

ISSN 1810-9810

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

NATURAL RESOURCES

**№ 1
2023**

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 РЭСURСЫ»**

**Выдаецца з 1996 года
Выходзіць 2 разы ў год
Красавік 2023 г.**

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

Галоўны рэдактар
Аляксандр Іванавіч Чайкоўскі

Рэдакцыйная калегія:

I. I. Ліштван (намеснік галоўнага рэдактара),
М. Я. Нікіфараў (намеснік галоўнага рэдактара),
Я. В. Рошчына (вядучы рэдактар журнала),
М. П. Аношка, У. М. Байчораў, С. У. Буга,
І. В. Войтаў, С. Я. Галаваты, М. Р. Гермянчук,
С. В. Дзямідава, С. А. Дубянок, М. А. Ерэсько,
А. І. Кавалевіч, М. В. Клебановіч, В. В. Лапа,
С. А. Лысенка, А. А. Махнач, А. В. Нявераў,
А. В. Пугачэўскі, В. П. Сяменчанка,
В. С. Хоміч, У. У. Ціток

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

Падпісныя індэксы:
012762 ведамасны
01276 індывідуальны

Камп'ютарная вёрстка М. Э. Юрэня
Падпісана да друку 10 красавіка 2023 г.
Фармат 60×84 ¹/₈. Папера афсетная. Друк лічбавы.
Ум. друк. л. 10,23. Ул.-выд. л. 11,3.
Наклад 66 экз. Заказ 70.
Кошт: індывідуальная падпіска – 22,06 руб.,
ведомасная падпіска – 22,34 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 2023**

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

Editor-in-Chief
Alexandr Ivanovich Tchaikovsky

Editorial board:

I. I. Lishtvan (Associate Editor-in-Chief),
M. Ye. Nikiforov ((Associate Editor-in-Chief),
Ya. V. Roshcina (Lead Editor),
M. P. Anoshka, V. M. Baichorov, S. V. Buga,
I. V. Voitov, S. E. Golovaty, M. G. Germenchuk,
S. V. Demidova, S. A. Dubenok, M/ A/ Yeresko,
A. I. Kovalevich, M. V. Klebanovich, V. V. Lapa,
S. A. Lysenko, A. A. Makhnach, A. V. Neverov,
A. V. Pugachevskii, V. P. Semenchenko,
V. S. Khomich, V. V. Titok

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

Subscription indices:
012762 departmental
01276 individual

Computer imposition M. E. Yurenia
Signed for publication April 10, 2023
Format 60×84 ¹/₈. Offset paper. Seal digital.
Related press sheet 10,23. Publisher's signatures 11,3.
Circulation 66 copies. Order 70.
Price: individual subscription – 22,06 BYN,
departmental subscription – 22,34 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.
Str. Skorina, 40, 220084, Minsk

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Данилович И. С., Логинов В. Ф., Беганский А. В. Влияние циклогенеза в Атлантико-Европейском секторе на пространственно-временное распределение атмосферных осадков в Беларуси.	5
Акимов А. Н., Бурак Р. Н., Людчик А. М., Мельник Е. А., Павленко П. Н. Межгодовые флуктуации приземного озона в Беларуси в зимний период	12

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Корнеев В. Н., Булак И. А., Русина А. О. Оценка гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений	22
Музыкин В. П., Рыжова В. К. Исследования и прогноз изменения гидродинамического режима подземных вод на участке бассейна Припяти на основе данных мониторинга	31

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Шакун В. В., Соловей И. А., Крищук И. А., Велигуров П. А., Машков Е. И., Ларченко А. И. Фауна млекопитающих Беларуси и ее изменения в 1961–2022 гг.	38
Груммо Д. Г., Зеленкевич Н. А., Русецкий С. Г. Оценка современного состояния экосистем болот Беларуси и прогноз их динамики в связи с изменением климата	46
Сакович А. А., Малько М. С., Рыковский Г. Ф. Хорология бриофлоры Полесья: долготная структура	61
Шейко А. А., Буга С. В. Видовой состав и биотопические группы шмелей (<i>Bombus</i> Latr. s.l.) в Национальном парке «Нарочанский»	70
Байчоров В. М., Мороз М. Д., Вежновец В. В., Гигиняк Ю. Г. Макрозообентос рек республиканского заказника «Средняя Припять»	77

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ – УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

Мелех Д. В. Учет и меры по сокращению выбросов парниковых газов с целью поддержания глобального и регионального экологического равновесия	85
--	----

CONTENTS

CLIMATIC RESOURCES

Danilovich I. S., Loginov V. F., Begansky A. V. Influence of cyclogenesis in the Atlantic-European sector on the spatial and temporal distribution of atmospheric precipitation in Belarus.

5

Akimov A. N., Burak R. N., Liudchik A. M., Melnik E. A., Paulenka P. N. Interannual fluctuations of ground-level ozone in Belarus in the winter period.

12

WATER RESOURCES

Korneev V. N., Bulak I. A., Rusina A. O. Assessment of hydromorphological indicators of rivers in the Neman river basin that are at risk of fish kill.

22

Muzykin V. P., Ryzhova V. K. Investigation and forecast of changes in the hydrodynamic regime of groundwater in the area of the Pripyat river basin based on monitoring data.

31

BIOLOGICAL RESOURCES

Shakun V. V., Solovej I. A., Kryshchuk I. A., Velihurau P. A., Mashkov E. I., Larchanka A. I. Mammal fauna in Belarus and its changes in 1961–2022.

38

Grummo D. G., Zeliankevich N. A., Rusetski S. G. Assessment of the current state of peatland ecosystems in Belarus and forecast of their dynamics due to climate change.

46

Sakovich A. A., Mal'ko M. S., Rykovsky G. F. Chorology of the Polesie bryoflora: longitudinal structure.

61

Sheiko A. A., Buga S. V. Species composition and biotopic groups of bumblebees (*Bombus* Latr. S.L.) in Narochansky national park.

70

Baitchorov V. M., Moroz M. D., Veznavets V. V., Hihiniak Yu. G. Macrozoobenthos of the rivers of the republican reserve "Middle Pripyat".

77

NATURE MANAGEMENT – ADMINISTRATION AND ECONOMY

Melekh D. V. Accounting and reducing greenhouse gas emissions to support the global and regional environmental balance.

85

ЗМЕСТ

КЛІМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

Даніловіч І. С., Логінаў У. Ф., Бяганскі А. В. Уплыў цыклагенезу ў Атлантыка-Еўрапейскім сектары на прасторава-часавое размеркаванне атмасферных асадкаў у Беларусі.

5

Акімаў А. М., Бурак Р. М., Людчык А. М., Мельнік Е. А., Паўленка П. М. Міжгадовыя флуктуацыі прыземнага азону ў Беларусі ў зімовы перыяд.

12

ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

Карнеев У. М., Булак І. А., Русіна А. А. Ацэнка гідрамарфалагічных паказчыкаў участкаў рэк у басейне Нёмана, якія знаходзяцца пад рызыкай заморных з'яў.

22

Музыкін В. П., Рыжова В. К. Даследаванні і прагноз змены гідродынамічнага рэжыму падземных вод на участку басейна Прыпяці на аснове дадзеных маніторынгу.

31

БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

Шакун В. В., Салавей І. А., Крышчук І. А., Велігураў П. А., Машкоў Я. І., Ларчанка А. І. Фаўна млекакормячых Беларусі і яе змены ў 1961–2022 гг.

38

Грумо Дз. Г., Зелянкевіч Н. А., Русецкі С. Г. Ацэнка сучаснага стану экасістэм балот Беларусі і прагноз іх дынамікі ў сувязі са змяненнем клімату.

46

Саковіч А. А., Малько М. С., Рыкоўскі Г. Ф. Харалогія брыяфлоры Палесся: даўготная структура.

61

Шэйко Г. А., Буга С. У. Відавы склад і біятапічныя групы чмялёў (*Bombus* Latr. s.l.) у Нацыянальным парку «Нарачанскі».

70

Байчароў У. М., Мароз М. Д., Вежнавец В. В., Гігіняк Ю. Р. Макразабентас рэк рэспубліканскага заказніка «Сярэдняя Прыпяць».

77

ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ – КІРАВАННЕ І ЭКАНОМІКА

Мелех Дз. У. Улік і меры па скарачэнні выкідаў парніковых газаў з мэтай падтрымкі глабальнага і рэгіянальнага экалагічнага раўнавага.

85

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

CLIMATIC RESOURCES

КЛІМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 551.515.1, 551.587, 551.589.1

И. С. Данилович¹, В. Ф. Логинов¹, А. В. Беганский²

¹*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: irina-danilovich@yandex.ru*

²*Департамент по авиации Министерства транспорта и коммуникаций
Республики Беларусь, Минск, Беларусь*

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОГЕНЕЗА В АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОМ СЕКТОРЕ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В БЕЛАРУСИ

Аннотация. Представлены результаты оценки средних и экстремальных показателей осадков на территории Беларуси за период 1979–2019 гг., связанных с прохождением циклонов, формирующихся в Атлантико-Европейском секторе. Показано, что с прохождением северо-атлантических циклонов связано 55 % годовых сумм осадков на территории Беларуси, южных – 14 %, ныряющих – не более 1 %, доля фронтальных осадков составляет 6–13 %, конвективных (в мае–августе) – 6–12 % от годового количества. Суммы осадков, обусловленные прохождением северо-атлантических циклонов, преимущественно снижаются, но отмечается их рост при регенерации основных циклонов над континентом. Увеличилось количество осадков, связанных с южными циклонами зимой и весной, и снизилось летом и осенью. Отмечено повышение сумм фронтальных и конвективных осадков летом на большинстве метеостанций. Наибольшая интенсивность выпадения осадков на территории Беларуси характерна для конвективных процессов, но в отдельных случаях, мощные южные циклоны обеспечивают абсолютные максимумы осадков, превышая конвективные максимумы.

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, циклоны, Атлантико-Европейский сектор, климат, осадки, траектории циклонов

I. S. Danilovich¹, V. F. Loginov¹, A. V. Begansky²

¹*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: irina-danilovich@yandex.ru*

²*Aviation Department of the Ministry of Transport and Communications of the
Republic of Belarus, Minsk, Belarus*

INFLUENCE OF CYCLOGENESIS IN THE ATLANTIC-EUROPEAN SECTOR ON THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN BELARUS

Abstract. The study presents an assessment of average and extreme precipitation indicators on the territory of Belarus which are associated with the cyclones in the Atlantic-European sector during the period of 1979–2019. It is shown that 55 % of annual precipitation over the territory of Belarus is caused by the North Atlantic cyclones, 14 % – by southern cyclones, about 1 % – diving ones, the frontal precipitation – 6–13 %, convective (in May–August) – 6–12 % of the annual amount. Precipitation amounts resulting from the passage of North Atlantic cyclones are predominantly decreasing, but an increase is noted with the regeneration of the major cyclones over the continent. Precipitation associated with southern cyclones increased in winter and spring and decreased in summer and autumn. An increase in sums of frontal and convective precipitation in summer was noted at most meteorological stations. The greatest intensity of precipitation on the territory of Belarus was detected for convective processes, but in some cases, powerful southern cyclones provide absolute maximum precipitation, exceeding convective maximums.

Keywords: atmospheric circulation, cyclones, Atlantic-European sector, climate, precipitation, cyclone trajectories

І. С. Даніловіч¹, У. Ф. Логінаў¹, А. В. Бяганскі²

¹*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
Мінск, Беларусь, e-mail: irina-danilovich@yandex.ru*

²*Дэпартамент па авіяцыі Міністэрства транспарту і камунікацый
Рэспублікі Беларусь, Мінск, Беларусь*

УПЛЫЎ ЦЫКЛАГЕНЕЗУ Ў АТЛАНТЫКА-ЕЎРАПЕЙСКИМ СЕКТАРЫ НА ПРАСТОРОВА-ЧАСАВАЕ РАЗМЕРКАВАННЕ АТМОСФЕРНЫХ АСАДКАЎ У БЕЛАРУСІ

Анатацыя. Прадстаўлены вынікі ацэнкі сярэдніх і экстрэмальных паказчыкаў ападкаў на тэрыторыі Беларусі за перыяд 1979–2019 гг., звязаных з праходжаннем цыклонаў, якія фарміруюцца ў Атлантика-Еўрапейскім сектары. Пака-

зана, што з праходжаннем паўночна-атлантычных цыклонаў звязана 55 % гадавых сум ападкаў на тэрыторыі Беларусі, паўднёвых – 14 %, ныраючых – не больш як 1 %, доля фронтальных ападкаў складае 6–13 %, канвектыўных (у маі–жніўні) – 6–12 % ад гадавой колькасці. Сумы ападкаў, абумоўленыя праходжаннем паўночна-атлантычных цыклонаў, пераважна зніжаюцца, але адзначаецца іх рост пры рэгенерацыі асноўных цыклонаў над кантынентам. Павялічылася колькасць ападкаў, звязаных з паўднёвымі цыклонамі зімой і вясной, і знізілася летам і восенню. Адзначана павышэнне сум фронтальных і канвектыўных ападкаў летам на большасці метэастанцый. Найбольшая інтэнсіўнасць выпадзення ападкаў на тэрыторыі Беларусі характэрна для канвектыўных працэсаў, але ў асобных выпадках магутныя паўднёвыя цыклоны забяспечваюць абсалютныя максімумы ападкаў, перавышаючы канвектыўныя максімумы.

Ключавыя словы: атмасферная цыркуляцыя, цыклоны, Атлантика-Еўрапейскі сектар, клімат, ападкі, траекторыі цыклонаў

Введение. В последние годы все большее число исследований посвящается особенностям атмосферной циркуляции во время выпадения сильных осадков. Их повторяемость возрастает вследствие продолжающейся трансформации климата, что вызывает большую озабоченность [1, 2].

Выпадение осадков высокой интенсивности в различных регионах Европы, как правило, является результатом аномальной атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе [3–5]. Исследование повторяемости случаев ливневых осадков в Чехии в период 1958–2002 гг. [6] показало, что их выпадение связано в первом случае с наличием крупной квазистационарной ложбины, расположенной над территорией Европы, во втором случае при наличии высотного циклона над Центральной Европой – с малоподвижным циклоном на более низких уровнях атмосферы. При аналогичных синоптических условиях наблюдались сильные осадки, которые привели к катастрофическим наводнениям в Австрии и Германии в 1899, 1954, 2002 и 2013 гг. [7], крупнейшим наводнениям в Швейцарии в период с 1868 по 2005 гг. [8]. В работе [9] показано, что наибольшие суммы осадков в западной части Германии связаны с прохождением атлантических циклонов зимой, для центральных районов Западной Европы (Чехия, Австрия) выпадение больших сумм осадков связано с выходами средиземноморских циклонов (типа Vb по Van Bebber), 40–45 % циклонов типа Vb обуславливают выпадение интенсивных осадков (на уровне 95-го перцентиля) в Центральной Европе летом [10].

Прохождение западных атлантических циклонов через территорию Беларуси обеспечивает 11–17 % годового количества [11], в теплый период года западные циклоны в 80 % случаев обуславливают выпадение значительных сумм осадков. Южные циклоны в зимний сезон приносят до 15–19 мм в сутки и в редких случаях более 20 мм [12]. По данным [13], при прохождении южных циклонов количество осадков может достигать 30–60 мм за один час. Наиболее интенсивные осадки (более 50 мм) отмечаются при смещении циклонов с севера Италии и выходящие со стороны территории Украины на центральную часть Беларуси [14]. Черноморские циклоны, выходящие на территорию Беларуси, также вызывают интенсивные осадки, особенно при развитии циклона по высоте и замедлении его хода над территорией Беларуси [15]. При смещении ныряющих циклонов через территорию Беларуси отмечаются осадки в виде дождя или снега и ухудшение видимости на дорогах до 1 км и менее [16, 17].

Результаты исследований [18] показывают увеличение повторяемости интенсивных осадков в северной и северо-восточной Европе с 1950-х годов, но в юго-западной и южной Европе наблюдаются другие тенденции. В Восточной Европе абсолютные экстремальные значения осадков увеличились, наибольший рост отмечается зимой (от 4 до 10 % за десятилетие), летом наблюдается менее выраженная тенденция к росту [19].

Для территории Беларуси [20, 21] в период 1989–2019 гг. в зимний сезон увеличение сезонных сумм осадков составляет 20–30 % по сравнению с предшествующим периодом 1948–1988 гг. Увеличение сумм осадков зимой происходит за счет роста числа дней с осадками малой интенсивности в связи с ростом продолжительности выпадения осадков в жидком виде. В летний сезон отмечается сокращение продолжительности выпадения осадков на всей территории страны на 20 %, что свидетельствует о возрастании засушливости климата, и одновременно увеличение максимальных сумм осадков на 20–30 % с наибольшим их ростом в южных районах [22].

Учитывая ранее установленные особенности влияния циклогенеза на режим выпадения осадков и современные тенденции увлажнения в Европе, цель работы заключалась в оценке количественных связей характеристик циклонов, формирующихся в различных районах Атлантико-Европейского сектора, оказывающих влияние на гидрометеорологические условия территории Беларуси, а также средних и экстремальных показателей количества осадков, выпадающих при различных формах барического рельефа.

Методика и исходные данные. Исследование региональных особенностей выпадения осадков на территории Беларуси выполнялось с учетом пространственно-временной изменчивости характеристик циклонов в Атлантико-Европейском секторе (40–70° с. ш., 60° з. д. – 60° в. д.). Характеристики циклонов (областей пониженного давления, ограниченные замкнутыми изобарами) получены по

данным реанализа ERA5 [23]. Проведена выборка циклонов по месту зарождения и направлению их перемещения по схеме, предложенной Л. А. Хандожко [24] и детализированной авторами. Циклоны условно разделены на западные (W), северные (N) и ныряющие (D) с очагом зарождения в Северной Атлантике, а также южные циклоны (S), формирующиеся в районах Средиземного и Черного морей. Северо-атлантические циклоны (северные и западные), регенерирующие над континентом и являющиеся продолжением основного циклона, обозначены как вторичные западные и северные циклоны (W2 и N2). Для анализа отобраны циклоны, оказывающие влияние на гидрометеорологические условия территории Беларуси, на основе оценок минимального расстояния между центрами циклонов и областными центрами Беларуси. Подробная информация об идентификации циклонов, типизации их по месту зарождения и траекториям перемещения в Атлантико-Европейском секторе, выборке влияющих циклонов на гидрометеорологические условия территории Беларуси представлена в работах [25].

Для исследования количественных связей характеристик циклонов средних и экстремальных сумм осадков использованы материалы Государственного климатического кадастра Республики Беларусь [26], представленные суточными суммами осадков по 42 метеорологическим станциям наблюдательной сети гидрометеорологических наблюдений Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды за период 1979–2019 гг.

Каждая точка трека циклона, идентифицированного по данным реанализа ERA5, была объединена с суммой осадков по каждой метеостанции в совпадающие даты за период 1979–2019 гг., затем вычислялось их сезонное количество для каждой группы циклонов (W, N, D и S). Фронтальные осадки определялись индивидуально для каждой метеостанции в дни, когда не было сведений о циклонах по данным реанализа, но отмечались осадки по данным станции. В такие дни вычислялась суточная амплитуда температуры воздуха ($\Delta T_{\text{сут}} = T_{\text{макс. сут}} - T_{\text{мин. сут}}$) по каждой метеорологической станции. При суточной амплитуде температуры воздуха $\Delta T_{\text{сут}} > 5^\circ\text{C}$ в холодный период (XI–IV) и $\Delta T_{\text{сут}} > 10^\circ\text{C}$ в теплый период (V–IX) и наличии осадков по данным метеостанции считалось вероятным прохождение фронтальных разделов циклонов через территорию Беларуси и вычислялись сезонные суммы осадков за эти дни. Конвективные осадки вычислялись в период с мая по август в дни с отсутствием сведений о циклонах и фронтальных разделах при наличии выпадения осадков на метеостанциях.

