частей тест-культуры.

Установлено, что при внесении в субстрат всех микробиологических препаратов наблюдалось выраженное увеличение биоморфометрических показателей растений (рис. 2). Так, максимальные различия общей длины надземной части растений по сравнению с контролем отмечены при обработке «Бактавеном» на 73 %. Сходные величины различий более 41 % установлены для трех других препаратов.

В ходе исследований удалось установить также, что при внесении «Бактавена», по сравнению с контрольным вариантом, увеличивалась и площадь листового аппарата салата (в 3,2 раза), в то время как обработка «АгроМиком», «Гордебакком» и «Бактопином» способствовала не такому существенному увеличению площади листового аппарата к контролю соответственно в 1,6, 1,2 и 1,4 раза. При этом количество листьев в исследуемых вариантах значимо не различалось, а диаметр основания стебля был больше на 71 % относительно контрольного в варианте с добавлением «Бактавена».

Стимулирующий эффект вносимых бактериальных препаратов на биометрические показатели растений салата отражался как на суммарном весе растений, так и на весе надземной части и корня. Установлено, что внесение только «АгроМика» и «Бактавена», по сравнению с контрольным образцом, способствовало достоверному увеличению общего веса растений в 1,9 и 3,7 раза соответственно (рис. 3). При этом если для первого препарата относительно контрольного варианта наблюдалось преимущественное накопление показателей общего сухого веса растений за счет надземной части, то для второго – равномерное долевое участие изучаемых характеристик и листьев, и корня. Увеличение же накопления сухой массы корня растений в варианте с применением «Бактопина» не принесло ожидаемого результата по приросту надземной части салата.

Выявленные нами закономерности согласуются с данными, показавшими, что «АгроМик» способствовал усилению ростовых параметров древесных и декоративных культур за счет продуцирования штаммами индолил-3-уксусной кислоты, являющейся стимулятором роста и развития растений, а также возможности бактерий рода *Pseudomonas* к синтезу ауксина и усилению амилазной активности [27]. Наибольшая продуктивность растений с применением «Бактавена» в стрессовых условиях объясняется продуцированием штаммами рода *Bacillus* широкого спектра липопептидов и сидерофоров [28].

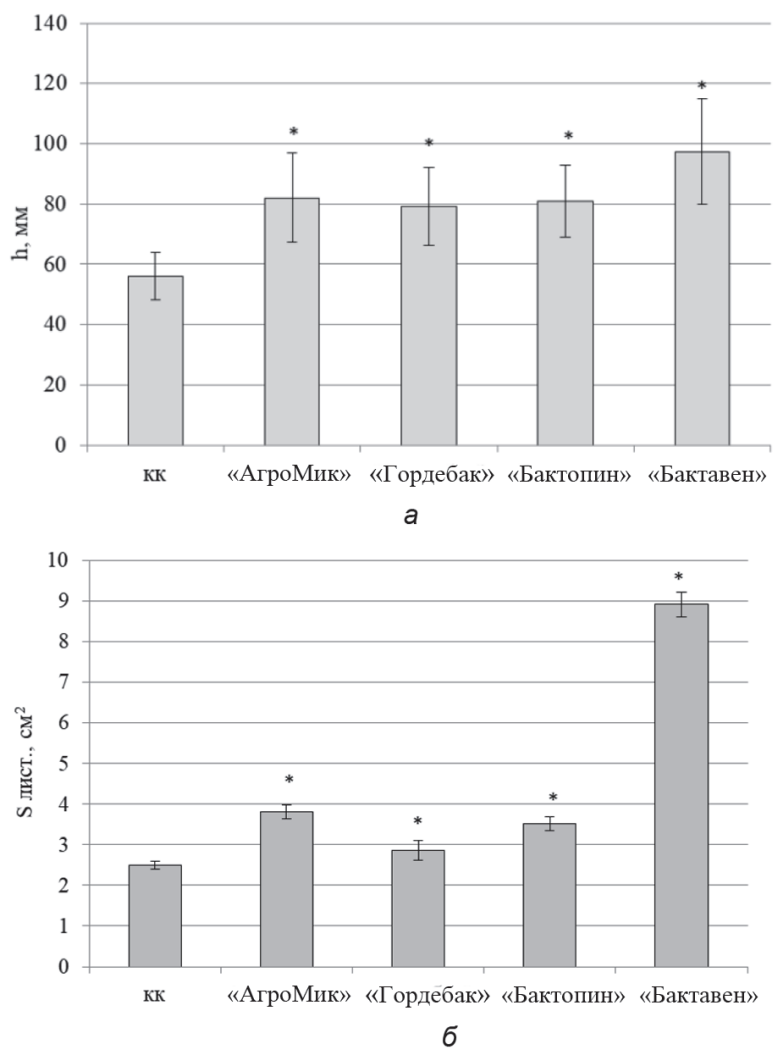


Рис. 2. Параметры общей длины надземной части (а) и площади листовой поверхности (б) опытных растений в лабораторном эксперименте (\* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ )

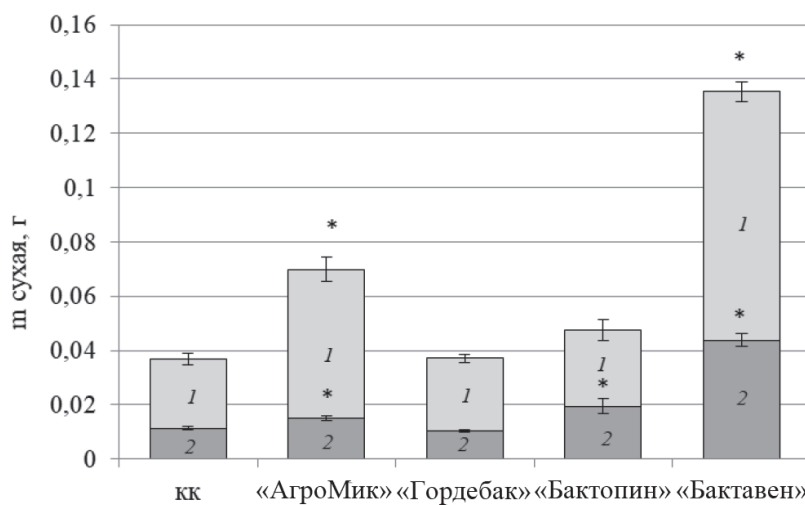


Рис. 3. Показатели веса сухой фитомассы надземной и подземной частей изучаемых растений: 1 – надземная масса, 2 – подземная масса (\* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ )

**Выводы.** Таким образом, проведенный нами лабораторный опыт по моделированию технологического этапа биологической рекультивации нарушенных земель позволил оценить отдельные эдафические характеристики субстрата, морфологические и физиологические показатели вегетативной массы растений. Во всех опытных вариантах отмечено усиление почвенного дыхания, а для «АгроМика», «Гордебака» и «Бактопина» – увеличение бактериальной микробомассы, что свидетельствует об активной колонизации песчаного субстрата. Результаты агрохимических анализов подтверждают активизацию процессов фосфатмобилизации и нитрификации, а изменение пигментного состава говорит об активных фотосинтетических процессах и усилении общей продуктивности.

Полученные результаты подтверждают перспективы использования отечественных бактериальных препаратов в качестве компонентов комплексных биоудобрений, применение которых актуально для био-безопасных технологий и экологизации агропроизводства. В частности, использование микробиологических препаратов, обладающих высокой активностью в процессах мобилизации биогенных элементов, весьма перспективно и их можно предложить для оздоровления и повышения плодородия почв, усиления питания растений и получения качественной продукции.

### Список использованных источников

1. Биотехнологические подходы создания лесных культур на площадях песчано-гравийных карьеров / А. П. Яковлев, Е. А. Маслюков, Г. И. Булавко [и др.] // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: материалы науч.-практ. конф., Красноярск, 17 дек. 2024 г. / ФГБОУ ВО «Сиб. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2024. – С. 244–247.
2. Применение биопестицида Бактавен для защиты посевов овса от болезней / А. Г. Власов, В. Н. Купцов, С. П. Халецкий, Э. И. Коломиец // Вестник защиты растений. – 2017. – № 2 (92). – С. 40–45.
3. Влияние микробных препаратов на физико-химические и агрохимические свойства городских почв в условиях воздействия остаточных количеств противогололедных реагентов (на примере г. Могилева) / А. М. Николаичук, А. П. Яковлев, М. Н. Вашкевич [и др.] // Пространственно-временные аспекты функционирования биосистем : сб. материалов XVI Междунар. науч. экол. конф., посвящ. памяти Александра Владимировича Присного, 24–26 нояб. 2020 г. / отв. ред. Ю. А. Присный. – Белгород : ИД «БелГУ» ; НИУ «БелГУ», 2020. – С. 305–310.
4. Устойчивость агроэкосистем к загрязнению фторидами / Л. В. Помазкина, Е. В. Лубнина, С. Ю. Зорина, А. С. Лаврентьева. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН. – 2004. – 225 с.
5. Справочник агрохимика / В. А. Калюк, В. В. Лапа, Н. И. Смяян [и др.] ; под ред. В. В. Лапа. – Мн. : Бел. наука, 2007. – 390 с.
6. Маслинская, М. Е. Влияние биопрепаратов на формирование биометрических показателей, накопление биомассы и структуру урожайности льна масличного / М. Е. Маслинская // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2023. – № 59. – С. 181–189.
7. Влияние средств защиты и микробиологического препарата на начальные этапы роста и развития голозерного ячменя / В. И. Кочурко, С. В. Абраскова, Е. М. Ритвинская [и др.] // Вестник БарГУ. Серия Биологические науки (Общая биология). Сельскохозяйственные науки (агрономия). – 2024. – № 15. – С. 91–102.
8. Влияние минеральных и микробных удобрений на содержание фенольных соединений в плодах голубики на выработанном торфянике верхового типа на севере Беларуси / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, В. Н. Решетников [и др.] // Плодоводство. – 2019. – Т. 31. – С. 200–213.
9. Микробиологическая оценка влияния биопрепарата Гордебак в посевах ячменя / И. И. Концевая, Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев [и др.] // Достижения науки и образования. – 2025. – № 1 (99). – С. 3–8.
10. Шепшелев, А. Микробные биотехнологии в сельскохозяйственном производстве / А. Шепшелев, Е. Болотник, З. Алещенкова // Наука и инновации. – 2025. – № 9. – С. 26–32.
11. Интегрированная защита растений. Курс лекций : учеб.-метод. пособие / Ю. А. Миренков, В. П. Дуктов, П. А. Саскевич, В. Р. Кажарский. – Горки : БГСХА, 2024. – 147 с.
12. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
13. Ананьева, Н. Д. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания / Н. Д. Ананьева, Е. А. Сусьян, Е. Г. Гавриленко // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1327–1333.
14. Мирчинк, Т. Г. Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве / Т. Г. Мирчинк, Н. С. Паников // Успехи микробиологии / АН СССР, Всесоюз. микробиол. о-во, Ин-т микробиологии ; редкол.: А. А. Имшенецкий (отв. ред.) [и др.] – М., 1985. – Вып. 20. – С. 198–226.
15. Фотосинтез : метод. рекомендации к лаборатор. занятиям, задания для самостоят. работы и контроля знаний студентов / авт.-сост. Л. В. Кахнович. – Мн. : Изд-во Бел. гос. ун-та, 2003. – 88 с.
16. Оценка приемов биорекультивации песчано-гравийных карьеров / А. П. Яковлев, Е. А. Маслюков, Г. И. Булавко [и др.] // Природнае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання : зб. навук. прац XII Міжнар. навук. канф., 8–10 кастр. 2025 г., Брэст, Рэсп. Беларусь / Нац. акад. навук Беларусі ; Палес. аграр.-экал. ін-т ; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2025. – С. 358–363.
17. Ананьева, Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв / Н. Д. Ананьева. – М. : Наука, 2003. – 222 с.
18. Устойчивость агроэкосистем к загрязнению фторидами / Л. В. Помазкина, Л. Г. Котова, Е. В. Лубнина [и др.]. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН. – 2004. – 225 с.
19. Чайковская, Л. А. Фосфатмобилизирующие микроорганизмы: биоразнообразие, влияние на минеральное питание растений и их продуктивность / Л. А. Чайковская, О. Л. Овсиенко // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 4. – 159–182.

20. Чернецова, Н. В. Совместное использование минеральных удобрений и бактериальных препаратов в посевах кукурузы / Н. В. Чернецова // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 4 (25). – С. 47–49.

21. Колесников, Л. Е. Влияние ассоциативных ризобактерий на формирование продуктивности мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области / Л. Е. Колесников, Х. Б. Хассан, А. А. Белимов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3 (77). – С. 45–59.

22. Годнев, Т. Н. Хлорофилл: его строение и образование в растении / Т. Н. Годнев. – Мн. : Изд-во Акад. наук БССР, 1963. – 318 с.

23. Влияние удобрений и стимуляторов роста на содержание фотосинтезирующих пигментов в растениях голубики, культивируемых на выработанных торфяных месторождениях низинного типа / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, И. В. Савосько [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 188–200.

24. Накопление фотосинтетических пигментов в растениях льна масличного при применении препаратов биологического происхождения / М. Е. Маслинская, Л. Ф. Кабашникова, Н. С. Савельев, Е. В. Черехутина // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2025. – № 61. – С. 103–111.

25. Особенности состава пигментного комплекса листьев древесных растений в городских условиях при внесении микробных удобрений / А. М. Николайчук, А. П. Яковлев, М. Н. Вашкевич [и др.] // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2020. – № 1. – С. 95–101.

26. Дерендовская, А. Н. Хлорофильные показатели и их связь с продуктивностью растений озимого ячменя / А. Н. Дерендовская, С. Жосан // Știința Agricolă. – 2008. – № 1. – С. 3–7.

27. Савчиц, Т. Л. Микробный препарат «АгроМик» для стимуляции роста и развития декоративных насаждений / Т. Л. Савчиц, В. А. Тимофеева, Л. А. Головченко // сільськогосподарська мікробіологія. – 2015. – № 21. – С. 60–65.

28. Алещенкова, З. М. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений / З. М. Алещенкова // Наука и инновации. – 2015. – Т. 8. – № 150. – С. 66–67.

*Поступила 13.02.2026*

**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ – УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА****NATURE MANAGEMENT – ADMINISTRATION AND ECONOMY****ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ – КІРАВАННЕ І ЭКАНОМІКА**

ISSN 1810-9810 (Print)

УДК 338.483.(476)+556.5(476)

**Н. С. Шевцова***Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: shevtsova-ns@yandex.ru***ПРИРОДНЫЙ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕК БЕЛАРУСИ:  
КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ,  
ПРОФИЛИРУЮЩИЕ ВИДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ**

**Аннотация.** Представлены результаты апробации концептуальной модели комплексной оценки природного туристско-рекреационного потенциала, принципиальной особенностью которой является система целевых показателей, дифференцированно разработанных в соответствии со структурой видов их туристско-рекреационного использования. Комплексный характер оценки базируется на интегрировании медико-биологической, технологической, психолого-эстетической оценок, эффект от взаимодействия которых с применением ГИС-технологий позволил выявить структуру и географию профилирующих видов туристско-рекреационного использования природного потенциала рек и лимитирующих факторов. Результаты комплексной оценки природного потенциала 372 участков 166 рек Беларуси показали наибольшую их пригодность для таких видов рекреации и туризма, как любительское рыболовство, любительская охота и гребля на лодках при низкой доле благоприятных участков рек для купания, подводного плавания и катания на яхтах, а также возможность реализации катания на водных лыжах на отдельных участках рек Гомельской и Витебской обл. Для большинства видов туристско-рекреационного использования выделены три группы лимитирующих факторов: общие, особые и индивидуальные. При этом доля общих факторов, представленных сочетанием из гидрологических, гидрохимических и ландшафтных, лидирует для купания (84,4 %), гребли на лодках и любительской охоты (по 72,9 %), подводного плавания (71,2 %) и катания на водных лыжах (53,1 %), индивидуальных факторов морфометрического характера – для катания на яхтах (56,3 %), а особых факторов гидрохимической природы – для любительского рыболовства (56,6 %). Значительный процент индивидуальных морфометрических факторов (43,6%) зафиксирован для катания на водных лыжах и общих факторов гидрохимического генезиса (43,4%) для любительского рыболовства. Географическая интерпретация удельного веса групп лимитирующих факторов варьирует в разрезе областей страны и зависит от вида туристско-рекреационного использования. Результаты комплексной оценки природного туристско-рекреационного потенциала рек позволили создать научно-практическую основу для разработки стратегии развития водного туризма на реках Беларуси.

**Ключевые слова:** туристско-рекреационный потенциал рек, пригодность рек для рекреации, комплексная оценка, концептуальная модель, профилирующие виды использования, лимитирующие факторы, реки Беларуси

**N. S. Shevtsova***Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: shevtsova-ns@yandex.ru***NATURAL TOURISM AND RECREATIONAL POTENTIAL OF RIVERS IN BELARUS: CONCEPTUAL MODEL FOR COMPREHENSIVE ASSESSMENT, PROFILED TYPES OF USE, AND LIMITING FACTORS**

**Abstract.** The paper presents the results of testing a conceptual model for a comprehensive assessment of the natural tourism and recreation potential, which is characterized by a system of target indicators differentiated according to the structure of their tourism and recreation use. The comprehensive nature of the assessment is based on the integration of medical, biological, technological, psychological, and aesthetic assessments, and the use of GIS technologies to identify the structure and geography of the main types of tourism and recreational use of the natural potential of rivers and the limiting factors. The results of a comprehensive assessment of the natural potential of 372 sections of 166 rivers in Belarus showed that they are most suitable for such types of recreation and tourism as amateur fishing, amateur hunting, and boating, with a low proportion of favorable river sections for swimming, scuba diving, and yachting, as well as the possibility of water skiing on certain sections of rivers in the Gomel and Vitebsk regions. For most types of tourist and recreational use, there are three groups of limiting factors: general, specific, and individual. At the same time, the share of common factors represented by a combination of hydrological, hydrochemical, and landscape factors is leading for swimming (84.4 %), boating and amateur hunting (72.9 % each), scuba diving (71.2 %), and water skiing (53.1 %); individual morphometric factors – for yachting (56.3 %); and special factors of hydrochemical nature – for recreational fishing (56.6 %). A significant percentage of individual morphometric factors (43.6 %) was recorded for water skiing, and general factors of hydrochemical genesis (43.4 %) for recreational fishing. The geographical interpretation of the proportion of limiting factors varies across the country's regions and depends on the type of tourist and recreational use. The results of a comprehensive assessment of the natural tourism and recreational potential of rivers have provided a scientific and practical basis for developing a strategy for the development of water tourism on the rivers of Belarus.