Результаты и их обсуждение. Количественные связи циклонов и осадков. Результаты сопоставления сведений о циклонах и осадках по данным метеостанций оцениваются в 88–94 %, т.е. практически 90 % дней с осадками определяются преобладающей барической формой (табл. 1). Для оставшихся 6–12 % дней с осадками за период 1979–2019 гг. не было сведений о циклонической активности.

Т а б л и ц а 1. Статистическая характеристика связи барических образований, идентифицированных по реанализу ERA5 с числом дней с осадками на территории Беларуси

Период	Сезоны				
Статистика	год I–XII	зима XII–II	весна III–V	лето VI–VIII	осень IX–XI
Число лет	40	40	40	40	40
Среднее значение по всем МС	91	89	94	88	93
Стандартное отклонение	2	3	3	3	4
Минимальное соответствие	86	85	89	82	86
25 % процентиль	90	88	91	85	90
50 % процентиль	91	89	94	88	93
75 % процентиль	92	91	96	89	96
Максимальное соответствие	95	96	98	94	100

В эту погрешность входят ошибки методического характера, которые для зимнего периода связаны с прохождением фронтальных разделов. В летний сезон дни с осадками, но без циклонов с высокой степенью вероятности связаны с формированием конвективных (внутримассовых) осадков. В целом погрешности не влияют на основной результат и свидетельствуют о высоком качестве трекинга и выборки циклонов, определяющих гидрометеорологические условия территории страны.

По данным работы [11], западные атлантические циклоны в целом дают немного осадков по территории Беларуси (11–17 % годового количества). Согласно выполненным расчетам, северо-атлантические циклоны приносят большее количество осадков, чем представлялось ранее. Так, суммарное годовое количество осадков на территории Беларуси, обусловленное прохождением северо-

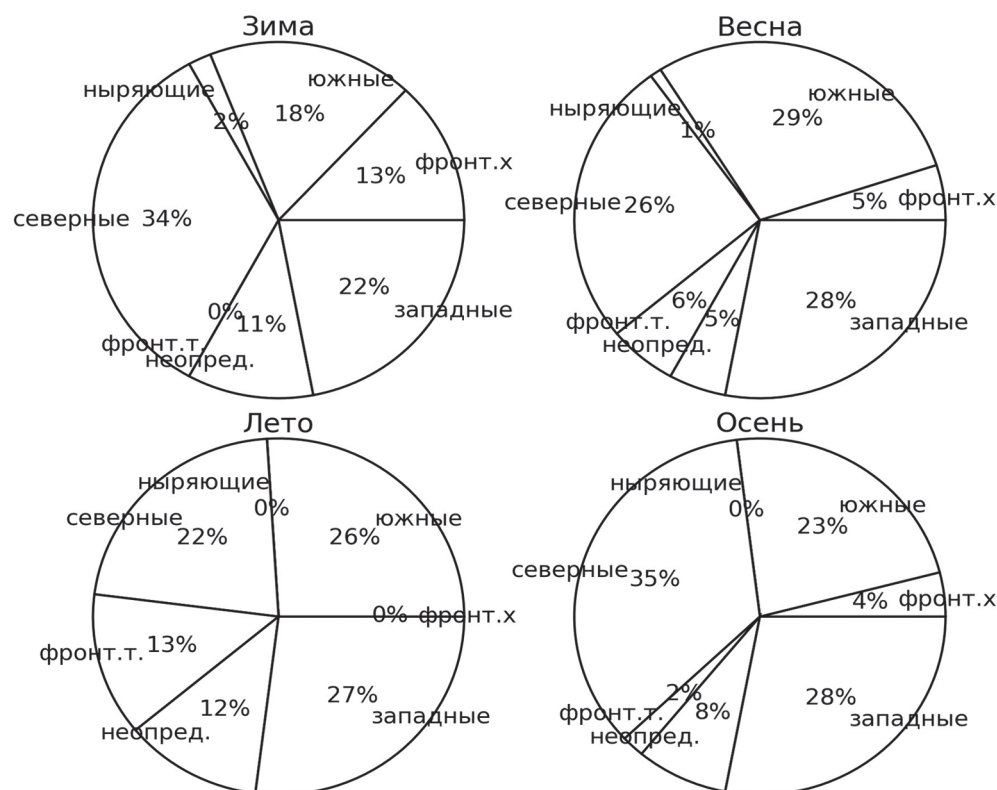


Рис. 1. Распределение выпадающих осадков в зависимости от типа барического образования, определяющего гидрометеорологические условия территории Беларуси

атлантических циклонов (W+N), составляет около 55 %. Среди этих циклонов северо-атлантические циклоны, которые перемещаются зонально в широтной зоне 50–56° с. ш. (западные циклоны, W) обеспечивают выпадение 25 % осадков от их годового количества. В зимний период с западными циклонами связано 22 % сезонных сумм, в остальные сезоны – 27–28 %. Северо-атлантические циклоны с доминирующими траекториями в широтной зоне 56–60° с. ш. (северные, N) приносят 30 % осадков от годовой суммы, 34–35 % от сезонных сумм осенью и зимой, 26 % весной и 22 % летом (рис. 1).

Исследования режима выпадения осадков при прохождении южных циклонов описаны в работах [13, 14], где показано, что на долю южных циклонов приходится 20–25 % всех выпадающих осадков за год. Этот результат сопоставим с выполненными нами расчетами, которые показывают, что с выходом южных циклонов связано 24 % годовых сумм осадков, из них 18–23 % осенью и зимой, до 26–29 % весной и летом.

В связи с редкой повторяемостью ныряющих циклонов количественные показатели осадков не отражены в предшествующих исследованиях, но расчеты показали, что их количество в годовом разрезе не превышает 1 %. Предшествующие исследования режима увлажнения территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией не содержат выводов о доле осадков формирующихся на фронтальных разделах циклонов. Наши расчеты показали, что доля фронтальных осадков в зимний сезон составляет 13 % от годового количества, весной – 11, летом – 13, осенью – 6 %. На долю конвективных осадков приходится 6–12 % от годового количества осадков, выпадающих в основном в мае–августе.

Тренды сезонных сумм осадков. Согласно выполненным нами расчетов величин трендов сезонных сумм осадков, выпадающих при прохождении различных типов циклонов через территорию Беларуси в период 1979–2019 гг., отмечается преимущественно их снижение в пределах 10 мм за этот период при прохождении северных циклонов (N). Наибольшее снижение осадков отмечается летом на востоке страны – до 20 мм за сезон в связи со снижением повторяемости северных циклонов (N) на 10–20 % [25]. Тенденция снижения осадков на востоке Беларуси летом характерна и при прохождении вторичных северных циклонов (N2). В остальные сезоны при циклонах N2 отмечается в основном рост сезонных сумм осадков в пределах 5–10 мм с наибольшими показателями весной.

Сезонные суммы осадков, связанные с прохождением западных циклонов (W), снижаются зимой до 10 мм за рассматриваемый период. Эту тенденцию можно объяснить снижением скорости пере-

мещения циклонов (W) на 3 км/ч зимой [25], что свидетельствует о заполнении циклонов у границ Беларуси, сопровождающееся ростом количества осадков малой интенсивности. В остальные сезоны на большинстве метеостанций отмечается разброс роста и снижения сезонных сумм осадков в пределах 2–6 мм. Однако при прохождении вторичных западных циклонов (W2) на большинстве метеостанций зимой, весной и осенью наблюдается увеличение сезонных сумм осадков в пределах 15–25 мм за счет небольшого роста повторяемости циклонов типа W2. Летом наблюдается обратная тенденция: происходит снижение сезонных сумм осадков в пределах 20 мм и снижение повторяемости вторичных западных (W2) циклонов вдвое.

С прохождением средиземноморских циклонов (S) связан рост осадков зимой и весной на 15 мм. Летом повышение сезонных сумм осадков в пределах 10 мм отмечается лишь на западе страны, на остальной территории установлено снижение в пределах 30 мм. Осенью сезонные суммы в основном уменьшились на 10–15 мм. Осадки при прохождении черноморских (S2) циклонов в последние 40 лет в основном снизились на 4–8 мм за сезон.

Изменение фронтальных осадков в декабре–марте характеризуется незначительными величинами трендов: 2–5 мм в сторону снижения, так и повышения. Летом величины изменения фронтальных сумм осадков значительно выше и их рост за последние 40 лет составляет 10–12 мм в мае–июне на большинстве станций. В июле величины изменений осадков немного больше – 10–25 мм, и только на востоке страны изменения количества осадков незначительно. В августе отмечается снижение осадков в пределах 10 мм на востоке и повышение около 5 мм на западе страны. Суммы конвективных осадков увеличились на большинстве станций: в мае рост составил 5–10 мм, июне в центральной части страны – 5 мм, юго-восточной части страны – 20–25 мм, июле – 5–20 мм, в августе на половине станций отмечено увеличение на 5–20 мм.

Интенсивность осадков в зависимости от типа циклонов. В данном разделе представлен анализ суточных сумм осадков, соответствующих 95-му процентилю, т.е. близких к максимальным суммам осадков, но с более высокой повторяемостью. Здесь же представлены значения абсолютных максимумов осадков за сутки.

Величины суточных сумм осадков, соответствующих 95-му процентилю, выпадающих при различных барических образованиях, осредненные по 42 метеорологическим станциям Беларуси приведены на рис. 2. Выполненные расчеты позволили установить, что наибольшие суммы осадков за сутки связаны с конвективным характером их формирования (при отсутствии фронтальных разделов). Суммы конвективных осадков, соответствующие 95-му процентилю, составляют 20 мм за сутки в среднем по территории страны, что указывает на наибольшую интенсивность выпадения осадков при конвективных явлениях. Южные циклоны обеспечивают значения сумм осадков на уровне 95-го перцентиля в пределах 18 мм за сутки.

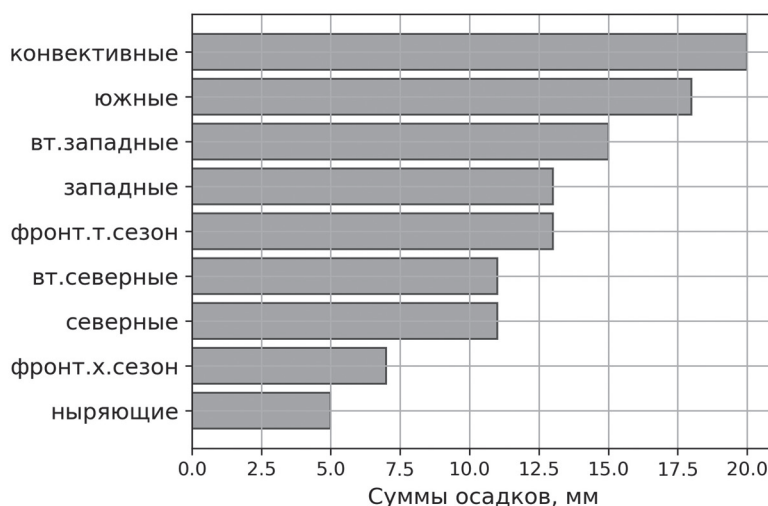


Рис. 2. Суточные суммы осадков, соответствующие 95-му процентилю, осредненные по 42 метеорологическим станциям Белгидромета Минприроды

Следующие по интенсивности выпадения осадков следуют западные циклоны (W), суточные суммы, соответствующие 95-му процентилю, составляют 13 мм для мощных циклонов с районом зарождения у восточного побережья Северной Америки и 15 мм для вторичных западных циклонов

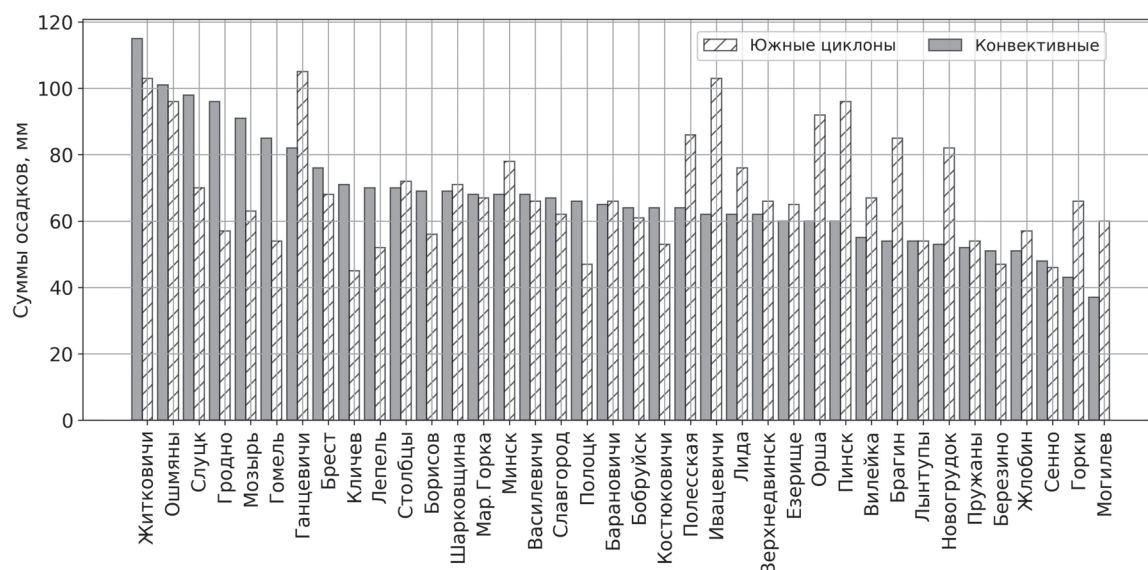


Рис. 3. Абсолютные максимумы осадков при конвективных процессах и прохождении южных циклонов (отсортированы по убыванию величины конвективных осадков)

(W2), сформированных над континентом на фронтальных разделах основного циклона. Меньшая интенсивность осадков, выпадающих из облаков основного циклона, связана с его длительным путем перемещения, снижением скорости и заполнением по мере приближения к границам Беларуси.

Интенсивность осадков при прохождении северо-атлантических циклонов с доминирующими траекториями севернее границ Беларуси (северных циклонов, N) составляет 11 мм на уровне 95-го перцентиля. Суточные суммы осадков, соответствующие 95-му перцентилу при ныряющих циклонах (D), составляют 5 мм. Осадки, связанные с прохождением фронтальных разделов в холодный период года на уровне 95-го перцентиля, составляют 7 мм, в теплый период – 13 мм. Большее значение фронтальных осадков летом связано с формированием конвективных осадков на фронтах в летние месяцы: на данном этапе исследования не представилось возможным их выделить отдельно.

Абсолютные суточные максимумы осадков при конвективных условиях и южных циклонах по своей величине различаются по территории страны (рис. 3). Наибольшие значения суточных сумм осадков, отмеченных при прохождении южных циклонов, характерны для южного региона страны (Ганцевичи, Полесская, Ивацевичи, Пинск, Пружаны, Брагин, Горки, Жлобин), что связано с большей мощностью и вероятным углублением циклонов у границ страны, и на станциях, расположенных на возвышенных формах рельефа или склонах (Вилейка, Минск, Новогрудок, Лида, Орша, Могилев). Связано это с естественными барьерами для барических образований и, как следствие, интенсификацией осадков на склонах возвышенностей или речных долин. Значит, что наибольшая интенсивность выпадения осадков характерна для конвективных процессов. Однако при определенных морфометрических условиях земной поверхности южные циклоны (S и S2) могут обеспечивать абсолютные максимумы осадков, превышая конвективные максимумы.

Заключение. В результате исследований современных тенденций режима увлажнения территории Беларуси по данным 42 метеостанций Белгидромета Минприроды в зависимости от циклонической деятельности в различных районах Атлантико-Европейского сектора установлено, что практически 90 % дней с осадками связаны с прохождением циклонов.

С прохождением северо-атлантических циклонов связано 55 % годовых сумм осадков: на циклоны западного типа (W) приходится 25 % (22 % сезонных сумм зимой, в остальные сезоны – 27–28 %), на северные циклоны (N) – 30 % годовых сумм (34–35 % сезонных сумм осенью и зимой, 26 % весной и 22 % летом); на долю южных циклонов приходится 18–23 % осенью и зимой, 26–29 % весной и летом, ныряющих – не более 1 %. Доля фронтальных осадков составляет 6–13 %, конвективных (в мае–августе) – 6–12 % от годового количества.

Суммы осадков, связанные с прохождением северных циклонов (N) в период 1979–2019 гг., снижаются в пределах 10 мм за сезон, при вторичных циклонах N2 отмечается в основном рост осадков в пределах 5–10 мм за сезон. При прохождении западных циклонов (W) наблюдается разброс изменений сезонных сумм осадков в пределах 2–6 мм. При вторичных западных циклонах (W2) отме-

чается рост осадков на 15–25 мм зимой, весной и осенью, но летом происходит их снижение до 20 мм за счет уменьшения повторяемости вторичных западных (W2) циклонов вдвое. Южные циклоны (S) обусловили рост осадков зимой и весной в пределах 15 мм, летом и осенью установлено снижение осадков в пределах 10–30 мм. Осадки при прохождении черноморских циклонов снизились на 4–8 мм во все сезоны. Суммы фронтальных осадков мало изменились зимой и преимущественно увеличились летом в пределах 10–25 мм, суммы конвективных осадков летом увеличились на большинстве станций в пределах 5–25 мм.

Наибольшая интенсивность выпадения осадков характерна для конвективных процессов, но при определенных морфометрических условиях земной поверхности, мощные южные циклоны (S и S2) обеспечивают абсолютные максимумы осадков, превышая конвективные максимумы. Суточные максимумы конвективных осадков, соответствующие 95-му процентилю, составляют 20 мм, при южных циклонах – 18, при западных – 13, при северных – 11, при ныряющих – 5 мм.