**Keywords:** tourist and recreational potential of rivers, suitability of rivers for recreation, comprehensive assessment, conceptual model, profiled types of use, limiting factors, rivers of Belarus

Н. С. Шайцова

Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: shevtsova-ns@yandex.ru

**ПРЫРОДНЫ ТУРЫСЦКА-РЭКРЭАЦЫЙНЫ ПАТЭНЦЫЯЛ РЭК БЕЛАРУСІ:  
КАНЦЭПТУАЛЬНАЯ МАДЭЛЬ АЦЭНКІ, ПРАФІЛЮЮЧЫЯ ВІДЫ ВЫКАРЫСТАННЯ  
І ФАКТАРЫ, ЯКІЯ ЛІМІТУЮЦА**

**Анацыя.** Прадстаўлены вынікі апрабачы канцэптуальнай мадэлі комплекснай ацэнкі прыроднага турысцка-рэкрэацыйнага патэнцыялу, прынцыповай асаблівасцю якой з'яўляецца сістэма мэтавых паказчыкаў, дыферэнцыравана распрацаваных у адпаведнасці са структурай відаў іх турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання. Комплексны характар ацэнкі грунтуецца на інтэграванні медыка-біялагічнай, тэхналагічнай, псіхалага-эстэтычнай адзнак, эфект ад узаемадзеяння якіх з ужываннем ГІС-тэхналогіі дазволіў выявіць структуру і геаграфію прафілюючых відаў турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання прыроднага патэнцыялу рэк і фактараў, якія лімітуюцца. Вынікі комплекснай ацэнкі прыроднага патэнцыялу 372 участкаў 166 рэк Беларусі паказалі найбольшую іх прыдатнасць для такіх відаў рэкрэацыі і турызму, як аматарскае рыбалоўства, аматарскае паляванне і веславанне на лодках пры нізкай долі спрыяльных участкаў рэк для купання, падводнага плавання і катання на яхтах, а таксама магчымасць рэалізацыі катання на водных лыжах на асобных участках рэк Гомельскай і Віцебскай абл. Для большасці відаў турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання вылучаны тры групы фактараў, якія лімітуюцца: агульныя, асаблівыя і індывідуальныя. Пры гэтым доля агульных фактараў, прадстаўленых спалучэннем гідралагічных, гідрахімічных і ландшафтных, лідзіруе для купання (84,4 %), веславання на лодках і аматарскага палявання (па 72,9 %), падводнага плавання (71,2 %) і катання на водных лыжах (53,1 %), індывідуальных фактараў марфаметрычнага характару – для катання на яхтах (56,3 %), а асаблівых фактараў гідрахімічнай прыроды – для аматарскага рыбалоўства (56,6 %). Значны працэнт індывідуальных марфаметрычных фактараў (43,6 %) зафіксаваны для катання на водных лыжах і агульных фактараў гідрахімічнага генезісу (43,4 %) – для аматарскага рыбалоўства. Геаграфічная інтэрпрэтацыя ўдзельнай вагі груп фактараў, якія лімітуюцца, вар'іруе ў разрэзе абласцей краіны і залежыць ад выгляду турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання. Вынікі комплекснай ацэнкі прыроднага турысцка-рэкрэацыйнага патэнцыялу рэк дазволілі стварыць навукова-практычную аснову для распрацоўкі стратэгіі развіцця воднага турызму на рэках Беларусі.

**Ключавыя словы:** турысцка-рэкрэацыйны патэнцыял рэк, прыдатнасць рэк для рэкрэацыі, комплексная ацэнка, канцэптуальная мадэль, прафілюючыя віды выкарыстання, фактары, якія лімітуюцца, рэкі Беларусі

**Введение.** В условиях постиндустриального развития сектор туристских услуг становится одной и ведущих отраслей экономики, что определяет актуальность его географического исследования. Главным объектом современного изучения в географии туризма является туристское пространство мира или отдельных стран. В связи с этим остаются не изученными тенденции развития территориальной структуры туризма на региональном уровне и в Республике Беларусь как составной части стран Центрально-Восточной Европы, где идут процессы активной реструктуризации экономики, а сфера туризма в целом и водный туризм в частности выступают мощным стимулятором регионального развития индустрии туризма на полимасштабном уровне.

В связи с этим в XXI в. для интенсивного развития водного туризма в Республике Беларусь большое значение приобретает исследование и оценка природного туристско-рекреационного потенциала (ПТРП) водных ресурсов как материальной основы для идентификации перспектив эволюции внутреннего туризма, так как структура водных ресурсов страны отличается исключительным многообразием, представленным многочисленными реками (20,8 тыс.), озерами (10,8 тыс.) и водохранилищами (130). При этом характерно, что из 18 туристско-рекреационных зон, обладающих весомым ПТРП, более 26 % приурочено к крупным озерам и около 50 % – к речным системам [1]. В то же время зафиксирована тенденция устойчивого роста числа ежегодно отдыхающего населения на объектах рекреационной инфраструктуры (3,207 млн человек в год) как вдоль водных объектов в целом, так и приуроченных к рекам в частности [2] (под ПТРП рек следует понимать комплекс природных условий и ресурсов акватории реки и ее прибрежной части, обладающих эколого-технической безопасностью, физиолого-климатической комфортностью и ландшафтно-эстетической привлекательностью). В этой связи определение возможности туристско-рекреационного использования (ТРИ) рек приобретает практическую значимость, так как именно они располагают наиболее перспективной частью природно-рекреационного потенциала страны, который недостаточно изучен применительно к возможности его ТРИ для различных видов, а потому не в полной мере вовлечен в индустрию водного речного туризма на современном этапе. Как результат, проблема несоответствия между приоритетностью запросов населения к конкретным видам водного туризма и возможностью их удовлетворения становится наиболее острой в рекреационный сезон.

Для устранения указанного дисбаланса в рамках реализации мероприятий Национальной программы по развитию туризма в Республике Беларусь были активизированы и приобрели системный характер работы, направленные на исследование ПТРП рек, выявление специализации их ТРИ, что позволило заложить фундамент для оптимизации системы рекреационного природопользования и корректировки размещения объектов туристско-рекреационной инфраструктуры вдоль рек Республики Беларусь [3].

В целях достижения практико-ориентированных результатов по выявлению возможностей ТРИ ПТРП рек была унифицирована процедура их оценки за счет разработки единого алгоритма проведения комплексного изучения и оценки ТРИ ПТРП рек. Кроме того, была сформирована теоретико-методологическая основа их исследования на полимасштабном уровне (на локальном уровне – это участки рек, на районном,

региональном и страновом – это доля участков рек в районе, области, стране), представленная в форме концептуальной модели ТРИ ПТРП рек, базирующейся на структуре видов водной рекреации и туризма, и системе дифференцированных целевых показателей, идентифицированных с учетом их приоритетов, предъявляемых к организации водных видов ТРИ, с позиции медико-биологической и технической безопасности, физиолого-климатической комфортности и ландшафтно-эстетической привлекательности. В свою очередь, использование целевых показателей как ключевого инструмента концептуальной модели ТРИ ПТРП рек позволило получить результаты их интегральной оценки, послужило практико-ориентированной основой для определения профилирующих видов ТРИ рек и структуры лимитирующих их факторов, а также открыло возможность их географической интерпретации на локальном, региональном, страновом уровнях, создав тем самым научно обоснованный базис для разработки стратегии развития речного туризма в Беларуси.

**Обзор литературы.** Нами был проведен ретроспективный анализ теоретико-методических основ оценки ПТРП водных ресурсов, необходимый для целей водной рекреации и туризма, результаты которого показали отсутствие унифицированной методологии его изучения. В то же время в процессе историографического исследования было выявлено, что ключевые работы по данному вопросу принадлежат ученым ближнего зарубежья и нашей страны. В их числе как классики рекреационной географии Ю. А. Веденин [4], В. С. Преображенский [5], Л. А. Багрова [6], А. И. Игнатенко [7], Л. И. Мухина [8], Ю. Б. Лопатина [9], так и современники: М. В. Гудковских [10], М. А. Саранча [11], Е. О. Ушакова [12], Ю. А. Худеньких [13], М. Д. Шарыгин [14] и др. В то же время теоретико-методологические основы рекреационного водопользования и зонирования были сформулированы в работах А. Б. Авакяна [15], Ю. С. Васильева [16], И. В. Ланцовой [17], а бассейновая концепция природопользования с учетом его экологического генезиса, позволяющая провести функциональное зонирование рек, – Л. М. Корытного [18]. Различными аспектами практико-ориентированной оценки природного потенциала для целей рекреации и туризма занимались зарубежные авторы К. Blazejczyk [19], К. Duda-Gromada [20], S. Kakoyannis, G. Stankey [21], M. Kislovski [22], R. Lacey, E. Pike [23], A. Mammun, M. Soumen [24], M. Chubb, E. Bauman [25], R. Jaakson [26].