Список использованных источников

1. The changing character of precipitation / K. E. Trenberth [et al.] // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* – 2003. – N 84. – P. 1205–1217.
2. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall / S. Westra [et al.] // *Rev. Geophys.* – 2014. – N 52. – P. 522–555.
3. Atmospheric processes triggering the central European floods in June 2013 / C. M. Grams [et al.] // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2014. – N 14. – P. 1691–1702.
4. Kašpar, M. Combinations of large-scale circulation anomalies conducive to precipitation extremes in the Czech Republic / M. Kašpar, M. Müller // *Atmos. Res.* – 2014. – N 138. – P. 205–212.
5. Dayan, U. Atmospheric conditions inducing extreme precipitation over the eastern and western Mediterranean / U. Dayan, K. Nissen, U. Ulbrich // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2015. – N 15. – P. 2525–2544.
6. Müller, M. Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in central Europe from 1951 to 2002 / U. Dayan, K. Nissen, U. Ulbrich // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2009. – N 9. – P. 441–450.
7. The June 2013 flood in the Upper Danube basin, and comparisons with the 2002, 1994 and 1899 floods / G. Blöschl [et al.] // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* – 2013. N 17. – P. 5197–5212.
8. Weather patterns and hydro-climatological precursors of extreme floods in Switzerland since 1868 / P. Stucki [et al.] // *Meteorol. Z.* – 2012. – Vol. 21, N 6. – P. 518–529.
9. Large-scale heavy precipitation over central Europe and the / M. Hofstätter [et al.] // *International Journal of Climatology.* – 2018. – N 38. – P. 497–517.
10. Vb cyclones and associated rainfall extremes over central Europe under present day and climate change conditions / K. Nissen [et al.] // *Meteorol. Z.* – 2013. – Vol. 22, N 6. – P. 649–660.
11. Амельченко, А. В. Осадки в БССР, связанные с перемещением циклонов с северо-запада и запада / А. В. Амельченко, В. И. Николаева // *Сб. работ Минской гидрометеоролог. обсерватории.* – 1961. – № 3. – С. 158–166.
12. Лаврова, А. А. Моделирование эволюции серии средиземноморских циклонов с помощью региональной модели атмосферы / А. А. Лаврова, Е. С. Глебова, И. В. Тросников // *Метеорология и гидрология.* – 2010. – № 6. – P. 5–15.
13. Лепешко, В. Н. Южные циклоны, условия их развития и перемещения на территорию БССР / В. Н. Лепешко. – Минск: Белгидромет, 1983. – 29 с.
14. Юбочникова, О. И. Осадки в Беларуси, связанные с перемещением циклонов с юга / О. И. Юбочникова // *Сб. работ Минской гидрометеоролог. обсерватории.* – 1962. – № 4. – С. 43–52.
15. Сумак, Е. Н. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси / Е. Н. Сумак, И. Г. Семёнова // *Журн. БГУ. География. Геология.* – 2019. – № 2. – С. 79–93.
16. Барская, С. З. Влияние ныряющих циклонов на погодные условия Белоруссии / С. З. Барская // *Сб. работ Минской гидрометеоролог. обсерватории.* – 1967. – № 6. – С. 11–18.
17. Лепешко, В. Н. Рекомендации к прогнозу ныряющих циклонов, оказывающих влияние на погоду Белоруссии / В. Н. Лепешко. – Минск: Белгидромет, 1989. – 42 с.
18. Fischer, E. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models / E. Fischer, R. Knutti // *Nature Climate Change.* – 2016. – P. 986–991.
19. Zolina, O. Changes in Intense Precipitation in Europe / O. Zolina // In: *IAHS-AISH Publication.* – 2012. – P. 97–120.
20. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
21. Данилович, И. С. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси / И. С. Данилович, В. Ф. Логинов // *Центральноазиат. журн. географ. исслед.* – 2021. – № 1–2. – С. 35–48.
22. Данилович, И. С. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата / И. С. Данилович, Н. Г. Пискунович // *Журн. БГУ. География. Геология.* – 2021. – № 2. – С. 32–44.
23. Hersbach, H. The ERA5 global reanalysis / H. Hersbach, B. Bell, P. Berrisford // *Q J R Meteorol Soc.* – 2020. – N 146. – P. 1999–2049.
24. Хандожко, Л. А. Региональные синоптические процессы / Л. А. Хандожко Л.: Изд.-во ЛГМИ, 1988. – 103 с.
25. Данилович, И. С. Пространственно-временные тенденции перемещения циклонов различного генезиса, влияющих на гидрометеорологические условия территории Беларуси / И. С. Данилович, В. Ф. Логинов, И. В. Буяков // *Природные ресурсы.* – 2022. – № 2. – С. 16–24.
26. ГКК. Государственный климатический кадастр : материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свид.-ва 0870100021. – 2020.

Поступила 14.10.2022

А. Н. Акимов¹, Р. Н. Бурак², А. М. Людчик¹, Е. А. Мельник², П. Н. Павленко³¹Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы
Белорусского государственного университета,
Минск, Беларусь, e-mail: liudchikam@tut.by²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения
и мониторингу окружающей среды,
Минск, Беларусь, e-mail: orap4@pogoda.by, kbb@hmc.by³Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, e-mail: pavlenko_pn@mail.ru

МЕЖГОДОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В БЕЛАРУСИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Аннотация. Анализируются особенности в поведении приземного озона на территории Беларуси в январе 2021 и 2022 гг. В 2022 г. зарегистрированы заметно более высокие концентрации озона на всех пунктах наблюдений по сравнению с 2021 г. Показано, что обсуждаемые различия не связаны с изменениями в уровне антропогенного загрязнения воздуха. Они обусловлены различием в метеорологических условиях в названные периоды. Определение причин таких различий важно для понимания особенностей климатологии приземного озона в Беларуси и выработки достоверного прогноза его поведения в будущем. Ранее было построено уравнение регрессии для описания поведения приземного озона на территории Беларуси, основной целью которого являлось объяснить высокие наблюдаемые концентрации в весенне-летний период. Коэффициенты уравнения определялись с учетом также и зимнего периода, однако при этом не учитывались важные для этого периода дополнительные объясняющие переменные. Обсуждается способность полученного уравнения адекватно воспроизвести результаты наблюдений в зимний период.

Ключевые слова: приземный озон, антропогенное загрязнение воздуха, метеорологические условия, уравнение регрессии

A. N. Akimov¹, R. N. Burak², A. M. Liudchik¹, E. A. Melnik², P. N. Paulenka³¹National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University,
Minsk, Belarus, e-mail: liudchikam@tut.by²Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring,
Minsk, Belarus, e-mail: orap4@pogoda.by, kbb@hmc.by³Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, e-mail: pavlenko_pn@mail.ru

INTERANNUAL FLUCTUATIONS OF GROUND-LEVEL OZONE IN BELARUS IN THE WINTER PERIOD

Abstract. The features in the behavior of ground-level ozone on the territory of Belarus in January 2021 and 2022 are analyzed. In 2022, noticeably higher ozone concentrations were recorded at all observation points compared to 2021. It was shown that the discussed differences are not associated with changes in the level of anthropogenic air pollution. They are caused by differences in meteorological conditions during these periods. Determining the reasons for such differences is important for understanding the specifics of the climatology of ground-level ozone in Belarus and developing a reliable forecast of its behavior in the future. Previously, a regression equation was introduced to describe the behavior of ground-level ozone in Belarus, the main purpose of which was to explain the high observed concentrations in the spring-summer period. The coefficients of the equation were also determined taking into account the winter period. However, additional explanatory variables important for this period were not taken into account. The ability of this equation to adequately reproduce the results of observations in the winter period is discussed.

Keywords: ground-level ozone, anthropogenic air pollution, meteorological conditions, regression equation

А. М. Акімаў¹, Р. М. Бурак², А. М. Людчык¹, Е. А. Мельнік², П. М. Паўленка³¹Нацыянальны навукова-даследчы цэнтр маніторынгу азонасферы
Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта,
Мінск, Беларусь, e-mail: liudchikam@tut.by²Рэспубліканскі цэнтр па гідрометэаралогіі, кантролю радыяактыўнага забруджвання і маніторынгу
навакольнага асяроддзя, Мінск, Беларусь,
e-mail: orap4@pogoda.by, kbb@hmc.by³Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,
e-mail: pavlenko_pn@mail.ru

МІЖГАДОВЫЯ ФЛУКТУАЦЫІ ПРЫЗЕМНАГА АЗОНУ Ў БЕЛАРУСІ Ў ЗІМОВЫ ПЕРЫЯД

Анатацыя. Аналізуюцца асаблівасці ў паводзінах прыземнага азону на тэрыторыі Беларусі ў студзені 2021 і 2022 гг. У 2022 г. зарэгістраваны прыкметна больш высокія канцэнтрацыі азону на ўсіх пунктах назіранняў у параўнанні з 2021 г. Паказана, што адрозненні, якія абмяркоўваюцца, не звязаныя са зменамі ва ўзроўні антрапагеннага забруджвання

паветра. Яны абумоўлены адрозненнем у метэаралагічных умовах у названыя перыяды. Вызначэнне прычын такіх адрозненняў важна для разумення асаблівасцей кліматалогіі прыземнага азону ў Беларусі і выпрацоўкі дакладнага прагнозу яго паводзін у будучым. Раней было пабудавана ўраўненне рэгрэсіі для апісання паводзін прыземнага азону на тэрыторыі Беларусі, асноўнай мэтай якога з'яўлялася растлумачыць назіраемыя высокія канцэнтрацыі ў вясенне-летні перыяд. Кэфіцыенты ўраўнення вызначаліся з улікам таксама і зімовага перыяду, аднак пры гэтым не ўлічваліся важныя для гэтага перыяду дадатковыя тлумачальныя пераменныя. Абмяркоўваецца здольнасць атрыманага ўраўнення адекватна перадаць вынікі назіранняў у зімовы перыяд.

Ключавыя словы: прыземны азон, антрапагеннае забруджванне паветра, метэаралагічныя ўмовы, ураўненне рэгрэсіі

Введение. Приземный озон – вторичный загрязнитель атмосферы, поскольку его повышенные концентрации образуются при наличии в воздухе других поллютантов естественного и антропогенного происхождения [1, 2]. Учитывая, что озон является загрязнителем первого класса опасности, оказывающим угнетающее влияние на живые организмы, исследования его поведения в условиях растущего антропогенного загрязнения воздуха и меняющегося климата становятся актуальными.

Цель работы – объяснить причины повышения концентрации приземного озона в городах Беларуси в январе 2022 г. по сравнению с январем 2021 г. (рис. 1, а, б). Убедительность объяснения может служить критерием правильности понимания климатологии приземного озона на территории Беларуси, его взаимодействия с антропогенными загрязнителями атмосферы и роли метеорологических условий в формировании наблюдаемой концентрации озона, а также критерием достоверности прогноза поведения приземного озона в будущем в зависимости от экологической обстановки и меняющегося климата.

Появление и разрушение озона в приземном воздухе. Основная масса озона образуется за счет фотолиза молекулярного кислорода солнечным излучением и находится в стратосфере. Именно это защищает все живое на Земле от губительного коротковолнового ультрафиолетового солнечного излучения, которое практически полностью поглощается на высотах стратосферы в процессах разрушения молекулярного кислорода на атомарный. Образовавшиеся атомы кислорода соединяются с его молекулами и образуется озон. Озон в свою очередь сильно поглощает солнечное излучение в более длинноволновой части ультрафиолетового диапазона. Совершенно другие механизмы приводят к появлению озона в приземном слое воздуха.

В результате стратосферно-тропосферного обмена часть озона из стратосферы попадает в тропосферу [3], вертикальное перемешивание которой вследствие прохождения атмосферных фронтов, термической конвекции и турбулентности способствует перемещению части стратосферного озона к поверхности земли.

Озон также может образовываться непосредственно в приземном воздухе в результате фотохимических реакций с участием малых газовых составляющих атмосферы [1, 2]. К ним в первую очередь относятся оксиды азота и летучие органические соединения антропогенного и естественного происхождения. В присутствии таких соединений и достигающего поверхности ультрафиолетового солнечного излучения происходят процессы генерации и разрушения озона в приземном слое воздуха. Существенным стоком озона является его осаждение на поверхность земли и растительность.

В условиях Беларуси, как правило, антропогенное загрязнение воздуха приводит к разрушению озона [4]. Поэтому концентрация приземного озона в сельской местности обычно выше, чем в городе. Результаты измерений концентрации приземного озона на двух пунктах контроля атмосферного воздуха в Могилеве (рис. 1), подтверждают сказанное. Пункт 04 находится в промышленном районе города, а пункт 06 – в спальном, характеризующимся меньшей степенью антропогенного загрязнения (данные об уровнях загрязнения оксидом углерода, оксидами азота и некоторыми летучими органическими соединениями приведены и обсуждаются ниже). Из рис. 1 видно, что концентрация приземного озона в «грязном» районе ниже по сравнению с «чистым». Следует обратить внимание также на то, что ночные концентрации озона в загрязненных районах обычно заметно ниже, чем в «чистых». Этому есть простое объяснение: в отсутствие солнечного излучения процессы генерации озона затормаживаются, а эффективность его разрушения увеличивается с ростом концентраций загрязнителей, взаимодействующих с ним.

Утверждение об уменьшении концентрации приземного озона в воздухе, содержащем антропогенные загрязнения, не всегда верно. Как показали наблюдения [1], загрязнение воздуха в ряде случаев приводит к интенсивной генерации озона. Для этого нужны определенные условия: в первую очередь высокие концентрации летучих органических соединений, высокая температура воздуха и интенсивное солнечное излучение. По всем названным параметрам Беларусь «отстает» от мест, где впервые были зарегистрированы опасные концентрации приземного озона – Лос-Анджелеса и Мехико [1]. Однако генерация озона возможна также и в присутствии летучих органических соединений естественного происхождения – терпенов и изопренов, продуктов производимых лесами [2].

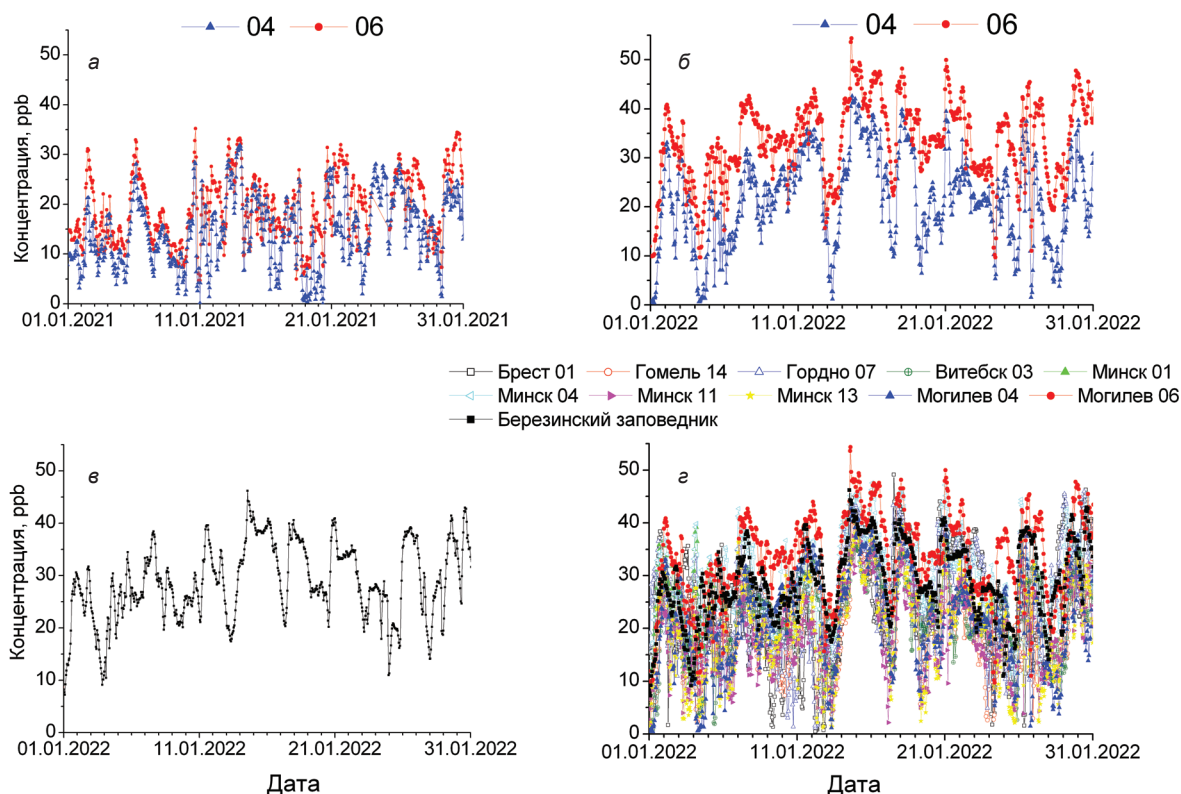


Рис. 1. Концентрации приземного озона, зарегистрированные на пунктах 04, 06 Могилева в январе 2021 г. (а) и январе 2022 г. (б), концентрации озона в Березинском биосферном заповеднике (в) и концентрации во всех областных городах Беларуси (г) (указаны номера пунктов наблюдений) в январе 2022 г.

Иногда по утрам на солнечных лесных полянах чувствуется сильный запах озона. Ощущение запаха озона означает, что его концентрация значительно превышает предельно допустимую. Но такие ситуации возникают крайне редко.

На приземный озон существенное влияние оказывают метеорологические условия. При этом важную роль играет место наблюдений. В частности, в городах, являющихся мощным источником антропогенного загрязнения воздуха, усиление ветра приводит к снижению концентраций загрязнений за счет их выдувания и в условиях Беларуси – к увеличению концентрации приземного озона. В сельской местности ветер может приносить загрязнения из городов и «городские» (пониженные) концентрации озона.

Вертикальное перемешивание атмосферы также влияет на приземный озон. В условиях слабой вертикальной устойчивости атмосферы происходит очищение приземного слоя воздуха от загрязнений и приток из вышележащих слоев атмосферы более чистого воздуха с более высокой концентрацией озона [3]. Температура воздуха сказывается на скорости химических реакций генерации и разрушения озона. Существенную роль в процессах с участием озона играет и влажность воздуха. В частности, во время дождей концентрация озона снижается [5]. И, наконец, озон может переноситься с воздушными массами, проходящими над исследуемым регионом. Следовательно, в общем случае концентрация приземного озона может зависеть от направления и скорости ветра в месте наблюдений и меняться при прохождении фронтов, разделяющих соседние воздушные массы [6].

В качестве примера влияния погоды на приземный озон на рис. 1, б и в приведены результаты наблюдений в январе 2022 г. в двух районах Могилева, различающихся уровнем загрязнения воздуха, и на большом расстоянии от Могилева – Березинском биосферном заповеднике, практически свободном от антропогенных загрязнений. Аналогичное сравнение для января 2021 г. провести не удастся из-за отсутствия данных о приземном озоне в заповеднике. Видно, что основные особенности поведения приземного озона воспроизводятся на обоих рисунках. Эти особенности, как показано на рис. 1, г, наблюдаются во всех областных городах Беларуси. Следовательно, их происхождение не связано с антропогенным загрязнением воздуха, специфичным для каждого города [7, 8], а обусловлено характерным для всей территории Беларуси изменением метеорологических условий. В следующем разделе приводятся дополнительные аргументы в пользу этого вывода.

Влияние антропогенных загрязнений на приземный озон. В результатах измерений, представленных на рис. 1, присутствует суточный ход концентрации приземного озона [9]. Во второй половине дня она обычно достигает максимума и падает ночью, когда тормозится вертикальное перемешивание атмосферы и прекращаются фотохимические реакции, приводящие к образованию озона, а реакции разрушения озона при взаимодействии с другими загрязнителями и осаждение его на поверхность продолжают работать. К тому же специфическими особенностями обладает также и суточный ход концентраций антропогенных загрязнений воздуха [9, 10]. Это затрудняет анализ, поэтому логично перейти к рассмотрению среднесуточных значений загрязнений и метеорологических параметров. Далее приводятся усредненные по суткам данные измерений. Следует заметить, что предварительно проведенный нами анализ с более высоким временным разрешением не противоречит представленным ниже выводам.

На рис. 2 показаны среднесуточные концентрации приземного озона в январе 2021 и 2022 гг. для двух пунктов наблюдений в Могилеве. Отмечены также особенности в поведении озона, причины которых авторам хотелось бы выяснить. Это минимумы среднесуточных значений 4, 13, 17 и 28 января и максимумы 11, 14 и 21 января 2022 г. Эти особенности отмечены также и на всех последующих рисунках. Как и в случае непосредственных измерений (рис. 1, а, б), видно увеличение среднесуточных концентраций приземного озона в январе 2022 г. по сравнению с январем 2021 г. Особенно это заметно для пункта 06 из «чистого» района, и оказывается менее значительным для пункта 04.

В Могилеве параллельно с измерениями концентрации озона в январе 2021 и 2022 гг. регистрировались также концентрации антропогенных загрязнений воздуха: оксида углерода, оксида и диоксида азота, бензола, толуола, ксилола. Ниже приводятся результаты этих измерений, которые позволяют обосновать исключение антропогенного фактора из списка возможных причин обсуждаемых особенностей в поведении приземного озона и повышения его концентрации в январе 2022 г. по сравнению с январем предыдущего года.

Данные наблюдений за оксидами азота (рис. 3) подтверждают более высокую загрязненность воздуха в районе пункта 04 по сравнению с пунктом 06 и не обнаруживают существенной разницы в уровнях загрязнения в январе 2021 и 2022 гг., кроме заметного выброса на пункте 04 19 января в 2021 г. Поэтому оксиды азота не могут быть причиной повышения концентрации озона в январе 2022 г.