Вопросы регионального рекреационного природопользования и аспекты их теоретико-методологической оценки в Республике Беларусь изучали И. И. Пирожник [27], В. М. Широков, П. С. Лопух, Г. М. Базыленко [28] и др. Однако, и это следует отметить, в основе большинства методик оценки ПТРП водных ресурсов отсутствовала ориентация на комплексный подход при их изучении, не применялась система дифференцированных целевых показателей балльной оценки, основанная на современной структуре водных видов ТРИ, что было учтено при разработке концептуальной модели комплексной оценки ПТРП рек для ТРИ на полимасштабном уровне.

**Унифицированная концептуальная модель комплексной оценки туристско-рекреационного природного потенциала рек как основа их полимасштабного изучения.** Теоретико-методологические основы концептуальной модели комплексной полимасштабной оценки ПТРП рек для ТРИ (рис. 1) были обоснованы нами в ранее опубликованных работах [29, 30].

Ключевым механизмом для изучения ТРИ ПТРП рек является концепция его комплексной туристско-рекреационной оценки, представленная в форме модели, в составе которой предусмотрен организационный модуль для решения задач как теоретико-методического, так и практико-ориентированного характера. Для реализации практико-ориентированных задач исследования ПТРП рек, связанных с их оценкой в разрезе профилирующих видов ТРИ и выявления возможности использования ПТРП рек, ключевую роль играет теоретико-методологический этап разработки концептуальной модели комплексного изучения ПТРП рек для ТРИ на полимасштабном уровне. При этом неотъемлемыми структурными элементами концептуальной модели комплексного исследования ТРИ ПТРП рек являются: 1) полимасштабность изучения природного потенциала рек для водных видов рекреации и туризма: участок реки (на локальном уровне), доля участков рек в области (на региональном), удельный вес участков рек в стране (на страновом); 2) организационные этапы исследования природного потенциала рек для ТРИ (программно-исследовательский, теоретико-методологический, аналитический, синтетический, конструктивный); 3) методология комплексного изучения потенциала рек для ТРИ, представленная методикой его изучения, типологией профилирующих видов ТРИ ПТРП рек, их функциональным туристско-рекреационным зонированием на локальном уровне и районированием территории в разрезе административных областей и страны; 4) методика комплексной оценки природного потенциала рек для ТРИ, базирующаяся на интеграции медико-биологической, технологической и психолого-эстетической оценок и системе дифференцированных целевых показателей в соответствии со структурой видов ТРИ; 5) типология профилирующих видов ТРИ природного потенциала рек, позволившая выявить их туристско-рекреационную специализацию на всех территориальных иерархических уровнях; 6) функциональное туристско-рекреационное зонирование рек и районирование территории в разрезе административных областей и страны, результаты которого создали основу для выявления географических особенностей размещения природного потенциала рек для ТРИ; 7) стратегия развития водных видов ТРИ ПТРП рек Беларуси [30].

Ключевым элементом унифицированной методологии комплексного исследования потенциала рек для водных видов ТРИ является одноименная методика их комплексной оценки, применение которой позволило определить пригодность потенциала участков рек на уровне профилирующих видов ТРИ с учетом лимитирующих их факторов.

Профилирующий вид ТРИ – это вид водной рекреации или туризма, условия медико-биологической и технической безопасности, физиолого-климатической комфортности и ландшафтно-эстетической привлекательности ПТРП которого соответствуют нормативно установленным [29].

Лимитирующий фактор – это причина, по которой в настоящее время невозможна организация конкретного вида водного ТРИ реки [29].

Основой для выявления профилирующих видов ТРИ и лимитирующих их факторов послужила система целевых показателей, установление критериев которых проведено на базе экологического нормирования и принципов, определяющих условия медико-биологической и технической безопасности, физиолого-климатической комфортности и ландшафтно-эстетической привлекательности ПТРП [4, 5, 16, 29].

Целевые показатели – это система сопряженных показателей, отражающих состав и свойства водной среды и иные, не связанные с качеством воды количественные и качественные параметры акватории и прибрежной территории, определяющие их безопасную реализацию, комфортность и привлекательность для различных видов ТРИ [31].

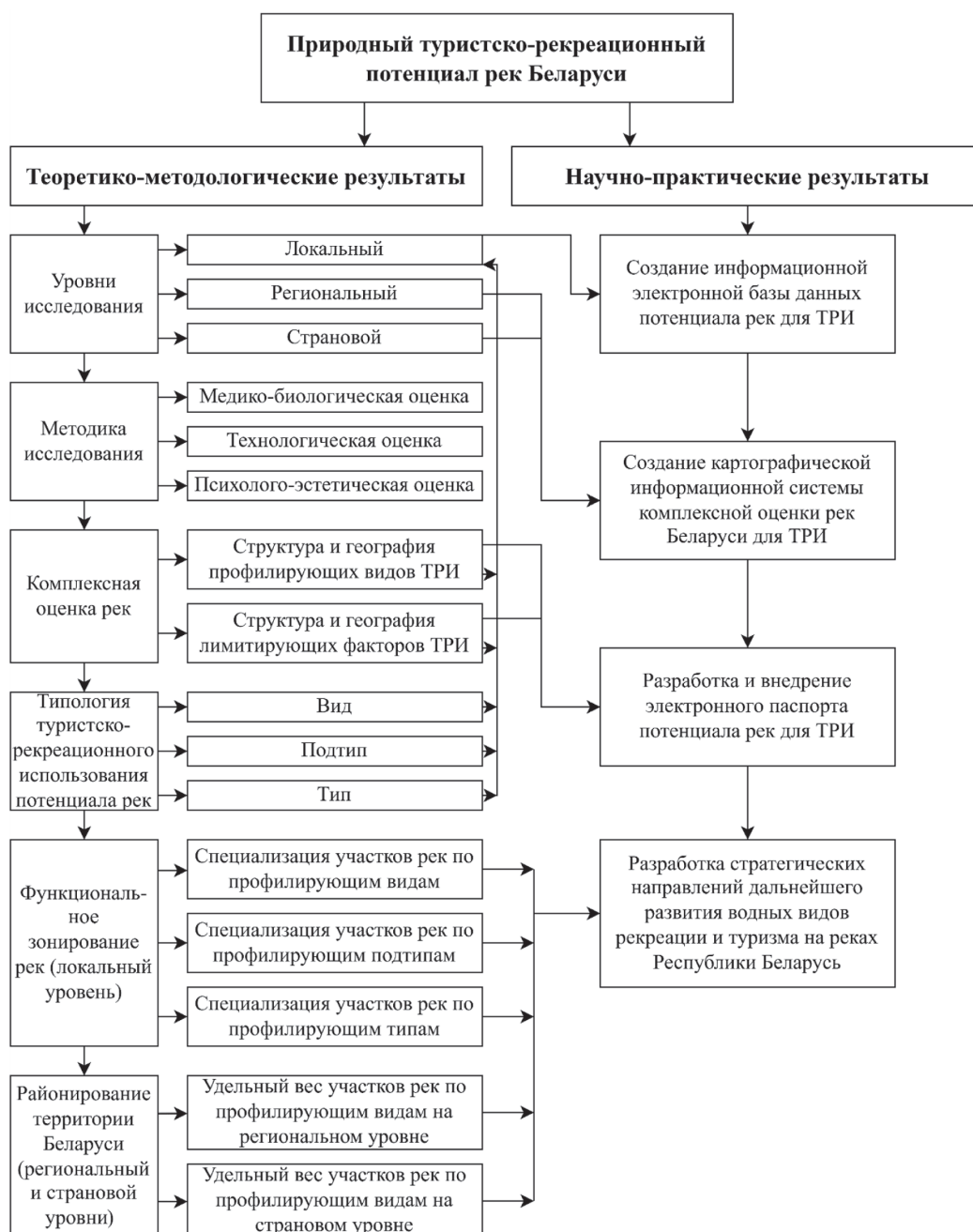


Рис. 1. Концептуальная модель комплексного изучения и оценки природного туристско-рекреационного потенциала рек [30]

Основой для формирования системы дифференцированных целевых показателей в разрезе видов ТРИ (контактные: купание, подводное плавание, катание на водных лыжах; бесконтактные: гребля на лодках, катание на яхтах; промысловые: любительская охота и любительское рыболовство) послужили системно-структурный, функциональный и экологический подходы, геосистемная и геопространственная парадигмы, а также положения экологического нормирования, адаптированные к комплексной оценке ПТРП рек для видов ТРИ [29, 32].

В структуре целевых показателей, характеризующих природный потенциал рек для ТРИ, по внутреннему содержанию и функциональному назначению выделены четыре группы: 1) общие – это свойственные водной среде и прибрежной территории показатели качества, критерии которых регламентируют реализацию большинства видов ТРИ; 2) особые – показатели, отражающие уровень загрязнения акватории или ее побережья; 3) индивидуальные – показатели, учитывающие физические или иные свойства акватории, обеспечивающие безопасность проведения контактных и бесконтактных видов ТРИ; 4) специфические – показатели, регламентирующие реализацию отдельных видов ТРИ (подводное плавание, любительская охота, любительское рыболовство) [29].