В январе 2021 г. концентрация оксида углерода на пункте 04 была почти такой же, как и в 2022 г., а на пункте 06 заметно выше и практически совпадала с результатами измерений на «грязном» пункте 04 (рис. 4). Поскольку концентрации озона в январе 2022 г. повысились по сравнению с январем 2021 г. на обоих пунктах наблюдений, причиной такого повышения не могут быть отмеченные изменения в уровнях загрязнения воздуха оксидом углерода.

Наконец, на рис. 5 показаны концентрации бензола, толуола и ксилола в те же периоды времени. Что касается пункта 06, то существенных изменений между январями 2021 и 2022 гг. не произошло. Однако на пункте 04 в январе 2021 г. концентрации летучих органических соединений были значительно выше, чем в январе 2022 г. Поэтому с учетом отрицательного коэффициента корреляции летучих органических соединений с озоном [9] следовало бы ожидать увеличения концентрации приземного озона в 2022 г. только в районе пункта 04, но не на обоих пунктах сразу (рис. 1, 2). Такого

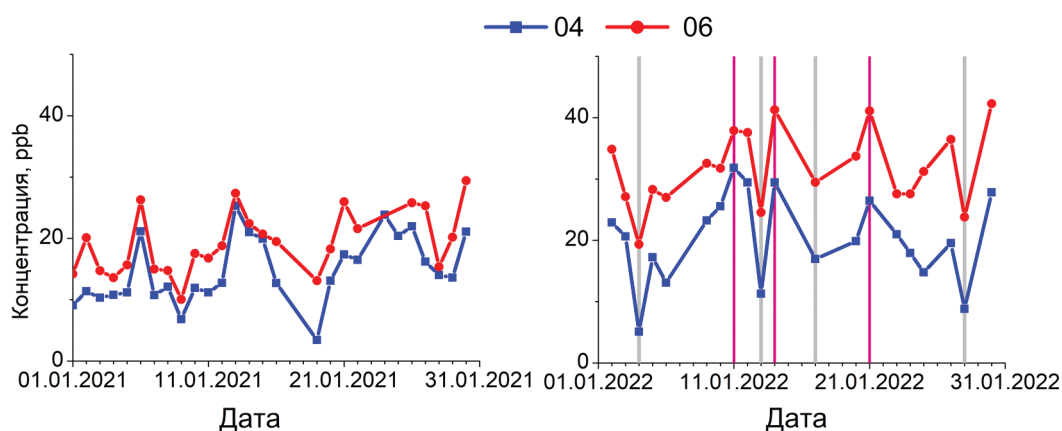


Рис. 2. Среднесуточные концентрации приземного озона на пунктах 04 и 06 Могилева, зарегистрированные в январе 2001 и 2022 гг. Вертикальными линиями отмечены события, обсуждаемые далее. Серый цвет – понижение, розовый – повышение среднесуточной концентрации озона

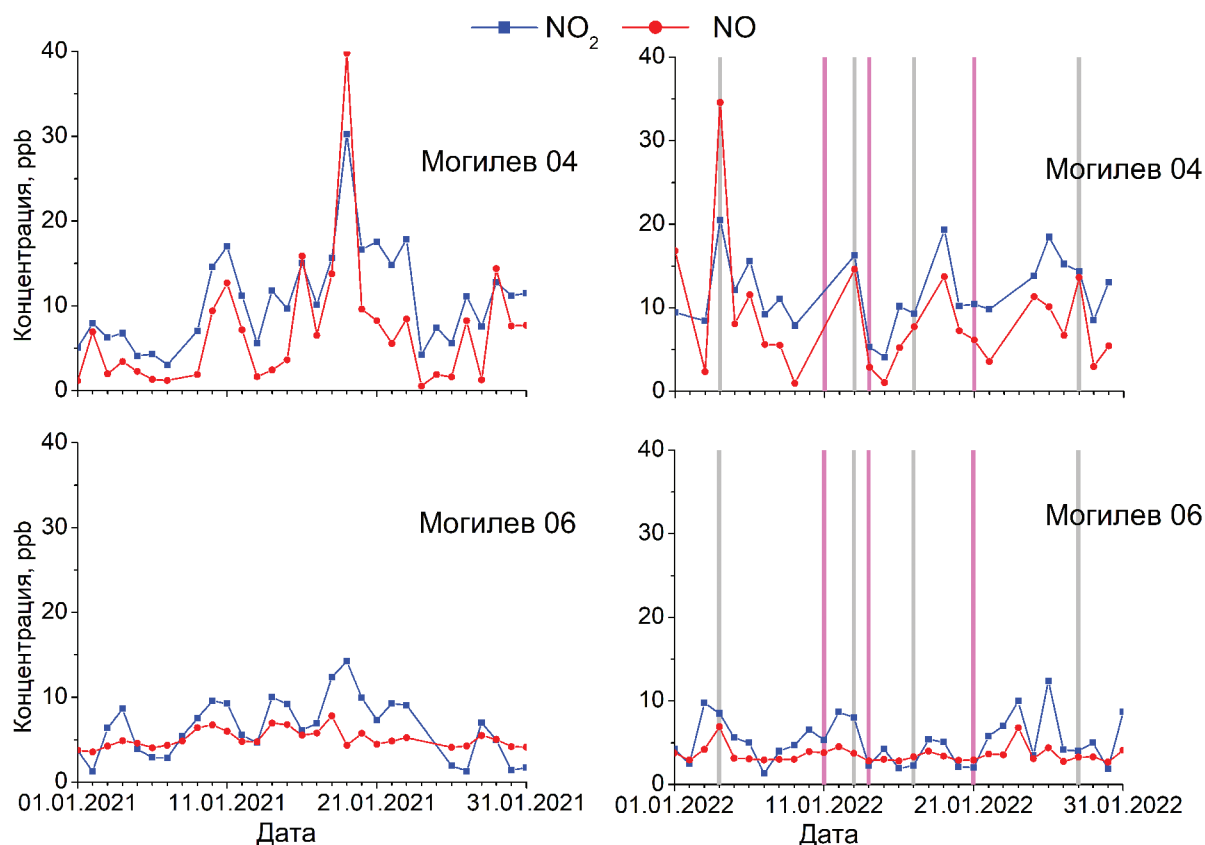


Рис. 3. Концентрации оксидов азота, зарегистрированные на пунктах 04, 06 Могилева в январе 2021 и 2022 гг.

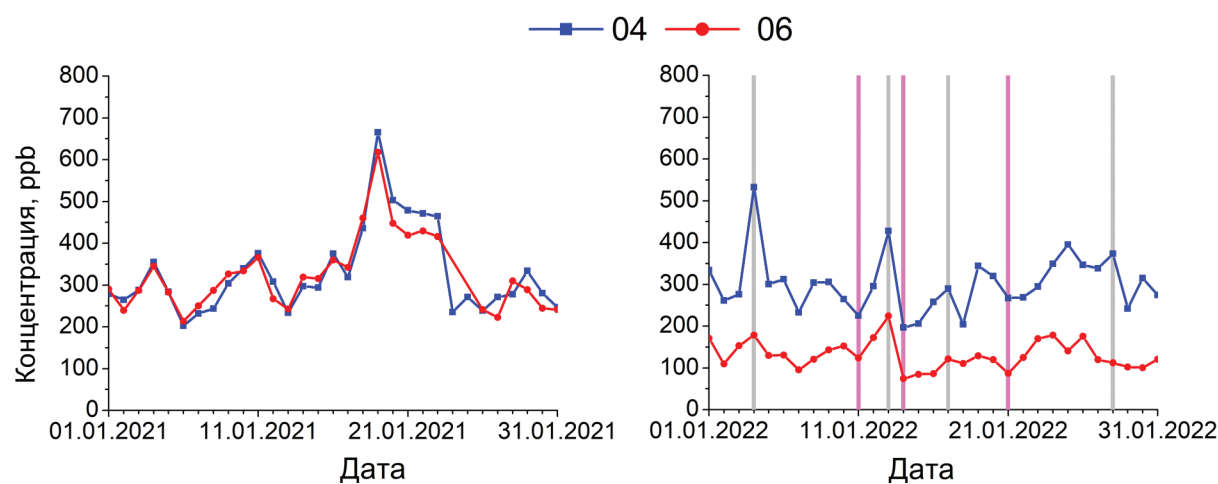


Рис. 4. Концентрации оксида углерода, зарегистрированные на пунктах 04, 06 Могилева в январе 2021 и 2022 гг.

не произошло. Следовательно, изменения в уровне загрязнения воздуха бензолом, толуолом и ксилолом не являются причиной роста концентрации приземного озона в январе 2022 г. по сравнению с январем 2021 г.

На приведенных выше рисунках с данными об антропогенном загрязнении воздуха можно обнаружить незначительное снижение их концентраций в дни, когда концентрация озона повышалась. И наоборот, пониженным концентрациям озона соответствуют повышенные концентрации антропогенных загрязнений. Это особенно заметно на графике с концентрацией оксида углерода (рис. 4) и на графике с концентрациями летучих органических соединений на пункте 04 (рис. 5). Скорее всего,

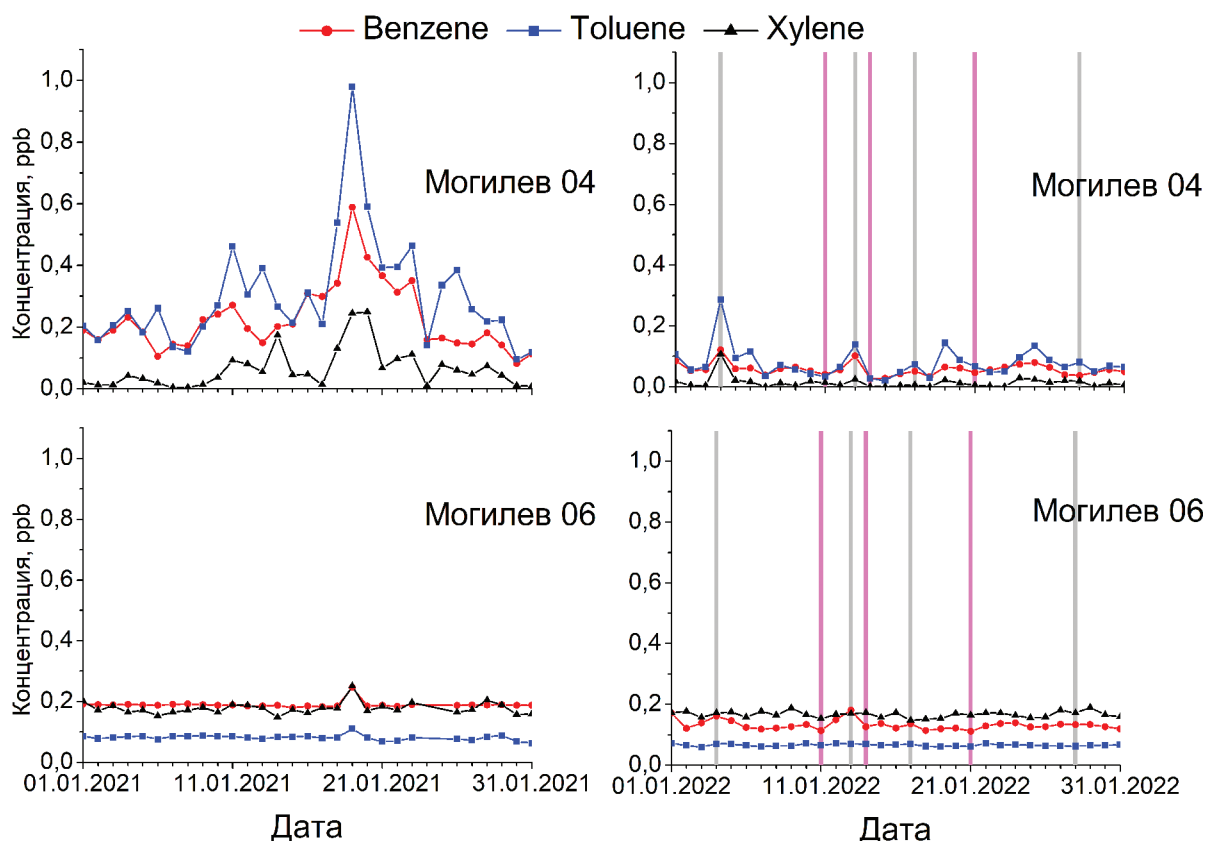


Рис. 5. Концентрации летучих органических соединений в январе 2021 и 2022 гг. на двух пунктах наблюдений Могилева

причиной отмеченных особенностей являются метеорологические условия, способствующие или препятствующие выносу загрязнений из приземного слоя воздуха.

Влияние метеорологических условий на приземный озон. Перейдем теперь к анализу метеорологических условий в обсуждаемые периоды времени. На рис. 6 приведены данные о температуре воздуха, скорости ветра, влажности, облачности, давлении воздуха и вертикальном градиенте температуры воздуха в нижнем слое тропосферы в Могилеве в январе 2021 и 2022 гг.

Вертикальный градиент температуры воздуха характеризует устойчивость атмосферы. Речь идет о величине $-\partial T/\partial h$, где T – температура воздуха, h – высота. Чем выше значение этой величины, тем менее устойчива атмосфера, тем эффективнее ее вертикальное перемешивание за счет термической конвекции. В настоящее время в Беларуси измерения вертикального распределения температуры в тропосфере производят только на метеостанциях Брест и Минск в срок 00 UTC, поэтому градиент температуры для Могилева определялся на основе выходной продукции модели ICON (икосаэдрическая негидростатическая модель немецкой службы погоды). Расчет градиентов производился в двух слоях атмосферы: 2 м – до высоты, отвечающей давлению 925 гПа, и от высоты 925 гПа – до высоты, отвечающей давлению 850 гПа.

В работе [11] для оценки вертикальной устойчивости атмосферы использовалось минимальное из значений для двух слоев. Возможно, это не совсем верный выбор. На рис. 6 представлены среднесуточные градиенты, определенные по значениям только из нижнего слоя тропосферы. Результаты демонстрируют отсутствие корреляции с отмеченными особенностями поведения приземного озона. Оценки по старой схеме [11] также свидетельствуют об отсутствии корреляции.

Вертикальное перемешивание улучшается также за счет турбулентности, генерируемой горизонтальными ветрами. Однако изменений в скорости ветра, коррелирующих с поведением приземного озона в январе 2022 г., не обнаруживается. А также не обнаруживается существенной разницы в скорости ветра по сравнению с предыдущим годом (кроме заметного усиления ветра во второй декаде января 2022 г.). Логично ожидать, что определяющая причина обсуждаемых особенностей поведения приземного озона должна одинаково проявляться для случаев сильного понижения концентрации озона и резко отличаться в случаях его повышенной концентрации. Ничего подобного не

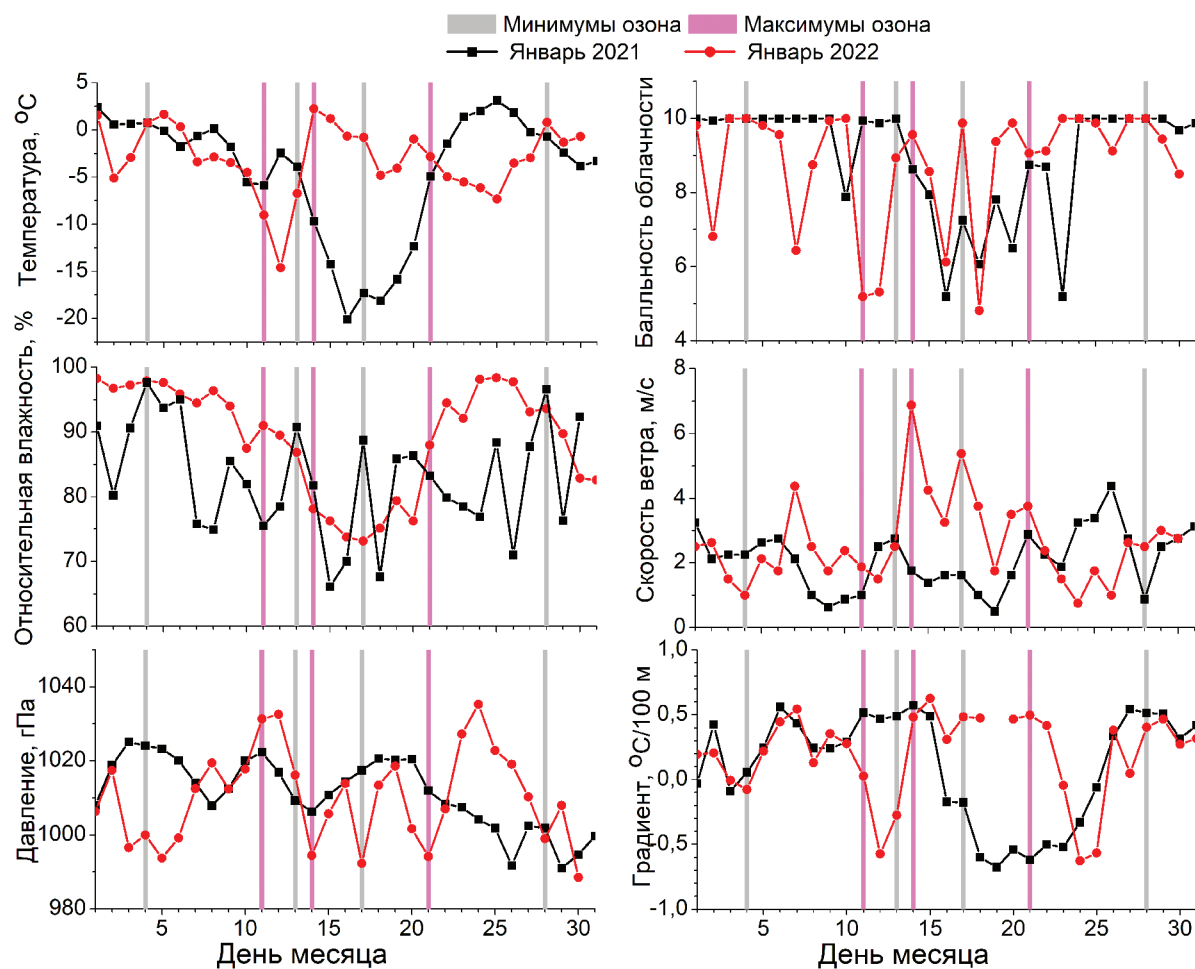


Рис. 6. Среднесуточные значения метеопараметров в январе 2021 и 2022 гг. (Могилев)

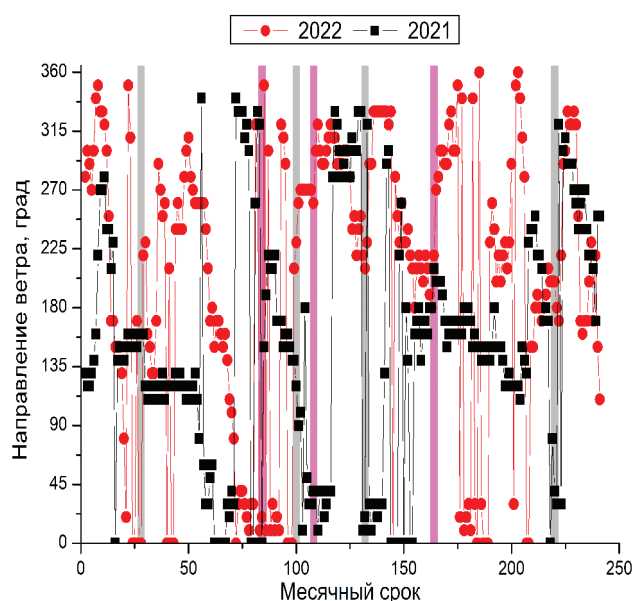


Рис. 7. Направление ветра в январе 2021 и 2022 гг. в Могилеве. Значениям «0» и «360» отвечает ветер с севера, «90» – с востока. По оси абсцисс указаны номера месячных метеорологических сроков (интервал между сроками – 3 ч). Вертикальными линиями выделены середины суток обсуждаемых особенностей в поведении приземного озона

выявлено. Следовательно, и поведение этих метеопараметров не может быть причиной обсуждаемых особенностей.