Структура всех групп целевых показателей в разрезе видов ТРИ и критериев, их регламентирующих, представлена в табл. 1–4.

**Таблица 1. Структура и нормирование общих показателей, определяющих качество акватории туристско-рекреационного использования**

Структура общих показателей	Показатель	Норматив	Вид туристско-рекреационного использования
Гидрологические	Скорость течения	Для купания, подводного плавания, гребли на лодках – не выше 0,3 м/с, катания на водных лыжах, катания на яхтах – до 0,5 м/с	Купание, подводное плавание, гребля на лодках, катание на водных лыжах
	Расход воды	Для купания, подводного плавания, гребли на лодках – до 100 м <sup>3</sup> /с, катания на водных лыжах – до 50 м <sup>3</sup> /с, катания на яхтах – до 30 м <sup>3</sup> /с, гребли на лодках – не выше 5 м <sup>3</sup> /с	Купание, подводное плавание, гребля на лодках, катание на водных лыжах, катание на яхтах
	Колебание уровня	Для купания, подводного плавания, гребли на лодках – не более 0,2 м за рекреационный сезон, катания на водных лыжах – не выше 0,3 м в течение рекреационного сезона	Купание, подводное плавание, гребля на лодках, катание на водных лыжах
Гидрофизические	Взвешенные вещества	Содержание взвешенных веществ – не выше 30 мг/л. Не допускается содержания в воде взвешенных веществ природного происхождения (хлопья гидроксидов металлов, асбест, стекловолокно, капрон и др.)	Все виды ТРИ
	Прозрачность	Не менее 2,0 м по диску Секки	Все виды ТРИ
	Цветность	Не более 40°	Все виды ТРИ
	Плавающие примеси, нефтепродукты	Уровень содержания нефтепродуктов – не более 0,3 мг/л. На поверхности не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей	Все виды ТРИ
Гидрохимические	Интенсивность запаха	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов	Все виды ТРИ
	Водородный показатель (рН)	6,5–8,5	Все виды ТРИ
	Минерализация воды	Не более 1 000 мг/л (хлоридов – 350 мг/л, сульфатов – 500 мг/л)	Все виды ТРИ
	Растворенный кислород	Не менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной до 12.00	Все виды ТРИ
	Биологическое потребление кислорода (БПК5)	Не выше 4 мг O <sub>2</sub> /л	Все виды ТРИ
	Химическое потребление кислорода	Не менее 30 мг O <sub>2</sub> /л	Все виды ТРИ
	Химические вещества	Не содержатся в воде водных объектов в концентрациях, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) или ориентировочные допустимые уровни (ОДУ)	Все виды ТРИ

Окончание табл. 1

Структура общих показателей	Показатель	Норматив	Вид туристско-рекреационного использования
Климатические	Интегральная продолжительность комфортного климатического периода	Для купания, подводного плавания – не менее 51 дня, гребли на лодках – от 77 дней, катания на водных лыжах и яхтах – не менее 15 дней	Купание, подводное плавание, гребля на лодках, катание водных лыжах, катание на яхтах
Ландшафтные	Пляжи и их размеры	Размер (от 15 м) и наличие естественных травяных, песчаных пляжей	Купание
Психолого-эстетические	Эстетическое разнообразие ландшафтов побережья	Частота сменяемости природно-антропогенных комплексов (ПАК): 1–2 ПАК/1км	Подводное плавание
		Частота сменяемости ПАК: 1–10 ПАК/1км	Катание на водных лыжах, катание яхтах
		Частота сменяемости ПАК: 1–4 ПАК/1км	Гребля на лодках, любительская охота, любительское рыболовство

Примечание. Таблица составлена на основании [32, 33].

**Таблица 2. Структура и нормирование особых показателей, регламентирующих качество вод туристско-рекреационного назначения**

Структура особых показателей	Показатель	Норматив	Вид туристско-рекреационного использования
Микробиологические	Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний	Все виды ТРИ
	Число лактозо-положительных кишечных палочек	Не должны содержаться в 25 дм <sup>3</sup> воды	Все виды ТРИ
	КМАФА нМ (термотолерантные колиформные бактерии)	Не более 100 КОЕ/100 см <sup>3</sup>	Все виды ТРИ
	Общие колиформные бактерии	Не более 500 КОЕ / 100 см <sup>3</sup>	Все виды ТРИ
	БГКП (колиформы)	Не более 10 КОЕ /100 см <sup>3</sup>	Все виды ТРИ
Радиологические	Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии	$\sum (A_i / Y_{Vi}) \leq 1$ , где $A_i$ – удельная активность i-го радионуклида в воде; $Y_{Vi}$ – соответствующий уровень для i-го радионуклида	Все виды ТРИ
Токсические вещества (тяжелые металлы)	Ртуть (Hg) (CAS 7439-97-6) Свинец (Pb) (CAS 7439-92-1) Мышьяк (As) (CAS 7440-38-2) Никель (Ni) (CAS 7440-02-0) Кадмий (Cd) (CAS 7440-43-9) Медь (Cu) (CAS 7440-50-8) Цинк (Zn) (CAS 7440-66-6) Хром (Cr-VI) Мышьяк (As)	0,0002 мг/л 0,03 мг/л 0,005 мг/л 0,1мг/л 0,0005 мг/л 1,0 мг/л 1,0 мг/л 0,05 мг/л 0,005 мг/л	Все виды ТРИ

Примечание. Таблица составлена на основании [32, 33].

**Таблица 3. Структура и нормирование специфических показателей, определяющих качество акватории туристско-рекреационного назначения**

Структура индивидуальных показателей	Показатель	Норматив	Вид туристско-рекреационного использования
Морфометрические	Ширина зоны мелководий с глубинами	Более 20 м с глубинами до 0,5–0,7 м (для детей) и до 1,4 м (для взрослых)	Купание
	Глубина	Более 2 м	Подводное плавание, катание на водных лыжах, катание на яхтах
		0,8 м	Гребля на лодках
	Ширина	Более 200 м	Катание на водных лыжах
		Более 10 м	Гребля на лодках
		Более 50	Катание на яхтах
	Длина	Более 2 км	Катание на водных лыжах, катание на яхтах
		Более 0,5 км	Гребля на лодках
	Продольный уклон	0,02 ‰	Купание
		0,02 ‰	Гребля на лодках
Литологические	Характер дна	Песчаный, гравийный или галечный характер дна	Купание, подводное плавание

*Примечание.* Таблица составлена на основании [32, 33].

**Таблица 4. Структура и нормирование индивидуальных показателей, определяющих качество акватории туристско-рекреационного использования**

Структура индивидуальных показателей	Показатель	Норматив	Вид туристско-рекреационного использования
Гидробиологические	Видовое разнообразие рыбы, виды	Более 65	Подводное плавание, любительское рыболовство
	Продуктивность	Более 60,0 кг/м <sup>2</sup>	Подводное плавание, любительское рыболовство
	Видовое разнообразие макрофитов, виды	До 40	Подводное плавание
	Биомасса подводных макрофитов	Более 0,35 кг /м <sup>2</sup>	Подводное плавание
	Площадь зарастания акватории подводными макрофитами,	Более 60 % и менее 20 %	Подводное плавание
	Глубина распространения макрофитов	Менее 1 м	Подводное плавание

*Примечание.* Таблица составлена на основании [32, 33, 36].

В итоге после идентификации и экологического нормирования целевых показателей для процедуры комплексной оценки ПТРП рек Беларуси для каждого вида водной рекреации и туризма была сформирована система целевых показателей для купания (гидрологический, гидрофизический, гидрохимический, климатический, ландшафтный, радиологический, токсикологический, микробиологический, морфометрический, литологический), подводного плавания, любительского рыболовства и охоты кроме вышеуказанных дополнительно учитывалось видовое разнообразие флоры и фауны. Для катания на водных лыжах использовались показатели, идентичные выделенным для купания, исключая литологический. Для бесконтактных видов основой для изучения потенциала рек послужили климатический, радиологический, микробиологический и морфометрический показатели, а для промысловых видов – радиологический, токсикологический и микробиологический наряду с показателями видового разнообразия фауны и флоры [29, 34, 35].