Направление ветра в некоторой степени характеризует происхождение воздушных масс, приходящих на территорию Беларуси и приносящих «свой» приземный озон и другие загрязнения воздуха (рис. 7). Повышению концентрации озона соответствует в основном ветер из северо-западного сектора, а понижению – из юго-западного. Возможно, эта особенность и является причиной произошедших в январе флуктуаций среднесуточных концентраций приземного озона. Однако это не объясняет повышение его среднемесячных значений в январе 2022 г. по сравнению с январем предыдущего года. Авторы старались не ссылаться на результаты описания зависимости приземного озона от влияющих на него факторов, полученные ранее с помощью уравнения регрессии [11–13]. В названных публикациях показано, что приземный озон в Беларуси отрицательно коррелирует со всеми обсуждаемыми здесь антропогенными загрязнителями атмосферы. Поскольку анализ отдельных возможных причин изменения концентрации озона не выявил основной, следует проверить возможность коллективного влияния всей совокупности факторов. Полученное уравнение регрессии допускает такую возможность, поскольку частично учитывает совокупное (синергетическое) воздействие различных факторов посредством включения в уравнение членов в виде произведений объясняющих переменных, а также и более сложных их комбинаций. Правда, в работе [13] отмечалось, что уравнение позволяет объяснить всего лишь около 60 % дисперсии концентрации приземного озона и потому не обеспечивает полного совпадения результатов расчетов с измеренными значениями.

На рис. 8 приведено сравнение расчетов по уравнению регрессии, полученному в [12], с измерениями для обоих пунктов наблюдений в Могилеве. Следует обратить внимание, что расчетные данные не обнаруживают принципиальных различий между январями 2021 и 2022 гг., хотя такие различия имеют место для измеренных значений. Здесь речь идет не о незначительных колебаниях среднесуточной концентрации озона в течение месяца, а о средней величине концентрации за месяц. Особенно это заметно для «чистого» пункта наблюдений 06, где измеренные концентрации озона в 2022 г. оказались существенно выше, чем в 2021 г.

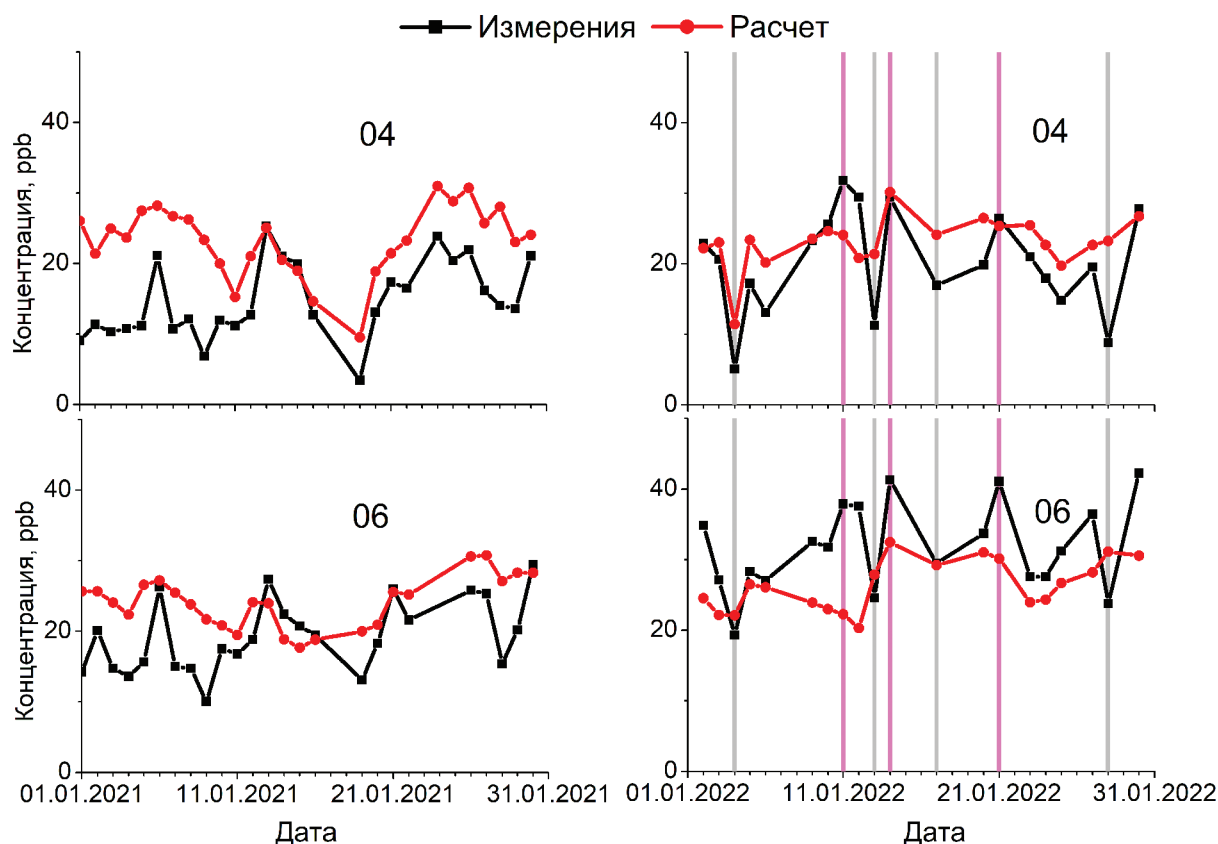


Рис. 8. Сравнение расчетов концентрации приземного озона по уравнению регрессии с измеренными значениями на пунктах 04, 06 Могилева

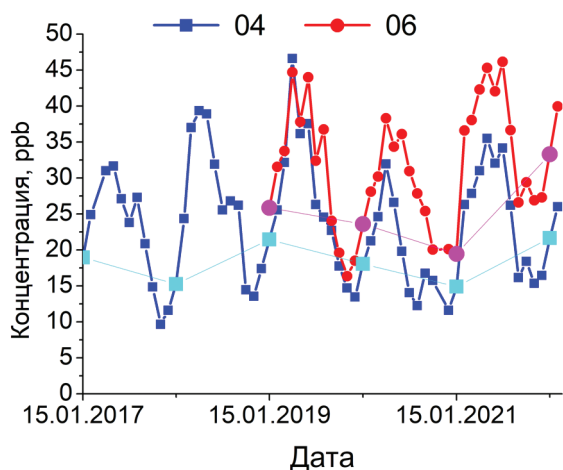


Рис. 9. Среднемесячные значения концентрации приземного озона, зарегистрированные на пунктах наблюдений 06, 04 Могилева в 2017–2022 гг. Январские значения выделены более светлыми и укрупненными знаками

Уравнение регрессии учитывает почти все рассмотренные выше факторы, способные повлиять на концентрацию приземного озона. Только направление ветра не входит в число объясняющих переменных уравнения. Однако использовать этот параметр удастся лишь для объяснения среднесуточных колебаний концентрации приземного озона, но не разницы в среднемесячных значениях для двух рассматриваемых периодов времени. В связи с этим можно утверждать, что в проведенном рассмотрении, а также в списке объясняющих переменных уравнения регрессии отсутствует переменная, имеющая определяющее значение на обсуждаемую разницу в поведении озона в 2021 и 2022 гг. Таких переменных действительно много, и поэтому даже «правильное» уравнение (в смысле точности описания зависимости исследуемой величины от неполного набора объясняющих переменных) никогда не обеспечит точного совпадения с результатами измерений [14].

Одной из неучтенных в уравнении регрессии переменных является наличие или отсутствие

снежного покрова [15–17]. Известно, что осаждение озона на заснеженной поверхности происходит гораздо медленнее, чем на бесснежной [16, 17]. Данные наблюдений отвергают такую причину: и в 2021, и в 2022 гг. январь был заснеженным по всей территории страны. В частности, зимой 2021 г.: «в первой-второй декадах января по всей территории страны образовался устойчивый снежный покров, местами достигший высоты 30–58 см» [18]. При этом станциями Белгидромета зафиксированы весьма интенсивные снегопады. В январе 2022 г. «в первой половине месяца снежный покров по большей части территории Беларуси также неоднократно образовывался и разрушался. Во второй половине по большей части страны залегание снежного покрова носило устойчивый характер» [19]. Еще одна возможная причина – осадки, способствующие разрушению озона [5]. Однако анализ их местных особенностей вряд ли способен объяснить ситуацию, поскольку речь идет об изменениях концентрации озона над всей территорией страны в течение длительного периода.

Закключение. Проанализированы возможные причины различия в концентрациях приземного озона над всей территорией Беларуси в январе 2022 г. по сравнению с январем предыдущего года. Для этого использовали наблюдения во всех областных городах Беларуси. Единственным пунктом наблюдений, который можно отнести к сельской местности (в соответствии с общепринятой классификацией), является Березинский биосферный заповедник.

Повышенные по сравнению с 2021 г. концентрации приземного озона в январе 2022 г. регистрировались на всех пунктах наблюдений (рис. 1). Это позволило заключить, что загрязнения антропогенного происхождения, различающиеся для разных городов и даже для разных районов одного города, не являются причиной анализируемой ситуации. Следовательно, объяснение нужно искать в общих для всей территории страны метеорологических особенностях обсуждаемых периодов. Для этого были исследованы все доступные метеорологические параметры для Могилева, и не было обнаружено их корреляции с концентрацией приземного озона за исключением направления ветра. Только оно реально коррелирует с флуктуациями озона в январе 2022 г. Однако этот параметр никак не объясняет повышенные среднемесячные концентрации озона по всей территории страны по сравнению с предыдущим годом.

Использованное уравнение регрессии также не объясняет наблюдаемой разницы. На рис. 9 приведены среднемесячные значения концентрации озона, зарегистрированные на могилевских пунктах наблюдений, начиная с января 2017 г. Рис. 9 показывает, что межгодовые флуктуации среднемесячных концентраций озона – обычное явление. Они происходят постоянно. В частности, оказалось, что январские концентрации 2019 и 2020 гг. также превышают значения 2021 г. (таблица). Таким образом, на самом деле следовало бы искать объяснение некоторого понижения концентрации приземного озона в январе 2021 г., по сравнению с 2019, 2020 и 2022 гг. Об этом также свидетельствует хорошее соответствие расчёта с измерениями в 2022 г., и заметно худшее в 2021 г. Следует признать, что в настоящее время не все факторы, влияющие на поведение приземного озона в Беларуси, определены и требуется поиск недостающих.

Январские среднемесячные концентрации озона в 2020–2022 гг., ppb

Пункт	Годы		
	2020	2021	2022
04	18,0	14,9	21,6
04 расчет	–	23,3	20,1
06	23,6	19,4	33,3
06 расчет	–	24,1	31,8

Благодарности. Авторы благодарны независимому исследователю-аналитику О. Титаренко за инициативу прокомментировать отмеченное различие в январском озоне 2021–2022 гг., что послужило поводом для проведения исследования.

Список использованных источников

1. Sillman, S. Tropospheric Ozone and Photochemical Smog / S. Sillman // Elsevier Science. – 2003. – 648 p.
2. Монин, А. С. Климат как проблема физики / А. С. Монин, Ю. А. Шишков // УФН. – 2000. – Т. 170, № 4. – С. 419–445.
3. Effect of stratosphere-troposphere exchange on the future tropospheric ozone trend / W. J. Collins [et al.] // J. Geophys. Res. – 2003. – Vol. 108, N 12. – P. 13-1–13-10. DOI: 10.1029/2002JD002617
4. Покаташкин, В. И. Оценка влияния некоторых антропогенных загрязнителей на концентрацию приземного озона в условиях Минска / В. И. Покаташкин, А. М. Людчик // Природные ресурсы. – 2013. – № 2. – С. 87–92.
5. Ozone and aerosols over the Tibetan Plateau / J. Ma [et al.] // Asian Atmospheric Pollution. Chapter 15. – Elsevier. – 2022. – P. 287–302. ISBN 9780128166932
6. Measurements of NO_x and aerosol particles at NY-Alesund Zeppelin mountain station on Svalbard: influence of regional and local pollution sources / H. J. Beine [et al.] // Atmospheric Environment. – 1996. – Vol. 30, N 7. – P. 1067–1079.
7. Антропогенное загрязнение воздуха оксидом углерода и оксидами азота в городах Беларуси / А. М. Людчик, Е. А. Мельник, П. Н. Павленко // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: материалы 22-й Международ. науч. конф., г. Минск, 19–20 мая 2022 г.: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова БГУ; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра физ.-мат. наук, проф. С. А. Маскевича, канд. техн. наук, доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – С. 155–158.
8. Антропогенное загрязнение воздуха бензолом, толуолом и ксилолом в городах Беларуси / А. М. Людчик [и др.] // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: материалы 22-й Международ. науч. конф., г. Минск, 19–20 мая 2022 г.: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова БГУ; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра физ.-мат. наук, проф. С. А. Маскевича, канд. техн. наук, доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – С. 145–158.
9. Антропогенное загрязнение воздуха и приземный озон в городах Беларуси / В. В. Божкова [и др.] // Природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 92–101.
10. Bozhkova V. V. Influence of meteorological conditions on urban air pollution / V. V. Bozhkova, A. M. Liudchik, S. D. Umreirka // Acta Geographica Silesiana. – 2020. – Vol. 14. – P. 5–22.
11. Статистическая оценка антропогенного воздействия на приземный озон / А. М. Людчик [и др.] // Природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 96–106.
12. Климатическая норма приземного озона в чистой атмосфере Беларуси / В. В. Божкова [и др.] // Природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 98–107.
13. Божкова В. В. луктуации поля приземного озона в Беларуси, обусловленные метеорологическими условиями и антропогенным загрязнением воздуха / В. В. Божкова, А. М. Людчик, Е. А. Мельник // Природные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 80–91.
14. Влияние диоксида серы на приземный озон в городах Беларуси / А. М. Людчик [и др.] // Природные ресурсы. – 2021. – № 2. – С. 22–29.
15. Role of Ozone Deposition in the Occurrence of the Spring Maximum / A. Liudchik [et al.] // Atmosphere-Ocean. – 2015. – Vol. 53, N 1. – P. 42–49.
16. Evaluation of the flux gradient technique for measurement of ozone surface fluxes over snowpack at Summit, Greenland / F. Bocquet [et al.] // Atmospheric Measurement Techniques. – 2011. – Vol. 14. – P. 2305–2321.
17. The role of ozone atmosphere-snow gas exchange on polar boundary-layer tropospheric ozone – a review and sensitivity analysis / D. Helmig [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2007. – Vol. 7. – P. 15–30.
18. Климатическая характеристика зимы 2020–2021 года. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-xarakteristika-zimy-2020-2021-godov-3830-2021/>
19. Климатическая характеристика зимы 2021–2022 года. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-xarakteristika-zimy-2021-2022-goda-5149-2022/>

Поступила 05.07.2022

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

WATER RESOURCES

ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 504.453/556.53

В. Н. Корнеев, И. А. Булак, А. О. Русина

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь, e-mail: i_bulak@tut.by, kvn@cricuwr.by, nastena_rusina@mail.ru*

ОЦЕНКА ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЧАСТКОВ РЕК В БАСЕЙНЕ НЕМАНА, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД РИСКОМ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Аннотация. Проведен анализ методических подходов по определению участков рек, находящихся под риском заморных явлений по гидроморфологическим показателям; определен предварительный перечень участков рек в бассейне Немана, находящихся под возможным риском заморных явлений; проведены экспедиционные исследования гидроморфологических показателей участков рек в летне-осенний период с уточнением перечня участков и их характерных створов; разработаны предложения по местоположению створов для установки автоматических гидрохимических станций (АГХС) на реках в бассейне Немана.

Ключевые слова: заморные явления, водохранилище, гидрологический режим, методические подходы, гидроморфологические, гидрохимические и гидробиологические показатели, гидрометрические измерения, скоростной и кислородный режимы, точечные и рассредоточенные (диффузные) источники загрязнений

V. N. Korneev, I. A. Bulak, A. O. Rusina

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus,
e-mail: i_bulak@tut.by, kvn@cricuwr.by, nastena_rusina@mail.ru*

ASSESSMENT OF HYDROMORPHOLOGICAL INDICATORS OF RIVERS IN THE NEMAN RIVER BASIN THAT ARE AT RISK OF FISH KILL

Abstract. The analysis of methodological approaches was carried out to determine the sections of rivers that are at risk of fish kill phenomena, according to hydromorphological indicators; a preliminary list of sections of rivers in the Neman river basin, which are under the possible risk of fish kill phenomena, has been determined; expeditionary studies of hydromorphological indicators of river sections in the summer-autumn period were carried out with the specification of the list of sections and their characteristic cross-sections; proposals were developed for the location of sites for the installation of automatic hydrochemical stations (AHCS) on rivers in the Neman river basin.

Keywords: fish kill phenomena, reservoir, hydrological regime, methodological approaches, hydromorphological indicators, hydrochemical indicators, hydrobiological indicators, hydrometric measurements, flow-velocity regime, oxygen regime, point sources of pollution, dispersed (diffuse) sources of pollution

У. М. Карнееў, І. А. Булак, А. А. Русіна

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў,
Мінск, Беларусь, e-mail: kvn@cricuwr.by, i_bulak@tut.by, nastena_rusina@mail.ru*

АЦЭНКА ГІДРАМАРФАЛАГІЧНЫХ ПАКАЗЧЫКАЎ УЧАСТКАЎ РЭК У БАСЕЙНЕ НЁМАНА, ЯКІЯ ЗНАХОДзяцца ПАД РЫЗЫКАЙ ЗАМОРНЫХ З'ЯЎ

Анатацыя. Праведзены аналіз метадычных падыходаў па вызначэнні участкаў рэк, якія знаходзяцца пад рызыкай заморных з'яў па гідрамарфалагічных паказчыках; вызначаны папярэдні пералік участкаў рэк у басейне Нёмана, якія знаходзяцца пад магчымай рызыкай заморных з'яў; праведзены экспедыцыйныя даследаванні гідрамарфалагічных паказчыкаў участкаў рэк у летне-асенні перыяд з удакладненнем пераліку участкаў і іх характэрных створаў; распрацаваны прапановы па месцазнаходжанні створаў для ўстаноўкі аўтаматычных гідрахімічных станцый (АГХС) на рэках у басейне Нёмана.

Ключавыя словы: заморныя з'явы, вадасховішча, гідралагічны рэжым, метадычныя падыходы, гідрамарфалагічныя, гідрахімічныя і гідрабіялагічныя паказчыкі, гідраметрычныя вымярэнні, хуткасны і кіслародны рэжымы, кропкавыя і разгрупаваныя (дыфузныя) крыніцы забруджванняў

Введение. На водотоках Республики Беларусь происходят заморные явления, сопровождающиеся массовой гибелью рыбы. В том числе эти явления эпизодически происходят в бассейне Немана. В дальнейшем стоит ожидать усиления данного процесса с учетом влияния изменения климата на

водные ресурсы. По информации Гродненского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды за период с 2013 по 2020 г. выявлено 42 случая возникновения пред- и заморных явлений, из которых в 11 случаях установлены факты гибели рыбы на 9 водных объектах. К наиболее значимым относятся случаи заморов на реках: Неман в 2013 и 2020 гг. и Берестовичанка в 2020 г.

Проведенный анализ произошедших за период с 2005 по 2020 г. в бассейне Немана заморов рыбы показал, что в основном до размещения водохранилища Гродненской ГЭС и до ее ввода в эксплуатацию заморы преимущественно были в Минской области. Они происходили вследствие высокой концентрации загрязняющих веществ на водотоках Минской области из-за наличия различного рода производственных предприятий и особенностей гидроморфологических показателей принимающих водотоков, включая невысокую разбавляющую способность этих водотоков – притоков Немана. Однако в связи со строительством на Немане в Гродненской области водохранилища Гродненской ГЭС, то заморы стали происходить как на самой реке, так и на ее притоках, на участке влияния данного водохранилища.

Заморные явления происходят вследствие ухудшения гидроморфологических показателей, связанных с нарушением непрерывности потока, изменением условий проточности за счет значительного уменьшения скорости течения в связи с размещением плотины ГЭС. Причинами заморных явлений могут выступать антропогенные источники (сброс загрязненных сточных вод в водные объекты, попадание химических удобрений с близлежащих полей при интенсивных дождях и др.), природные явления (высокая температура, вследствие чего активизируются процессы разложения органических веществ, приводящие к резкому снижению кислорода в воде, резкое снижение уровня воды и др.), а также комплексное воздействие антропогенных и природных факторов.

Одним из наиболее значимых факторов, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность рыб в водоемах/водотоках, является концентрация в воде растворенного кислорода. Чаще всего замор рыбы происходит вследствие недостатка кислорода. Его содержание в летний период должно быть не менее 6,0 мг $O_2/дм^3$, в подледный период – не менее 4,0 мг $O_2/дм^3$ (для лососе- и осетрообразных эти показатели еще выше – 8,0 и 6,0 мг $O_2/дм^3$ соответственно).

Заморы рыб бывают летние и зимние. Причин может быть несколько: во-первых, при повышении температуры воды снижается концентрация растворенного в ней кислорода; во-вторых, повышение температуры воды ведет к активному размножению фитопланктона, что происходит при нарушении условий или полном отсутствии течения. Гидроморфологические данные рек, включая условия проточности и наличия течений, наряду с гидробиологическими и гидрохимическими показателями оказывают значимое влияние на содержание растворенного кислорода. Кроме того, к массовой гибели рыбы может привести сброс сточных вод или поступление воды с заболоченных территорий, содержащих большое количество органических веществ и продуктов гниения, поглощающих в процессе окисления из воды кислород. Летние заморы рыб наблюдаются в прудах, озерах и других непроточных и малопроточных водоемах, богатых растворенными органическими веществами.

Заморы в зимний период (январь–апрель) связаны с продолжительными сильными морозами, которые способствуют замерзанию воды, заливающей все трещины слоя льда на поверхности водоема. Эти заморы обусловлены тем, что накопившиеся за летний период на дне водоема растительность и животные остатки разрушаются с помощью бактерий; при этом поглощается значительное количество кислорода, а его поступление из воздуха отсутствует из-за ледяного покрова. В редких случаях наблюдаются заморы рыб от пресыщения воды растворенным кислородом вследствие интенсивного развития растительных организмов. Иногда зимний замор случается из-за наличия в воде большого количества гуминовых веществ и закиси железа.

Методическая часть. Методические подходы по определению участков рек, находящихся под риском заморных явлений по гидроморфологическим показателям, основаны на критических значениях этих показателей, соответствующих условиям для проживания рыб. Следовательно, значения показателей меньше, чем критические будут свидетельствовать о возможности возникновения риска пред- и заморных явлений.

Гидроморфологические показатели представлены в СТБ 17.13.04-02-2013/EN 15843:2010 [1] и включают следующие характеристики: геометрия русла, включая плановую конфигурацию реки, профиль русла (продольный и поперечный); донные отложения, включая распространенность искусственных донных отложений, «естественные», смешанные или характерно измененные, характер эрозии, отложений; русловая растительность и органические остатки, включая размер и количество древесных остатков; характеристики течения, включая воздействие внутрирусловых искусственных сооружений в пределах участка реки, изменений на водосборе на характер естественного течения, последствия изменений суточного расхода (например, попуски воды); продольная непрерывность под воздействием искусственных сооружений; структура берега и его изменения; вид и структура

растительности на берегах и прилегающих землях; прилегающие земли и связанные с ними особенности; взаимосвязь между руслом и поймой, включая степень взаимосвязи и интенсивность смещения русла реки. К важным гидроморфологическим показателям также относятся характеристики водосбора водотока, приходящиеся к требуемому расчетному характерному створу его рассматриваемого участка, а также его гидрологическая характеристика в части расходов и уровней воды заданных вероятностей превышения (обеспеченностей). Для оценки риска заморных явлений наиболее значимыми являются характеристики минимального стока и соответствующие им уровни воды.

Основным и наиболее значимым гидроморфологическим показателем, оказывающим влияние на кислородный режим водного объекта и условия проживания рыб, является скорость течения, которая определяет необходимые условия проточности. Следует отметить, что указанный показатель является обобщенным, зависящий от остальных гидроморфологических данных, значение которых определяется влиянием других параметров. Основной причиной изменения гидроморфологических показателей является нарушение продольной непрерывности потока за счет размещения внутрируслового искусственного сооружения – плотины гидроузла водохранилища Гродненской ГЭС. На изменение скоростного режима также влияет шероховатость русла и поймы и взаимосвязь между руслом и поймой. Данная шероховатость, выражаемая соответствующими коэффициентами шероховатости, определяется видами растительности на берегах и прилегающих землях, а также характеристикой гранулометрического (механического) состава донных отложений.

Для обеспечения необходимых условий проточности средние в поперечных сечениях продольные скорости течения воды должны быть в диапазоне от 0,10 до 0,25 м/с с учетом исследований Финского института экологических исследований, основанных на опыте восстановления малых рек, а также опыта Новой Зеландии при размещении рыбопропускных устройств [2]. Согласно рекомендациям, представленным в [3], данный диапазон также составляет от 0,1 до 0,25 м/с с минимальными необходимыми условиями проточности при средней в поперечном сечении водотока скорости не менее 0,1 м/с.

Необходимым условием, определяющим приведенные выше условия проточности, является наличие необходимого экологического стока. При этом достаточными условиями являются морфометрические характеристики реки для обеспечения соответствующей средней в сечении скорости, включая ширину русла и его среднюю глубину, а также характеристику шероховатости русла вдоль участков периметра поперечных сечений, которая определяется донными отложениями, русловой растительностью (при ее наличии), а также структурой берегов.

Для определения экологического стока используется методика, представленная в Пособии в области охраны окружающей среды и природопользования по порядку расчета лимитирующих гидрологических и гидравлических характеристик поверхностных водных объектов, разработанном РУП «ЦНИИКИВР» [4]. Согласно данному документу, определение количественных характеристик гидрологического режима водотоков, обеспечивающих их экологическое функционирование, должно основываться на использовании результатов гидрологических и гидравлических расчетов. Основным критерием при определении экологического стока является сохранение в реке объемов стока не менее чем 75 % от минимальных среднемесячных расходов воды 95 %-ной обеспеченности. Данный подход согласуется с применяемыми в государствах Европейского союза подходами, представленными в руководящем документе 2015 г. Европейской Комиссии по экологическому стоку [5] при внедрении Водной рамочной директивы Европейского союза [6]. Согласно данному документу, величина возможного количества воды для изъятия с учетом обеспечения экологического стока также составляет от 10 до 25 % от расходов воды при их обеспеченности (вероятности превышения) 95 %.

Результаты исследования гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений. В результате проведенного анализа водотоков определено 14 участков водотоков, которые могут находиться под риском заморных явлений. В том числе 9 участков на самой реке Неман (из них 4 в пределах Гродненского водохранилища) и 5 на ее притоках. Два участка являются фоновыми: Неман у н. п. Збойск Ивьевского района и Сула у н. п. Новоселье Столбцовского района (рис. 1).

Исследования гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений включает проведение экспедиций с прямыми гидрометрическими измерениями, гидроморфологические и гидрологические расчеты с использованием фондовых данных мониторинга гидрологического режима, картографической информации, результатов фотосъемки с использованием квадрокоптера, а также характеристик землепользования. Для определения гидроморфологических, гидрохимических и гидробиологических показателей в характерных створах участков рек бассейна Немана, находящихся под возможным риском заморных явлений, в период с 6 по 10 сентября и с 1 по 5 ноября 2021 г. РУП «ЦНИИКИВР» совместно с НПЦ НАН Беларуси по

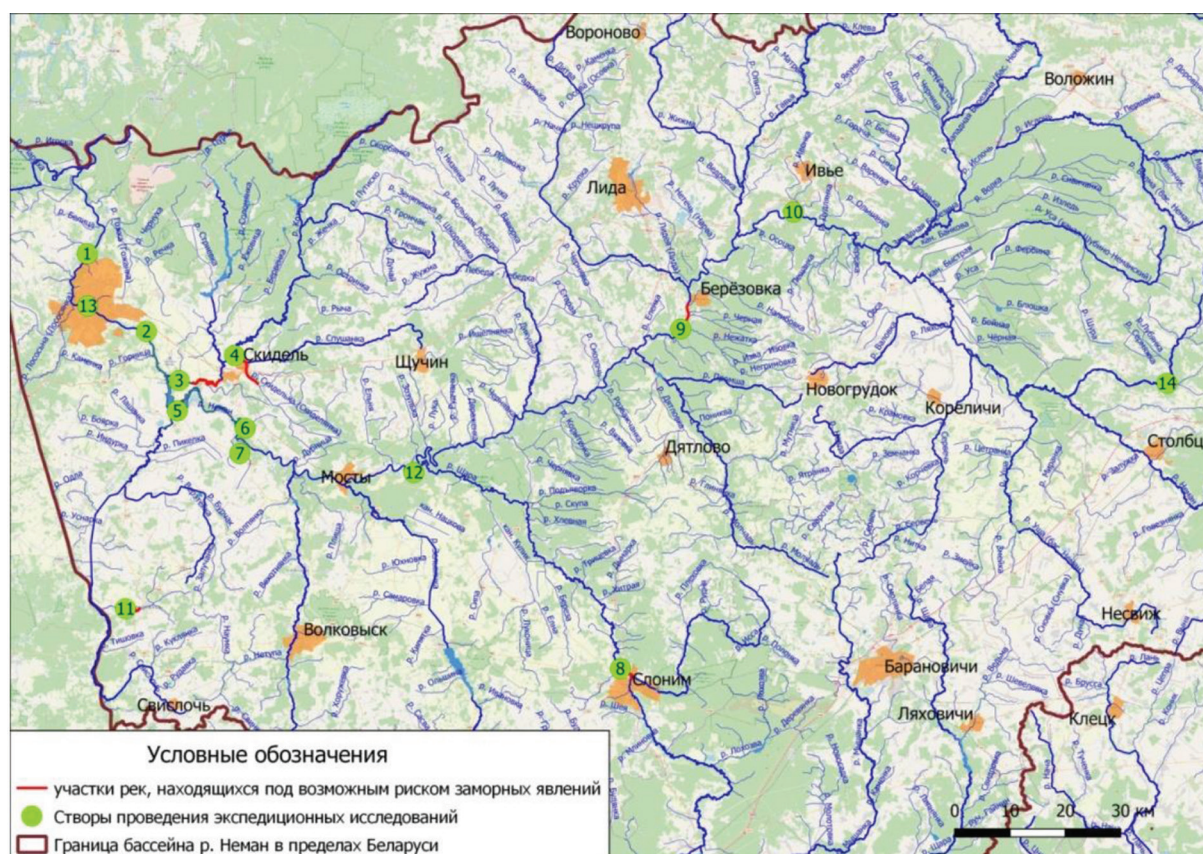


Рис. 1. Схема размещения участков водотоков бассейна Немана в пределах Гродненской обл., находящихся под возможным риском заморных явлений и характерных створов этих участков

биоресурсам организованы и проведены экспедиционные исследования с использованием представленных выше методических подходов.

Каждому исследованному участку соответствует 14 таблиц, где определены следующие гидро-морфологические показатели: плановая конфигурация реки, профиль русла, донные отложения, характер течения, продольная непрерывность русла, структура берегов, растительность и прилегающие к ним земли. Выявлено, что плановая конфигурация исследуемых рек в основном природная, исключение составляют участки водохранилища Гродненской ГЭС и участок Немана в пределах Гродна. Также незначительное изменение плановой конфигурации реки присутствует в створе Немана на территории н. п. Селец Лидского района.

Профиль русла на исследуемых участках в основном близкий к природному, нет изменений в поперечном и в продольном сечении русла (или они минимальны). Исключение составляют участки 2 и 3 (Неман, участок водохранилища Гродненской ГЭС, 500 м выше плотины, Котра у н. п. Огородники Гродненского района соответственно). Анализ донных отложений показал, что искусственные материалы на рассматриваемых участках присутствуют в минимальном количестве, за исключением участков водохранилища Гродненской ГЭС (створы 5, 6, 7) и участок Немана в пределах Гродна (створ 13).

Управление водной растительностью присутствует незначительно, исключение составляют участки водохранилища Гродненской ГЭС и Немана в пределах Гродна. На данных участках присутствует умеренный уровень управления растительностью.

Характер течения на анализируемых участках в основном незначительно подвержен изменению, за исключением водохранилища Гродненской ГЭС (створы 5, 6, 7), участка Немана в пределах Гродна (створ 13), а также участка Котра у н. п. Огородники Гродненского района (створ 2). Шесть анализируемых участков (водохранилище Гродненской ГЭС, реки Котра и Скиделянка) находятся в зоне влияния сооружений, которые являются препятствием для миграции всех видов биоты и транспорта наносов, на остальных участках искусственные сооружения отсутствуют.

Анализ структуры берега и его изменений показал, что на рассматриваемых участках берега не подвержены или подвержены незначительно культурно-техническому берегоукреплению искус-

ственными материалами. Преобладающий вид растительности на берегах и прилегающих землях естественный.

Степень взаимосвязи реки и поймы показывает, что почти все исследуемые участки не одамбированы за исключением участка Немана в пределах Гродна (створ 13). Также наблюдается частичное сдерживание русла на участке размещения водохранилища и полное сдерживание русла на Немане в пределах Гродна.

По результатам экспедиционных исследований также определены морфометрические характеристики створов исследуемых участков водотоков, характеристики скоростного режима в данных створах и расходы воды, наличия на пойме в пределах территории водосбора точечных и рассредоточенных источников загрязнений. Расходы воды и средние скорости течения определены с использованием МВИ 107-94 [7] (табл. 1).

В табл. 2 приведены характеристики водосборов и расчетные минимальные расходы воды 95 %-ной вероятности превышения (обеспеченности). Гидрологические характеристики участков в части расходов воды, включая экологический сток, определены РУП «ЦНИИКИВР» в рамках софинансирования и представлены в отдельном приложении. При этом использовали методики [4, 8, 9], а также данные регулярных наблюдений гидрологического режима на стационарных гидрологических постах Белгидромета. Для водных объектов, где отсутствуют такие данные, расчетные расходы воды получены по характеристикам водосборов этих рек, приходящихся к требуемым створам.

Т а б л и ц а 1. Обобщенные результаты определения расходов воды и средних скоростей течения по результатам измерений, выполненных в ходе экспедиционных исследований в 2021 г.

Наименование реки, населенный пункт	Дата измерений	Измеренный расход воды, м ³ /с	Измеренная средняя скорость течения воды, м ³ /с	Площадь поперечного сечения, м ²
р. Неман – н. п. Збойск, Ивьевский район	06.09.2021	29,722	0,296	100,41
р. Неман – н. п. Селец, Лидский район	06.09.2021	35,276	0,367	96,12
р. Котра – н. п. Огородники, Гродненский район	07.09.2021	5,898	0,049	120,37
р. Скиделянка – н. п. Некраши, Гродненский район	07.09.2021	0,968	0,176	5,50
р. Берестовичанка – н. п. Иодичи, Берестовицкий район	08.09.2021	0,305	0,074	4,13
р. Щара – н. п. Розановщина, Слонимский район	09.09.2021	10,109	0,312	32,40
р. Неман – речной порт – гидрологический пост с установленной АГХС	02.11.2021	145,327	0,874	166,28
р. Неман – н. п. Новоселки, Мостовский район	03.11.2021	87,306	0,492	177,45

Т а б л и ц а 2. Обобщенные морфометрические и гидрологические характеристики участков рек под риском заморных явлений и фоновых

Номер створа	Наименование водного объекта	Населенный пункт	Координаты	Площадь водосбора, км ²	Длина, км	Уклон, промилле	Расчетный минимальный среднемесячный расход воды 95%ВР, м ³ /с	Расчетный расход воды, соответствующий экологическому стоку, м ³ /с	Минимальный наблюдаемый расход воды, м ³ /с	
									период открытого русла	зимний период
1	р. Неман	н. п. Зарица, Гродненский район	53.761538 23.810586	34 540	437	0,19	75,2	56,4	44,5	17,9
2	р. Неман, участок водохранилища Гродненской ГЭС, 500 м выше плотины	н. п. Береговой, Гродненский район	53.639574 23.982202	33 490	410,5	0,17	73,0	54,7	43,2	17,3
3	р. Котра	н. п. Огородники, Гродненский район	53.562156 24.077017	2050	137	0,2	0,864	0,648	НРН ¹	НРН
4	р. Скиделянка	н. п. Некраши, Гродненский район	53.606514 24.225583	448	27	1,4	0,245	0,184	НРН	НРН

Окончание табл. 2

Номер створа	Наименование водного объекта	Населенный пункт	Координаты	Площадь водосбора, км ²	Длина, км	Уклон, промилле	Расчетный минимальный среднемесячный расход воды 95%ВР, м ³ /с	Расчетный расход воды, соответствующий экологическому стоку, м ³ /с	Минимальный наблюдаемый расход воды, м ³ /с	
									период открытого русла	зимний период
5	р. Неман, участок в средней части водохранилища Гродненской ГЭС	н. п. Хомики, Гродненский район	53.512885 24.075553	29 000	393,6	0,17	63,2	47,4	37,4	15,0
6	р. Неман, участок в верхней части водохранилища Гродненской ГЭС	н. п. Подбораны, Гродненский район	53.472343 24.240322	28 950	373	0,18	68,5	51,4	49,3	28,0
7	р. Неман, затока в верхней части водохранилища Гродненской ГЭС	н. п. Подбораны, Гродненский район	53.471370 24.240176	28 950	373	0,18	68,5	51,4	49,3	28,0
8	р. Щара	н. п. Розановщина, Слонимский район	53.117675 25.300086	5580	235	0,24	8,53	6,4	3,1	2,5
9	р. Неман	н. п. Селец, Лидский район	53.671495 25.443263	15 430	253	0,22	38,8	29,1	24,4	12,9
10 ²	р. Неман	н. п. Збойск, Ивьевский район	53.865081 25.746204	11 910	208,3	0,22	30,0	22,5	18,8	10,0
11	р. Берестовичанка	н. п. Иодичи, Берестовицкий район	53.188470 23.957263	128	10,3	3,78	0,216	0,162	НРН	НРН
12	р. Неман	н. п. Новоселки, Мостовский район	53.429497 24.726166	25 320	329	0,22	59,9	45,0	43,1	24,5
13	р. Неман	г. Гродно, речной порт, гидрологический пост с установленной АГС	53.676592 23.819822	33 600	423	0,21	73,2	54,9	43,3	17,4
14 ²	р. Сула	н. п. Новоселье, Столбцовский район	53.593309 26.774557	430	41,5	3,14	1,358	1,019	НРН*	НРН*

Примечание. 1 – НРН – нет регулярных наблюдений; 2 – фоновый створ.

Результаты исследований изменения скоростей течения, растворенного кислорода и температуры воды по глубине потока в водохранилище Гродненской ГЭС. В ходе проведенных экспедиционных исследований на четырех вертикалях створов Немана на участке размещения водохранилища Гродненской ГЭС выполнены измерения местных продольных скоростей течения, растворенного кислорода и температуры воды по глубине потока (рис. 2). Произведена оценка стратификации в данном водном объекте путем определения указанных характеристик по слоям по всей водной толще водного объекта на измерительных вертикалях. Измерения выполнены в нижней части водохранилища 500 м выше плотины, в средней, в верхней части водохранилища и в затоке.