Доля пригодных участков рек в районе, %

- менее 20 - очень низкая
- 20 - 40 - низкая
- 40 - 60 - средняя
- 60 - 80 - высокая
- 80 -100 - очень высокая
- Административные районы
- Полесский государственный радиационно-экологический заповедник



Рис. 2. Процент пригодных участков рек в районах Республики Беларусь для купания

Доля пригодных участков рек в районе, %

- менее 20 - очень низкая
- 20 - 40 - низкая
- 40 - 60 - средняя
- 60 - 80 - высокая
- 80 -100 - очень высокая
- Административные районы
- Полесский государственный радиационно-экологический заповедник



Рис. 3. Доля пригодных участков рек в районах Республики Беларусь для гребли на лодках



Рис. 4. Доля пригодных участков рек в районах Республики Беларусь для любительского рыболовства

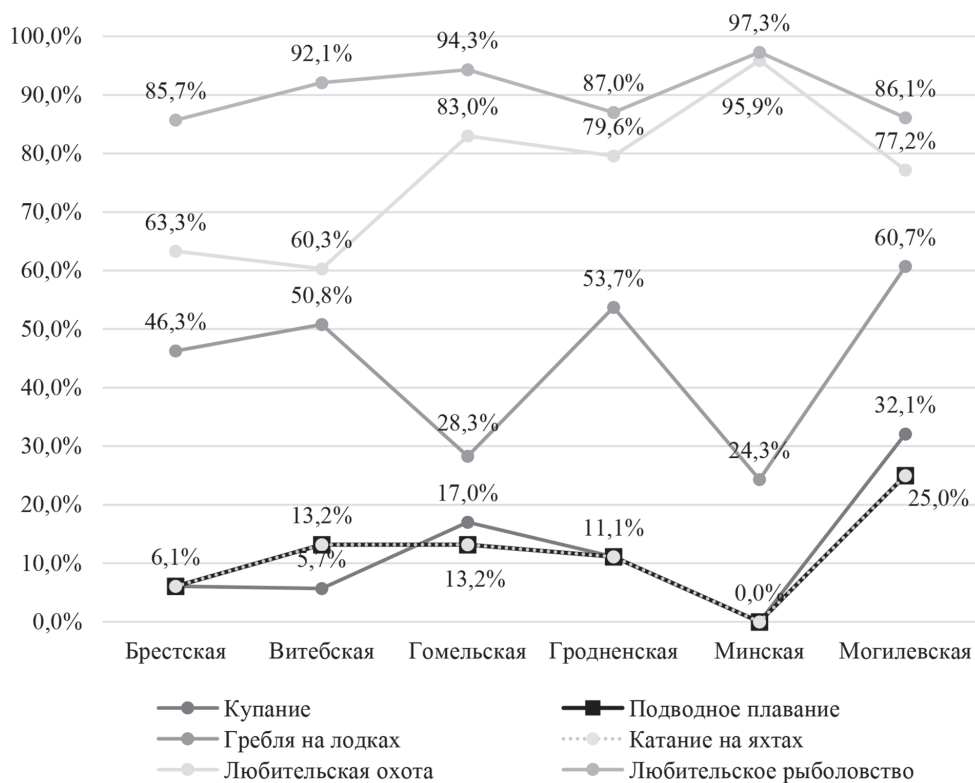


Рис. 5. Доля пригодных участков рек для разных видов туристско-рекреационного использования в разрезе областей Беларуси

Руководствуясь принципами функциональной избирательности водных видов ТРИ к качеству акватории и побережья рек и необходимостью обеспечения медико-биологической безопасности их реализации для организма человека была определена система из целевых показателей для комплексной оценки природного потенциала каждого участка реки. Количество и перечень целевых показателей, отражающих пригодность участка для контактных видов, варьируют от 41 (для катания на водных лыжах) до 42 (для купания и подводного плавания), для бесконтактных – от 19 (для катания на яхтах) до 20 (для гребли на лодках), а для промысловых – от 24 (для любительской охоты) до 28 (для любительского рыболовства) (см. табл. 1–4) [29, 32].

Комплексная оценка ПТРП рек Беларуси и установление профилирующих видов ТРИ проводились от частного к общему, то есть от определения пригодности участка реки в разрезе ТРИ на локальном уровне до идентификации доли пригодных участков реки в разрезе конкретных видов ТРИ на уровне районов, областей и страны. Абсолютно идентична процедура выявления факторов, лимитирующих ТРИ в разрезе видов.

По каждому конкретному виду ТРИ конечный результат представлен в форме балльной оценки, итоговое значение которой формировалось путем присвоения каждому фактическому показателю 1 балла при его соответствии нормативному значению или 0 – при его отсутствии. При несоответствии фактических данных гигиеническим и санитарным нормативам по гидрохимическим и микробиологическим показателям качества вод, гидрологического режима, морфометрических параметров русла итог арифметического суммирования показателей превращался в нулевой. Данная процедура оценки автоматически определяет невозможность использования участка реки при несоответствии даже одного показателя нормативному, что предусмотрено ГОСТ 17.1.5.02-80 «Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов» [34].

Итоговое значение комплексной оценки природного потенциала участка реки для вида ТРИ определялось в автоматическом режиме по формуле:

$$КО \text{ ПТРП} = K (a_1 + a_2 + \dots + a_n),$$

где КО ПТРП – конечный результат комплексной оценки по виду ТРИ, а – значение целевого показателя, регламентирующего вид ТРИ, К – суммарный коэффициент значимости целевого показателя.

Общий массив обработанных данных для комплексной оценки ПТРП в разрезе видов ТРИ составил 62,8 тыс. значений. Статистические данные по потенциалу участков рек в разрезе видов ТРИ были подвержены многофакторному и геопространственному анализу (модули Spatial Analyst ГИС ESRI ArcView) на трех пространственных уровнях: локальном (участки рек), региональном (доля участков рек в административных областях) и страновом (доля участков рек в стране).

Результаты автоматического подсчета результатов оценки ПТРП рек для ТРИ позволили провести паспортизацию участков с определением их специализации и уровня туристско-рекреационной пригодности по двухступенчатой шкале (благоприятный и неблагоприятный), а также сформировать на локальном уровне информационную электронную базу данных (ИЭБД) ГИС «Природный туристско-рекреационный потенциал участков рек Республики Беларусь: профилирующие виды и лимитирующие факторы». На основе данных об уровне пригодности ПТРП рек рассчитаны показатели доли участков с благоприятным потенциалом для профилирующих видов ТРИ в полимасштабном формате, занесенные в модули ИЭБД, предусмотренные для регионального и странового уровней оценки природного потенциала рек для ТРИ. ИЭБД послужила информационной основой для типизации участков рек по пригодности их ПТРП и функционального туристско-рекреационного зонирования рек и территории Беларуси на полимасштабном уровне с использованием функций пространственного анализа.

Итоги географической интерпретации результирующих значений комплексной оценки ТРИ ПТРП по удельному весу пригодных участков рек для профилирующих видов на региональном уровне отражены на рис. 2–5 и послужили практической основой для идентификации структуры профилирующих видов на страновом, базисом для разработки типологии ТРИ ПТРП рек и проведения на основе ее результатов туристско-рекреационного пространственно-функционального зонирования акваторий рек на полимасштабном уровне [15, 29].

На региональном уровне итоги комплексной оценки ТРИ ПТРП 372 участков 166 рек позволили выявить следующие закономерности и особенности географии профилирующих видов ТРИ в разрезе областей Беларуси (см. рис. 2–5).

В частности, реки Брестской обл. характеризуются наилучшим ПТРП для любительской охоты (85,7 %), любительского рыболовства (63,3 %) и гребли на лодках (38,8 %), а минимальный процент пригодных участков рек выявлен для купания и подводного плавания (по 6,1 %). Промежуточное значение между максимумом и минимумом по доле благоприятных участков рек зафиксировано для катания на яхтах (14,3 %), в то время как катание на водных лыжах невозможно ни на одной из рек области.

Идентификация структуры профилирующих видов на реках Витебской обл. позволила установить их максимальную пригодность для любительского рыболовства (92,1 %), любительской охоты (69,84 %) и гребли на лодках (63,5 %), а минимальную – для купания (4,8 %), катания на яхтах (3,2 %)

и водных лыжах (1,6 %). Кроме того, невысок процент участков рек, пригодных для подводного плавания (11,1 %).

В результате комплексной оценки ПТРП рек Гомельской обл. выявлено, что в структуре профилирующих видов ТРИ доминируют любительское рыболовство и любительская охота, возможность реализации которых выявлена для 94,3 и 83,0 % участков рек соответственно, а минимум благоприятных участков рек зафиксировано для купания (17,0 %), подводного плавания (13,2 %) и катания на водных лыжах (3,8 %). Медианное положение между крайними значениями по доле пригодных участков рек занимают катание на яхтах (32,1 %) и гребля на лодках (28,3 %).

В структуре профилирующих видов ТРИ рек Гродненской обл. наиболее массовыми видами ТРИ являются: любительское рыболовство (87,0 %), любительская охота (79,6 %) и гребля на лодках (51,9 %), минимальна доля участков с благоприятными условиями ПТРП для катания на яхтах (5,5 %), незначителен и абсолютно идентичен процент пригодных участков для купания и подводного плавания (по 11,1 %). На реках западной области отсутствуют условия для катания на водных лыжах.

Результаты комплексной оценки ПТРП рек Минской обл. показали, что ее участки преимущественно пригодны для реализации любительской охоты (98,6 %) и любительского рыболовства (95,8 %). Минимальна доля благоприятных участков для купания и катания на яхтах (по 4,1%), а также для подводного плавания (1,3 %). При этом пригодными условиями для гребли на лодках обладают 24,3% участков. В то же время в столичной области не выявлено участков рек с благоприятным ПТРП для катания на водных лыжах.

Среди профилирующих видов ТРИ в Могилевской обл. лидируют любительское рыболовство (88,6 %) и любительская охота (98,6 %). Минимальный удельный вес пригодных участков зафиксирован для подводного плавания (8,9 %), в то время как их процент для купания и катания на яхтах идентичен и равен 11,4 % для каждого вида. Доля благоприятных участков рек для гребли на лодках составила 21,5 %, при этом в восточной области не выявлено пригодных участков рек для катания на водных лыжах.

В случае отсутствия на локальном уровне участка реки с благоприятным статусом для ТРИ в составе комплексной оценки ПТРП обязательна процедура идентификации генезиса и географии лимитирующих ТРИ факторов на региональном и страновом уровнях. Это связано с тем, что при несоответствии значения фактического параметра целевому показателю, не обеспечивающий условие для реализации вида ТРИ, автоматически трансформируется в лимитирующий фактор, принадлежащий идентичной по названию группе факторов, что и целевой [29].

По окончании процедуры выделения участков рек с неблагоприятными условиями ПТРП участков на локальном уровне была проведена географическая интерпретация обобщенных результатов по структуре лимитирующих факторов на региональном уровне, позволившая установить как пространственные закономерности, так и различия областей в структуре лимитирующих факторов для разных видов ТРИ.

В составе лимитирующих факторов для контактных видов ТРИ (купание, подводное плавание, катание на водных лыжах) устойчиво доминирует доля общих (гидрологические, гидрохимические и ландшафтные), далее в направлении убывания располагаются индивидуальные (преимущественно морфометрические или в сочетании с литологическими) и особые (микробиологические) факторы, диапазон которых варьирует в зависимости от вида ТРИ и области. В частности, для купания, подводного плавания и катания на водных лыжах процент общих факторов (гидрологические, гидрохимические и ландшафтные) изменяется от максимума для этих видов в Гомельской обл. (соответственно 92,0, 82,0 и 59,2 % в разрезе видов ТРИ) до минимума, зафиксированного в Гродненской обл. для купания (73,9 %), в Витебской обл. – для подводного плавания (58,9 %), в Минской обл. – для катания на водных лыжах (47,6 %). Доля же индивидуальных факторов (морфометрические – для купания и катания на водных лыжах в сочетании с литологическими – для подводного плавания) для них ниже и изменяется для купания от 20,1 % в Гродненской обл. до 3,1 % в Гомельской обл., для подводного плавания – от 33,7 % в Витебской обл. до 12,6 % в Гомельской обл., а для катания на водных лыжах – от 51,1 % в Минской обл. до 34,5 % в Гомельской обл. При этом удельный вес особых (микробиологические) факторов не значителен и варьирует для купания от 7,5 % в Витебской и Брестской обл. до 1,6 % в Минской обл., для подводного плавания – от 34,0 % в Гродненской обл. до 5,2 % в Могилевской обл., а для катания на водных лыжах – от 7,4 % в Брестской обл. до 1,1% в Гродненской обл.

На уровне областей для бесконтактных видов ТРИ (гребля на лодках, катание на яхтах) выявлена неидентичность структуры ограничивающих их факторов, зависящая от вида ТРИ. Так, для гребли на лодках лидирует доля общих факторов (преимущественно сочетание гидрологических, гидрохимических, ландшафтных, в отдельных областях – комбинация из гидрологических и ландшафтных или только гидрологических) в пяти областях (кроме столичной – 34,5%), а диапазон их удельного веса изменяется от максимума в Брестской обл. (97,8 %) до минимума в Гомельской обл. (67,7 %). В то же время для гребли на лодках значителен процент индивидуальных (морфометрические) факторов, выявленный для участков рек во всех областях, значение которого варьирует от 62,0 % в Минской обл. до 2,2 % в Брестской обл. Минимальная доля особых (микробиологические) факторов для гребли на лодках зафиксирована только в столичной области (2,6 %) и не выявлена в других областях. В свою очередь, для катания на яхтах в структуре лимитирующих факторов доминирует процент индивидуальных (морфометрические), значе-

ние которого изменяется от 83,2 % в Минской обл. до 46,1 % в Витебской обл. Доля же общих факторов (гидрологические, гидрохимические, ландшафтные) для катания на яхтах характеризуется более ограниченным интервалом значений, который варьирует от 51,8 % для участков рек Брестской обл. до 15,0 % столичной области. При этом удельный вес особых факторов (микробиологические) для катания на яхтах изменяется в более узком диапазоне – от 48,9 % в Гродненской обл. до 0,0% в Гомельской обл.

Исключительной однородностью отличается структура лимитирующих факторов для такого промыслового вида ТРИ, как любительское рыболовство на участках рек пяти областей, в которых выявлены только общие факторы (100 %), представленные гидрохимическими. Однако для рек Могилевской обл. при доминировании (58,8 %) общих (гидрохимические) факторов выявлен значительный удельный вес (41,22 %) особых (микробиологических). В то же время для любительской охоты на реках Брестской и Гродненской обл. зафиксированы исключительно общие факторы (ландшафтные) (100 %), в Гомельской и Минской обл. – исключительно особые (микробиологические) (100 %), в Могилевской обл. при доминанте общих факторов (ландшафтные) (70,8 %) выявлено наличие особых (микробиологические) (29,2 %), а в Витебской обл. – при приоритете общих (ландшафтные) (71,4 %) выявлено наличие значительной доли особых факторов (микробиологические) (28,6 %).

Результаты идентификации структуры профилирующих видов ТРИ и лимитирующих их факторов на участках рек послужили основой для выявления географических закономерностей и особенности их распространения на полимасштабном уровне, а также позволили сформировать научно-практическую основу для типизации участков рек и проведения функционального зонирования с целью разработки стратегических направлений развития водных видов ТРИ ПТРП рек Беларуси.

**Заключение.** Для унификации полимасштабного изучения и оценки ТРИ ПТРП рек была разработана концептуальная модель их изучения, принципиально новым элементом которой является концепция комплексной туристско-рекреационной оценки ПТРП рек на основе одноименной методики его исследования, базирующейся на структуре видов ТРИ и системе дифференцированных целевых показателей, определяющих возможность и безопасность их реализации, практическая апробация которых с использованием ГИС-технологий позволила выявить профилирующие виды ТРИ и лимитирующие их факторы в качестве основы для функциональной типизации и туристско-рекреационного зонирования рек, обеспечив полимасштабность географического изучения ТРИ ПТРП рек как базиса для определения перспектив развития внутреннего туризма на реках Беларуси.

Результаты комплексной оценки ТРИ ПТРП 372 участков 166 рек на страновом уровне позволили выявить, что природный потенциал рек во всех областях наиболее пригоден для таких профилирующих видов ТРИ, как любительское рыболовство (от 95,8 % участков в Минской обл. до 63,3 % в Брестской обл.), любительская охота (от 98,6 % в Минской обл. до 69,84 % в Витебской обл.) и гребля на лодках (от 63,5 % в Витебской обл. до 21,5 % в Могилевской обл.). Кроме того, в разрезе областей зафиксирован невысокий процент пригодности участков рек со специализацией ПТРП для купания (от 17,0 % в Гомельской обл. до 4,1 % в Минской обл.) и подводного плавания (от 13,2 % в Гомельской обл. до 1,3 % в Минской обл.), а возможность катания на яхтах выявлена во всех областях, но со значительным диапазоном доли пригодных участков рек, варьирующим от 32,1 % в Гомельской обл. до 4,1 % в Минской обл. При этом благоприятными условиями для катания на водных лыжах располагают только две области: Гомельская (1,9 %) и Витебская (1,6 %), что связано с наличием на их территории главных рек.

Изучение возможности использования ПТРП рек для ТРИ показало преимущественно непригодность их участков для купания, подводного плавания, катания на водных лыжах и яхтах в Брестской, Гомельской, Могилевской обл., для купания, подводного плавания, катания на водных лыжах – в Гродненской, Минской обл., для купания и подводного плавания – в Витебской обл. Для отдельных участков рек всех областей страны зафиксированы неблагоприятные условия для гребли на лодках, для Витебской и Гродненской обл. – для любительской охоты и любительского рыболовства, для Гомельской, Минской и Могилевской обл. – для любительской охоты.

В итоге комплексной оценки для всех видов ТРИ на региональном уровне, исключая промышленные, выявлены три группы лимитирующих факторов: общие, особые и индивидуальные, в то время как для любительского рыболовства и любительской охоты – только две группы, представленные общими и особыми. Доминирующая группа в структуре лимитирующих факторов зависит от вида ТРИ. В частности, доля общих факторов, представленных сочетанием из гидрологических, гидрохимических и ландшафтных, лидирует для купания (84,4 %), гребли на лодках и любительской охоты (по 72,9 %), подводного плавания (71,2 %) и катания на водных лыжах (53,1 %), индивидуальные факторы морфометрического характера – для катания на яхтах (56,3 %), а особые факторы гидрохимической природы – для любительского рыболовства (56,6 %). Остальные группы факторов в разрезе видов ТРИ играют второстепенную роль. Исключение составляет существенная доля индивидуальных морфометрических факторов (43,6 %), зафиксированная для катания на водных лыжах, и общих факторов гидрохимического генезиса (43,4 %), выявленная для любительского рыболовства.