С использованием статистических методов путем проведения корреляционного анализа [10] определены закономерности характеристик скоростного режима и температуры воды с содержанием в воде растворенного кислорода. На рис. 3–6 представлены результаты послойной (через 0,5 м) стратификации водохранилища Гродненской ГЭС по характеристикам скоростного, кислородного и температурного режимов. Здесь же представлены и корреляционные зависимости попарного сравнения этих характеристик.

По результатам проведенного корреляционного анализа наблюдается средняя и высокая корреляция с коэффициентами в диапазоне 0,74–0,98 при соблюдении условия величины достоверности аппроксимации R^2 больше, чем 0,5. *Справочно: Величина коэффициента корреляции отражает*

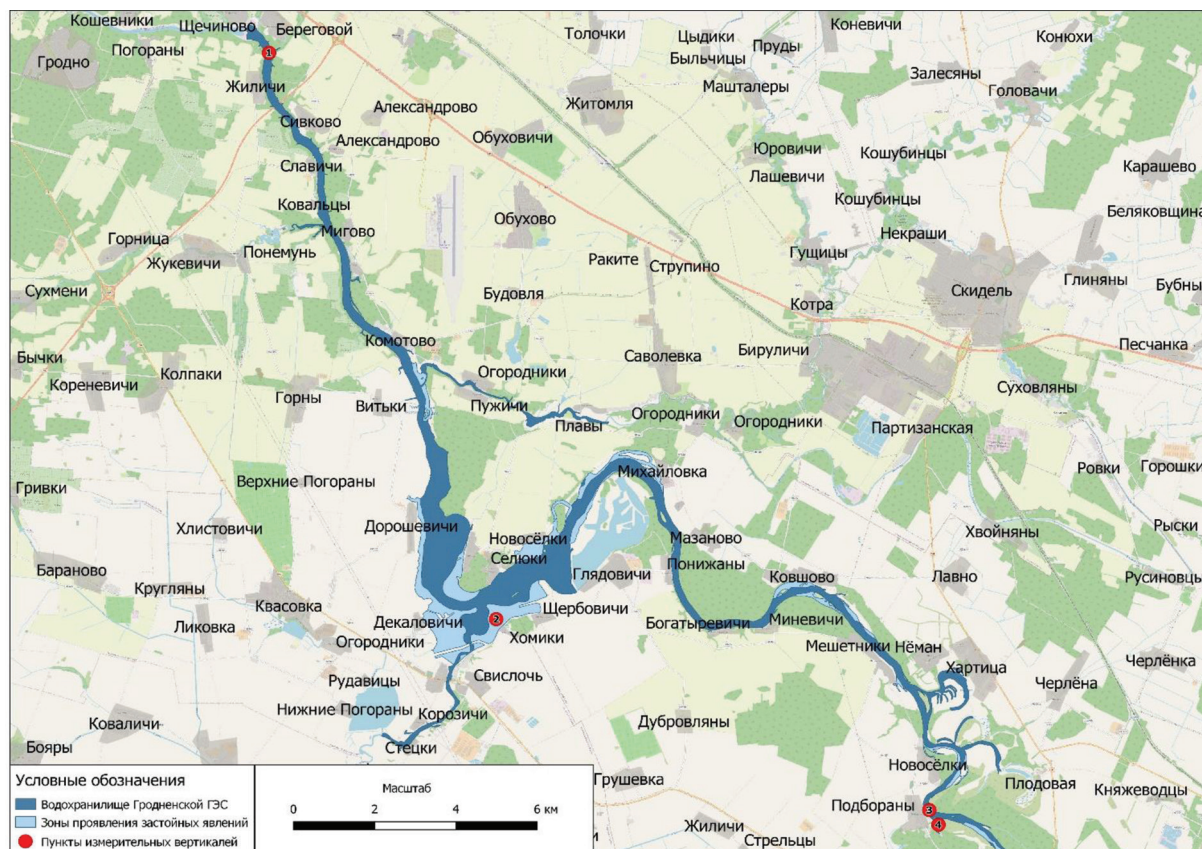


Рис. 2. Схема местоположения измерительных вертикалей изучения скоростного режима течений, растворенного кислорода и температуры воды по глубине потока

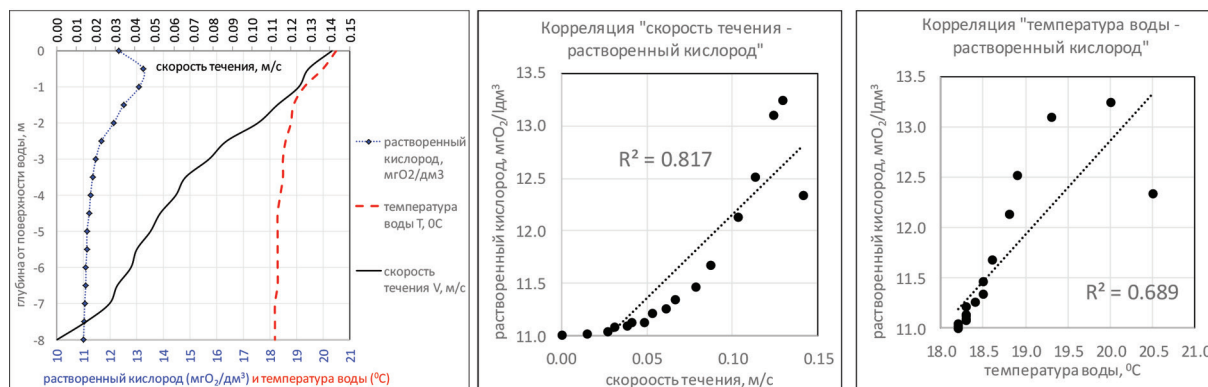


Рис. 3. Оценка стратификации в водохранилище Гродненской ГЭС, 500 м выше плотины

силы связи. Оценка силы связи коэффициентов корреляции следующая: от 0 до 0,3 очень слабая; от 0,3 до 0,5 слабая; от 0,5 до 0,7 средняя; от 0,7 до 0,9 высокая; от 0,9 до 1 очень высокая.

По результатам проведенных измерений и их анализа при наличии условий проточности и благоприятных гидрометеорологических условий во время проведения экспедиционных исследований в сентябре 2021 г. содержание растворенного кислорода в воде изменялось в диапазоне 8,1–21,6 мгО₂/дм³. В это же время при отсутствии условий проточности в затоке в верхней части водохранилища Гродненской ГЭС содержание растворенного кислорода снижалось с 11,4 до 2,1–2,15 мгО₂/дм³, что может способствовать возникновению риска заморных явлений.

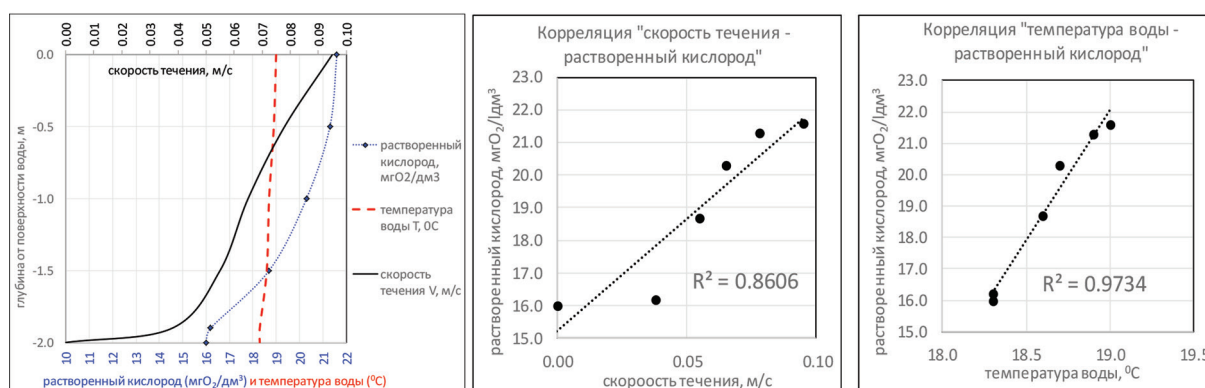


Рис. 4. Оценка стратификации в водохранилище Гродненской ГЭС, средняя часть
вблизи н. п. Хомики, Гродненский район

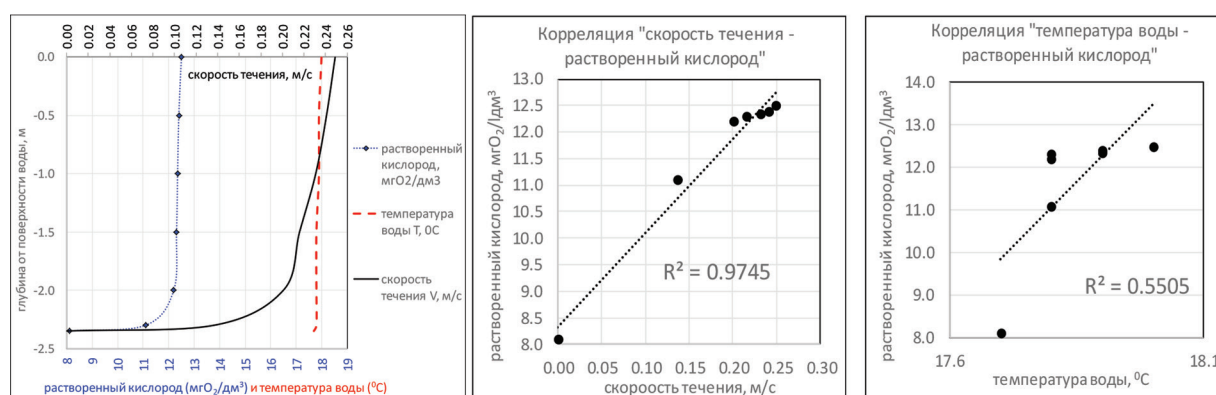


Рис. 5. Оценка стратификации в водохранилище Гродненской ГЭС, верхняя часть
у н. п. Подбораны, Гродненский район

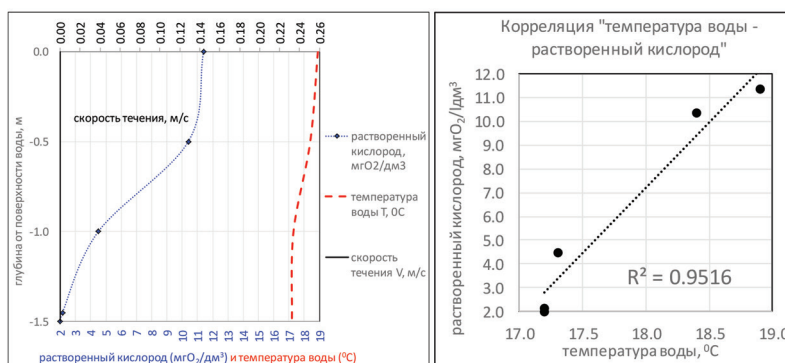


Рис. 6. Оценка стратификации в водохранилище Гродненской ГЭС, затока в верхней части
у н. п. Подбораны при отсутствии условий проточности (течения)

Заключение. Исследования гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений, показали значимость этих параметров для обеспечения удовлетворительного кислородного режима для предотвращения заморных явлений, а также значимость гидрохимических и гидробиологических данных. Результаты проведенного корреляционного анализа послойного по глубине водохранилища Гродненской ГЭС измерения скоростного, температурного и кислородного режимов подтвердили необходимость наличия условий проточности для обеспечения удовлетворительного кислородного режима для предотвращения заморных явлений.

Анализ гидрологического режима и характеристик водопользования в период возникновения случаев заморных явлений показал, что их причиной являлись преимущественно природные фак-

торы, связанные с жаркими и засушливыми периодами. Исключение могут составлять реки Котра и Берестовичанка, когда имеется сочетание неблагоприятных факторов, связанных как с большой антропогенной нагрузкой на указанные водотоки, так и с природными факторами в связи с жаркими и маловодными периодами.

Основываясь на данных о случаях возникновения заморных явлений в период с 2005 по 2020 г., можно сделать вывод, что реки Берестовичанка и Котра можно отнести к рекам с высокой вероятностью возникновения заморных явлений. Также высокая вероятность возникновения заморных явлений на участке Немана ниже сброса сточных вод ОАО «Гродноводоканал». Результаты исследований гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений, позволили разработать предложения по местоположению створов для установки автоматических гидрохимических станций (АГХС) в бассейне Немана.

В конце 2021 г. на Немане в створе действующего гидрологического поста в Гродно установлена и функционирует АГХС. Данные, получаемые в режиме реального времени, могут позволить повысить информационную поддержку при выявлении риска заморных явлений на участке Немана в нижнем бьефе водохранилища Гродненской ГЭС. Предложена установка еще одной АГХС на правом берегу Немана на участке водохранилища Гродненской ГЭС 1 км ниже впадения Котры. Установка указанной АГХС в верхнем бьефе водохранилища Гродненской ГЭС повысит информационную поддержку своевременного выявления риска заморных явлений на наиболее проблемном участке размещения водохранилища.

Рекомендуется автоматизация проведения гидрологических наблюдений на 22 действующих гидрологических постах Белгидромета с измерением уровней и температуры воды, воздуха, атмосферного давления и количества осадков. Для шести действующих гидрологических постов дополнительно предложено дооснащение датчиками качества воды: растворенного кислорода, водородного показателя, аммоний-иона, атмосферного давления, мутности и электропроводности воды. В том числе это следующие гидрологические посты: Неман – н. п. Белица; Неман – г. Мосты; Щара – г. Слоним; Свислочь – н. п. Диневичи; Котра – Сахкомбинат; Ошмянка – н. п. Большие Яцны. При автоматизации действующих гидрологических постов необходимо обеспечить защиту от несанкционированного доступа, что будет являться определяющим фактором по возможности установки АГХС.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках задания «Разработать научно-методические основы оперативного мониторинга пред- и заморных явлений в бассейне Немана, включая состав мероприятий по их предупреждению» (этап 2021 года) подпрограммы «Устойчивое использование природных ресурсов и охрана окружающей среды с учетом изменения климата» ГНТП «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности», 2021–2025 гг.

Список использованных источников

1. СТБ 17.13.04-02-2013/EN 15843:2010. Охрана окружающей среды и природопользование Аналитический контроль и мониторинг. Руководство по определению степени изменения гидроморфологических показателей состояния рек. – Минск: Госстандарт, 2010. – 28 с.
2. New Zealand Fish Passage Guidelines. National Institute of Water and Atmospheric Research. - 2018. - 226 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://niwa.co.nz/static/web/freshwater-and-estuaries/NZ-FishPassageGuidelines-upto4m-NIWA-DOC-NZFPA.pdf>. – Дата доступа: 11.02.2022.
3. Яцык, А. В. Экологические основы рационального водопользования / А. В. Яцык. – К.: Генеза, 1997. – 640 с.
4. П-ООС 17.06-03-2017. Пособие в области охраны окружающей среды и природопользования: Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок расчета лимитирующих гидрологических и гидравлических характеристик поверхностных водных объектов. – Минск, 2017. – 13 с.
5. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance Document No. 31/Technical Report-2015-086: European Commission. – 2015. – 106 р. Экологический сток при внедрении Водной рамочной директивы. Руководящий документ № 31 / Технический доклад – 2015-086: Европейская Комиссия. – 2015. – 106 с. (на английском языке). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://circabc.europa.eu/sd/a/4063d635-957b-4b6f-bfd4-b51b0acb2570/Guidance%20No%2031%20-%20Ecological%20flows%20%28final%20version%29.pdf>. – Дата доступа: 11.02.2022.
6. Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 года, устанавливающая основы для деятельности Сообщества в области водной политики (Водная Рамочная Директива). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.caresd.net/iwrm/new/doc/direct.pdf>. – Дата доступа: 11.02.2022.
7. МВИ 107-94. Методика выполнения измерений расхода воды в каналах методом «скорость–площадь» с интерполяцией измеренных скоростей на промерные вертикали. Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР), НПП «Водкосмос». – Минск, 1994. – 16 с.
8. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения: ТКП 45-3.04-168-2009. – Введ. 01.07.2010. – Минск: Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 55 с.
9. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003. – М.: Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2004. – 73 с.
10. Рождественский, А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

Поступила 24.02.2022

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 504.4

В. П. Музыкин, В. К. Рыжова

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь, e-mail: ryzhova.valeryia@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА УЧАСТКЕ БАСЕЙНА ПРИПЯТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ изменения гидрологического и гидродинамического режимов поверхностных и подземных вод в бассейне Припяти в районе интенсивного их водоотбора (Мозырь и Микашевичи) с применением математической статистики. Для исследований использованы результаты мониторинга поверхностных и подземных вод национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) в пунктах наблюдений, расположенных в данной части бассейна Припяти. На основе результатов статистической обработки данных наблюдений представлено обоснование основных факторов формирования режима подземных вод в современных условиях и выполнен прогноз изменения современного гидродинамического режима подземных вод для исследуемой территории.

Ключевые слова: грунтовые и напорные воды, гидродинамический режим, пункт наблюдения, мониторинг, многолетние колебания, разностные кривые, статистические данные

V. P. Muzykin, V. K. Ryzhova

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources,
Minsk, Belarus, e-mail: ryzhova.valeryia@mail.ru*

INVESTIGATION AND FORECAST OF CHANGES IN THE HYDRODYNAMIC REGIME OF GROUNDWATER IN THE AREA OF THE PRIPYAT RIVER BASIN BASED ON MONITORING DATA

Abstract. A comparative analysis of changes in the hydrological and hydrodynamic regimes of surface and groundwater in the Pripyat basin in the area of their intensive drainage (Mozyr and Mikashevichi) has been carried out using mathematical statistics. The results of monitoring of surface and underground waters of the National Environmental Monitoring System (NEMS) at observation points located in this part of the Pripyat basin are used for research. The substantiation of the main factors of the formation of the groundwater regime in modern conditions is given on the basis of the results of statistical processing of observational data. The forecast of changes in the modern hydrodynamic regime of groundwater for the studied area is made.

Keywords: groundwater, pressure water, hydrodynamic regime, observation point, monitoring, long-term fluctuations, difference curves, statistical data

В. П. Музыкин, В. К. Рыжова

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў,
Мінск, Беларусь, e-mail: ryzhova.valeryia@mail.ru*

ДАСЛЕДАВАННІ І ПРАГНОЗ ЗМЭНЫ ГІДРАДЫНАМІЧНАГА РЭЖЫМУ ПАДЗЕМНЫХ ВОД НА УЧАСТКУ БАСЕЙНА ПРЫПЯЦІ НА АСНОВЕ ДАДЗЕННЫХ МАНІТОРЫНГУ

Анатацыя. Выкананы параўнальны аналіз змены гідралагічнага і гідрадынамічнага рэжымаў паверхневых і падземных вод у басейне Прыпяці ў раёне інтэнсіўнага іх водаадбору (Мазыр і Мікашэвічы) з прымяненнем матэматычнай статыстыкі. Для даследаванняў выкарыстаны вынікі маніторынгу паверхневых і падземных вод нацыянальнай сістэмы маніторынгу навакольнага асяроддзя (НСМНА) у пунктах назіранняў, размешчаных у дадзенай частцы басейна Прыпяці. На аснове вынікаў статыстычнай апрацоўкі дадзеных назіранняў прадстаўлена абгрунтаванне асноўных фактараў фарміравання рэжыму падземных вод у сучасных умовах і выкананы прагноз змены сучаснага гідрадынамічнага рэжыму падземных вод для даследнай тэрыторыі.