Географическая интерпретация удельного веса различных групп лимитирующих факторов варьирует в разрезе областей страны и зависит от вида ТРИ. В частности, выявлена максимальная доля общих факторов, представленных разными сочетаниями гидрологических, гидрохимических и ландшафтных по-

казателей, зависящими от вида ТРИ. Максимальный удельный вес общих факторов зафиксирован в Гомельской обл. для купания (92,0 %), подводного плавания (82,0 %) и катания на водных лыжах (59,2 %), в пяти областях (кроме Могилевской) – по 100 % для любительского рыболовства, в Брестской и Гродненской обл. – по 100 % для любительской охоты, в Брестской обл. – для гребли на лодках (97,8 %) и катания на яхтах (51,8 %). Лидером по проценту индивидуальных факторов для купания (20,0 %) и подводного плавания (34,0 %) является Гродненская обл., в структуре факторов которой выявлены морфометрические показатели для первого вида ТРИ и их сочетание с литологическими – для второго. Кроме того, высокой долей индивидуальных факторов морфометрического происхождения выделяются Гомельская обл. – для катания на яхтах (77,8 %) и Минская обл. – для гребли на лодках (62,0 %). Наибольший процент особых факторов (микробиологические) зафиксирован в Брестской обл. для подводного плавания (10,7 %), купания (10,0 %) и катания на водных лыжах (7,4 %), в Минской обл. – для гребли на лодках (2,6 %), в Гомельской и Минской обл. – для любительской охоты (по 100 %), в Могилевской обл. – для любительской охоты и любительского рыболовства (41,2 %).

#### Список использованных источников

1. Блакітная кніга Беларусі (водныя аб'екты Беларусі) : энцыклапедыя / рэдкал.: Н. А. Дзісько, М. М. Курловіч, Я. В. Малашэвіч, С. П. Самуэль, Б. І. Сачанка, І. П. Хаўратовіч, В. П. Якушка. – Мн. : Бел. Энцыкл. імя Петруся Броўкі, 1994. – 416 с.
2. Туризм и туристические ресурсы Республики Беларусь, 2024 : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2024. – 83 с.
3. Об утверждении Национальной программы развития туризма в Республике Беларусь на 2006–2010 годы и признании утратившими силу некоторых постановлений Совета Министров Республики Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 авг. 2005 г. № 927 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2005. – № 137. – 5/16437.
4. Vedenin, Y. A. Evolution of the recreational functions of a territory / Y. Vedenin // Soviet Geography. – 1978. – Vol. 19, № 9. – P. 646–659.
5. Preobrazhenskiy, V. S. Development of recreational geography in the USSR / V. S. Preobrazhenskiy, Y. A. Vedenin, N. M. Stupina // GeoJournal. – 1984. – Vol. 9, № 1. – P. 77–82.
6. Багрова, Л. А. Рекреационные ресурсы / Л. А. Багрова, Н. В. Багров, В. С. Преображенский // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. – 1977. – № 2. – С. 5–12.
7. Игнатенко, А. И. Рекреационные территориальные системы: научные основы развития и функционирования / А. И. Игнатенко. – Киев : УМК ВО при МинВУЗе УССР, 1989. – 85 с.
8. Мухина, Л. И. Опыт разработки методики рекреационной оценки природных комплексов / Л. И. Мухина. – М. : Турист, 1975. – 128 с.
9. The present state and future tasks in the theory and method of an evaluation of the natural environment and resources : edited by Y. V. Lopatina // Soviet Geography. – 1971. – Vol. 12, № 3. – P. 142–151.
10. Гудковских, М. В. Методика комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала / М. В. Гудковских // Географический вестник. – 2017. – № 1 (40). – С. 102–116.
11. Саранча, М. А. Туристский потенциал территории: проблематика определения сущности и структуры / М. А. Саранча // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2015. – Т. 25, вып. 1. – С. 134–140.
12. Ушакова, Е. О. Методологические основы оценки ресурсов развития туризма региона / Е. О. Ушакова, И. И. Золотарев, С. А. Вдовин. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 194 с.
13. Худеньких, Ю. А. Подходы к оценке туристско-рекреационного потенциала на примере районов Пермского края / Ю. А. Худеньких // География. – 2006. – № 2. – С. 217–230.
14. Шарыгин, М. Д. Природно-ресурсный потенциал и его оценка / М. Д. Шарыгин, Т. В. Субботина, С. Б. Фоминых // Эколого-экономические районы (теоретико-методологические аспекты развития) : монография / под ред. М. Д. Шарыгина. – Пермь : ПГНИУ, 1995. – С. 108–118.
15. Avakian, A. V. Ecological Problems of River Systems Regulated by Reservoirs / A. V. Avakian // Restoration of degraded rivers: Challenges, Issues and Experiences. – Dordrecht : Springer, 1998. – P. 85–98.
16. Васильев, Ю. С. Использование водоемов и рек в целях рекреации / Ю. С. Васильев, В. А. Кукушкин. – Л. : Гидрометеоздат, 1988. – 225 с.
17. Lantsova, I. V. Geoenvironmental problems of recreational use of the Ivankovo Reservoir / I. V. Lantsova, I. L. Grigor'eva, O. A. Tikhomirov // Water resources. – 2005. – Vol. 32, № 1. – P. 107–113.
18. Корытный, Л. М. Экологические основы природопользования : учеб. пособие / Л. М. Корытный, Е. В. Потапова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2020. – 377 с.
19. Blazejczyk, K. Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance / K. Blazejczyk // Proceedings of the 1st International Workshop on Climate, Tourism and Recreation, Int. Soc. Biomet., Commission on Climate, Tourism and Recreation. – 2001. – WP 11. – P. 1–20.
20. Duda-Gromada, K. Use of river reservoirs for tourism and recreation case study: Solińskie Lake in Poland / K. Duda-Gromada // Polish Journal of Natural Science. – 2012. – № 27 (4). – P. 367–376.
21. Kakoyannis, C. Assessing and evaluating recreational uses of water resources: implications for an integrated management framework / C. Kakoyannis, G. H. Stankey. – Oregon State University, 2002. – 72 p.
22. Kislovski, M. Metoda oceny wielkości potencjału rekreacyjnego na przykładzie Polski południowo-wschodniej / M. Kislovski // Ecologia krajobrazu w badaniach territorialnych systemów rekreacyjnych. – Poznań, 1993. – P. 53–57.
23. Lacey, R. F. Water Recreation and Risk / R. F. Lacey, E. B. Pike // Water and Environment Journal. – 1989. – № 3 (1). – P. 13–21.

24. Mammun, A. Al. Methodology for Assessing Tourism Potential: Case Study Murshidabad District, West Bengal, India / A. Al. Mammun, M. Soumen // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2012. – Vol. 2, № 9. – P. 1–8.
25. Chubb, M. The Rivers Method: A Pilot Study of River Recreation Potential Assessment / M. Chubb, E. H. Bauman. – Michigan : Michigan State University, Dept. of Geography, East Lansing, 1976. – P. 12–22.
26. Jaakson, R. River Recreation Boating Impacts / R. Jaakson // Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. – 1988. – № 114 (3). – P. 363–367.
27. Pirozhnik, I. Geography of Tourism of the Republic of Belarus / I. Pirozhnik // The Geography of Tourism of Central and Eastern European Countries (edited by K. Widawski, J. Wyrzykowski). – Springer, Cham, 2017. – P. 19–70.
28. Водохранилища Белоруссии – природные особенности и взаимодействие с окружающей средой / под ред. В. М. Широкова. – Мн. : Университетское, 1991. – 207 с.
29. Шевцова Н. С. Теоретико-методологические основы полимасштабного изучения и оценки туристско-рекреационного природного потенциала рек / Н. С. Шевцова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. – 2022. – Т. 39. – С. 99–122.
30. Шевцова, Н. С. Типизация рек Беларуси по специализации туристско-рекреационного использования их природного потенциала / Н. С. Шевцова, М. М. Максимов // Природные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 79–88.
31. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к содержанию поверхностных водных объектов при их рекреационном использовании», Гигиенического норматива «Допустимые значения показателей безопасности воды поверхностных водных объектов для рекреационного использования» : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 5 дек. 2016 г. № 122 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=-12551&p0=W21631536p> (дата обращения: 05.02.2026).
32. Ревелль, П. Среда нашего обитания : в 4 кн. / П. Ревелль, Ч. Ревелль. – М. : Мир, 1995. – Кн. 2. – 296 с.
33. Der rat der europäischen gemeinschaften // Richtlinie des rates vom 8 dezember 1975; 1998 über die Qualitat der Badegewässer (76/160/EWC). – Bonn, 1975; 1998. – 37 s.
34. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов : ГОСТ 17.1.5.02-80. – Введ. 01.07.1982. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – С. 101–104.
35. Опекунов, А. Ю. Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду : учеб. пособие / А. Ю. Опекунов. – СПб. : СПбГУ, 2006. – 261 с.
36. Шевцова Н.С. Зонирование Беларуси по продолжительности комфортного климатического периода для водных видов туризма и отдыха / Н. С. Шевцова // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2011. – № 1. – С. 48–52.

*Поступила 13.02.2026*