Ключавыя словы: грунтавыя і напорныя воды, гідрадынамічны рэжым, пункт назірання, маніторынг, шматгадовыя ваганні, рознасныя крывыя, статыстычныя дадзеныя

Введение. Гидрогеологические расчеты, в том числе исследование режима подземных вод, требуют надежных исходных данных о гидрогеологической обстановке на изучаемой территории. В первую очередь относятся условия залегания, основные гидродинамические параметры колебаний уровней и фильтрации подземных вод. В практике для определения этих параметров могут применяться и данные регулярных режимных наблюдений. Имея мониторинговые данные, можно оценить расчетные гидродинамические характеристики потоков подземных вод на характерные периоды временных рядов и в целом получить требуемую оценку изменения их во времени. Для достоверной оценки взаимовлияния поверхностных и подземных вод требуется получение информации о параллельных соотношениях уровней поверхностного водного объекта и подземных вод.

В пределах исследуемой территории наблюдения за режимом поверхностных вод, уровнями грунтовых (УГВ) и напорных (УНВ) вод для условий их формирования, близких к естественным, проводятся на участках гидрологических и гидрогеологических постов НСМОС, а для нарушенных условий – специальных режимных сетях водозабора подземных вод Лучежевичи (Мозырь) и карьеров РУПП «Гранит» (Микашевичи). Для оценки изменения режима подземных вод в пределах исследуемой территории в условиях взаимовлияния с поверхностными водами использован метод сравнительного гидрогеологического анализа с элементами математической статистики. Закономерности многолетних колебаний уровней поверхностных и подземных вод на участках постов статистически оценены по следующим направлениям: 1) использование многолетних (за 1989–2020 гг.) среднемесячных данных изменения уровней воды в реках, уровней УГВ и УНВ на участках гидрогеологических постов и построение на их основе хронологических графиков и разностных интегральных кривых по методикам [1–3]; 2) выделение ритмичности хода уровней поверхностных и подземных вод в многолетнем разрезе и построение кривых модульных коэффициентов их изменения [1–3]; 3) оценка статистического распределения уровней путем расчета коэффициентов относительного положения уровней УГВ и УНВ для характерных сезонных периодов наблюдений (весна и лето).

Применение графиков разностных интегральных кривых позволило проследить направленность развития природных (или техногенных) процессов, в том числе оценить проявление ритмичности изменения уровней в многолетнем разрезе. Экстремальные значения на интегральной кривой фактически определяют временную ритмичность хода уровней, поскольку их абсциссы соответствуют времени наступления среднемноголетней нормы уровня подземных вод (уровня воды в водотоке) после соответствующего их падения или повышения. Расчет модульных коэффициентов позволил проследить количественные изменения отклонения уровней уже по сезонам, т. е. применение данного метода дает возможность проведения сравнительной оценки сезонных (природных или техногенных) колебаний уровней поверхностных и подземных вод в различных пунктах наблюдений.

Коэффициент относительного положения уровней ($K_{от}$, %) показывает, какая часть колебаний глубины залегания уровней УГВ (или УНВ) составляет в период наблюдений превышение над среднемноголетней нормой глубины залегания УГВ (или УНВ), и рассчитан по формуле: $K_{от} = \frac{h_{ср.мн} - h_{мин}}{h_{макс} - h_{мин}}$,

где $h_{ср.мн}$ – среднемноголетняя норма глубины залегания УГВ (УНВ) на участке за период наблюдений, м; $h_{мин}$, $h_{макс}$ – минимальная и максимальная глубина залегания УГВ (УНВ) в период прослеживаемых изменений, м.

При $K_{от} = 0$ глубина залегания УГВ (УНВ) в период прослеживаемых изменений находилась на отметке среднемноголетней нормы, если $K_{от} > 0$, то соответственно данная расчетная часть (в %) колебаний УГВ (УНВ) в исследуемом периоде была выше отметки среднемноголетней нормы, а при $K_{от} < 0$, наоборот, ниже отметки среднемноголетней нормы.

В рамках данной работы нет возможности дать графическое представление расчетных материалов для всех участков гидрологических и гидрогеологических постов НСМОС, использованных в исследованиях. Поэтому представлены расчетно-статистические материалы по опорным постам. Изложение материала дифференцировано относительно выраженных в рельефе геоморфологических элементов: речные долины, заболоченные водосборы современной озерно-болотной и аллювиальной равнины поозерского горизонта, водосбор флювиогляциальной равнины днепровского горизонта. Для нарушенных условий формирования подземных вод расчетные материалы в статье представлены по участку наблюдений на водозаборе подземных вод Лучежевичи.

Характеристика закономерностей режима поверхностных вод. Графики интегральных кривых и модульных коэффициентов для опорных гидрологических постов приведены на рис. 1.

Анализ разностных интегральных кривых показал, что водный режим больших и средних рек Припять, Уборть и Горынь до 2013 г. формировался в благоприятных природных водно-балансовых условиях с колебаниями уровней преимущественно выше или на уровне среднемноголетних отметок. Для режима рек была характерна ритмичность хода уровней воды, на интегральных кривых для рек по экстремальным положительным значениям могут быть выделены малые ритмы в 3–7 лет (например, 1991–1994, 1995–2001 гг.) и большой в 12 лет (2001–2013 гг.), что может быть связано с солнечной активностью. В современных условиях с 2013 г. осуществляется ритм падения фактических уровней воды в реках ниже среднемноголетних отметок, что соответствует формированию маловодной фазы колебаний уровней воды. Для рек Припять, Уборть и Горынь кривые модульных коэффициентов асимптотически соответствуют друг другу, что указывает на сходные закономерности в формировании сезонных режимов изменения уровней воды в реках: пониженное питание и установление уровней воды ниже среднемноголетних норм в июле–январе (экстремальный минимум – сентябрь), повышенное питание и установление уровней воды выше нормы в феврале–июне

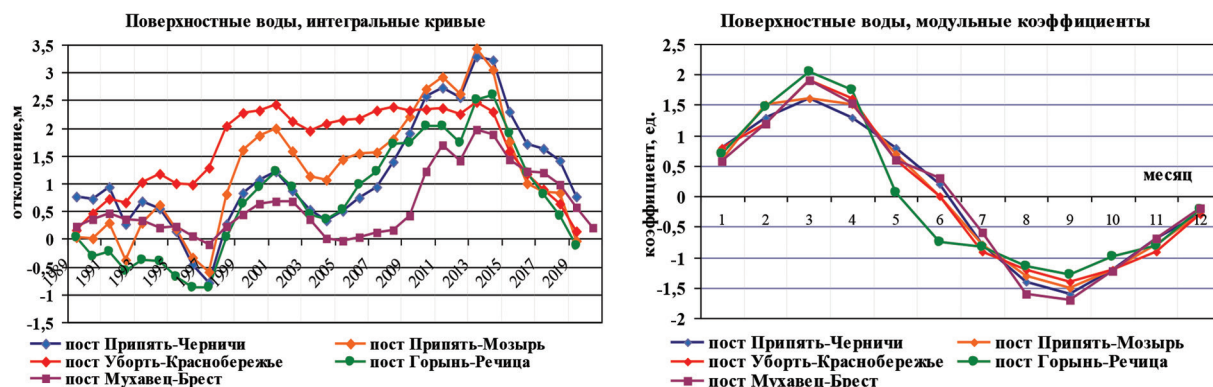


Рис. 1. Расчетные разностные интегральные кривые и графики модульных коэффициентов колебаний уровня воды для рек Припять, Уборть и Горынь

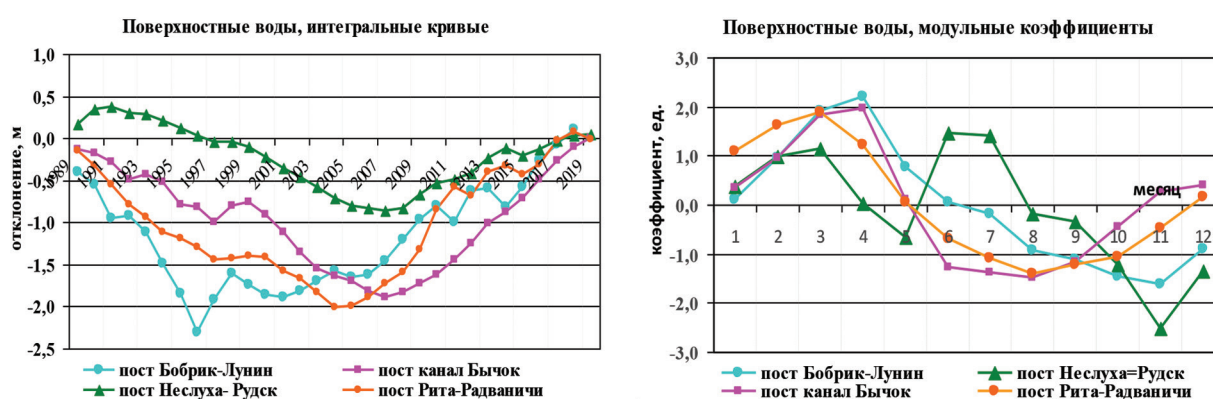


Рис. 2. Расчетные разностные интегральные кривые и графики модульных коэффициентов колебаний уровня воды некоторых малых рек Припяти и Зап. Буг

(экстремальный максимум – март). Аналогичные синхронные закономерности установлены и для хода уровней воды в других притоках Припяти – средних реках Птичь, Горынь, Лань, Оресса, Ясельда. Следует добавить, что данные закономерности свойственны и для крупных рек другого речного бассейна, находящегося в южной части Беларуси – Зап. Буг и Мухавец (рис. 1).

Для малых рек бассейна Припяти такая аналогия отсутствует: режим изменения уровней воды в водотоках является асинхронным крупным и средним рекам, ритмичность хода уровней выражена не столь явно, ритм падения уровней с 2013 г. также не выражен, а сроки сезонных изменений уровней воды, как показывают графики модульных коэффициентов, являются несколько сдвинутыми. Подобные многолетние и сезонные изменения уровней воды в малых водотоках присущи и для малых рек бассейна реки Зап. Буг (рис. 2).

Характеристика закономерностей гидродинамического режима подземных вод. По имеющимся данным [4], в гидродинамическом отношении в пределах территории выделяются безнапорные (грунтовые), напорные и субнапорные подземные воды. Последние – это подземные воды водоносного горизонта водно-ледниковых березинско-днепровских отложений, которые в силу своеобразия геологического строения территории – частого отсутствия в верхней части геологического разреза слабопроницаемых глинистых отложений – могут образовывать с грунтовыми водами единый, гидравлически связанный водоносный комплекс. Таким образом, водоносный горизонт является напорным, если перекрыт слабопроницаемыми отложениями и проявляет свойства безнапорных водоносных горизонтов совместно с грунтовыми водами, если такие отложения в кровле отсутствуют.

Естественный (слабонарушенный) режим грунтовых вод. Графики разностных интегральных кривых и модульных коэффициентов для грунтовых вод, формируемых на участках опорных гидрогеологических постов, представлены на рис. 3.

Многолетние и сезонные колебания УГВ на участках гидрогеологических постов имеют общие сходные закономерности с поверхностными водами, обусловленные природными факторами, а также и некоторые отличия. Многолетний режим УГВ в пределах речных долин являлся синхронным режиму речных водотоков, а с 2013 г. так же как и для рек отмечался цикл спада УГВ в среднем ниже

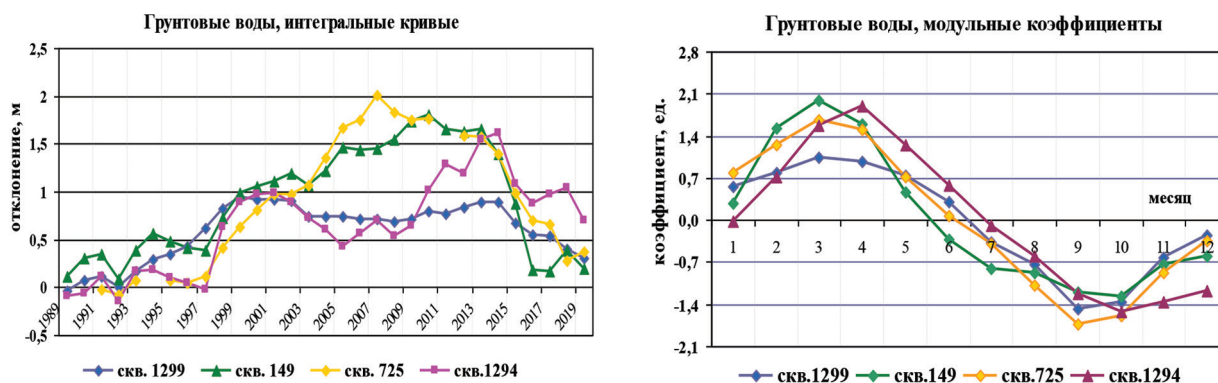


Рис. 3. Графики интегральных кривых и модульных коэффициентов многолетних колебаний УГВ на участках гидрогеологических постов Симонишко-Рудненский (скв. 1299), Ситненский (скв. 149), Туровский (скв. 1294) и Летенецкий (скв. 725)

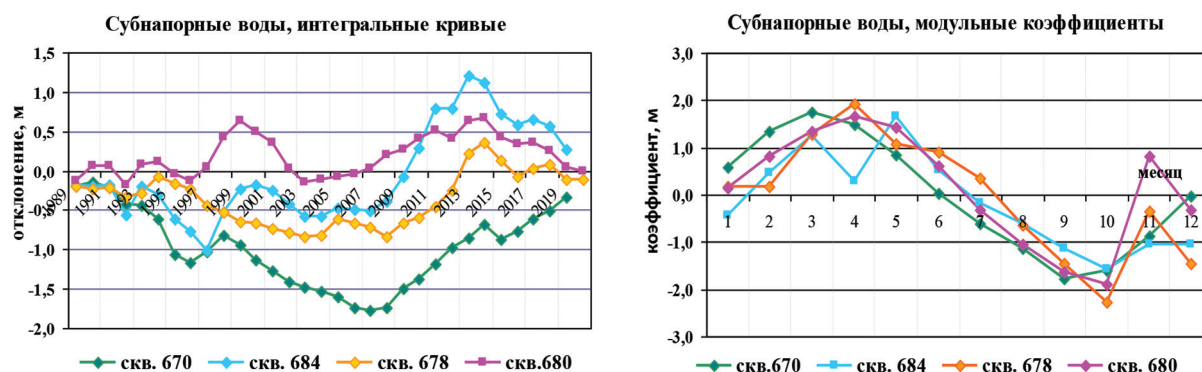


Рис. 4. Графики интегральных кривых и модульных коэффициентов многолетних колебаний субнапорных вод на участках гидрогеологических постов Бечский (скв. 670), Сняденский (скв. 684), Млынокский (скв. 678) и Хлупинский (скв. 680)

среднемноголетних норм, продолжающийся до настоящего времени. Примером такого синхронного хода УГВ является участок опорного поста Ситненский, скв.149 (рис. 3). На удалении от долин Припяти и ее притоков, на водосборах и водоразделах озерно-болотной и аллювиальной равнин, а также плоской флювиогляциальной равнины днепровского горизонта, многолетний режим УГВ уже является не столь синхронным режиму речных водотоков (соответственно скв. 1299, 1294 и 725). Но здесь также с 2013 г. как и для рек и УГВ речных долин отмечается цикл спада УГВ в среднем ниже среднемноголетних норм, продолжающийся до настоящего времени.

Естественный (слабонарушенный) режим субнапорных вод. Для таких вод графики разностных интегральных кривых и модульных коэффициентов для опорных постов представлены на рис. 4.

Многолетний режим субнапорных вод может быть синхронным (скв. 680), переходным (скв. 684 и 678) и асинхронным (скв. 670) по отношению к режимам поверхностных вод и УГВ речных долин. Асинхронность режима выражается в ходе уровней с отрицательными отклонениями от средних многолетних норм. Данный тип гидродинамического режима главным образом характерен для участков аллювиальной равнины поозерского горизонта, узкой полосой прилегающих к долинам Припяти и ее притоков в их нижнем течении. Синхронный и переходной типы режима подземных вод так же как и поверхностные воды, после 2013 г. имеют ритмы спада уровней ниже среднемноголетних норм, продолжающиеся до настоящего времени. Асинхронный режим субнапорных вод таких особенностей формирования не имеет и его наличие здесь может быть обосновано интенсивным дренированием со стороны Припяти в условиях отсутствия взаимовлияния с речными водами.

Естественный (слабонарушенный) режим напорных вод. Напорный режим формирования подземных вод исследован для водоносных комплексов неоген-палеогеновых, верхнемеловых, верхнедевонских и верхнерифейских отложений. Графики для напорных вод неоген-палеогеновых и верхнемеловых отложений представлены на рис. 5. Многолетний режим напорных вод водоносных комплексов неоген-палеогеновых и верхнемеловых отложений, как показали материалы статисти-

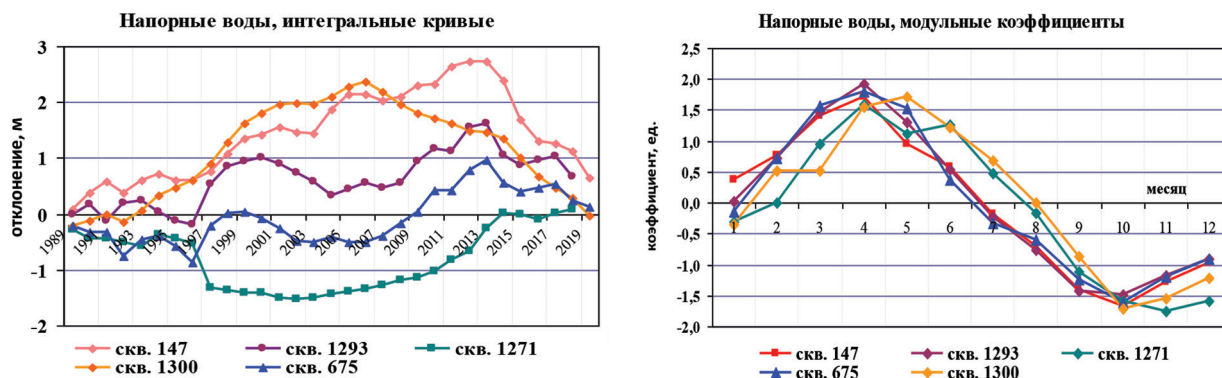


Рис. 5. Графики интегральных кривых и модульных коэффициентов многолетних колебаний напорных вод в пределах исследуемой территории на участках гидрогеологических постов Ситненский (скв. 147), Снядинский (скв. 675), Туровский (скв. 1292), Млынокский (скв. 1271) и Симоничско-Рудненский (скв. 1300)

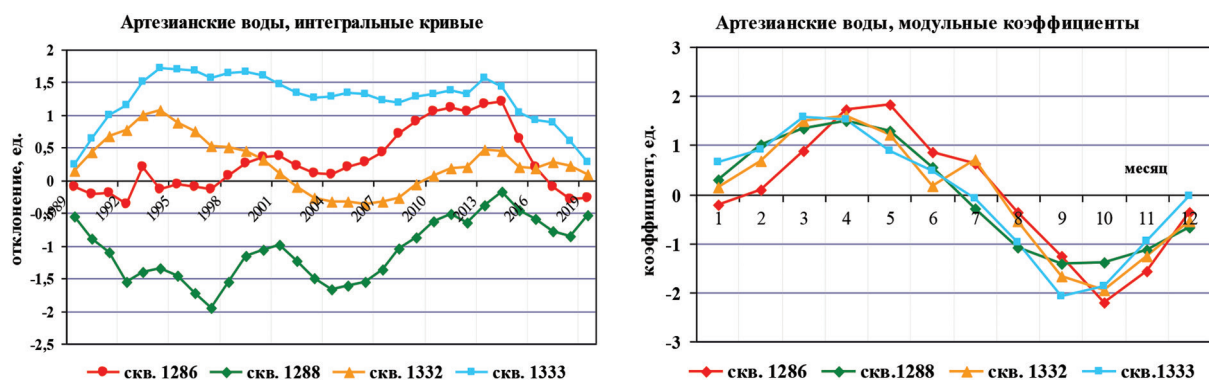


Рис. 6. Графики интегральных кривых и модульных коэффициентов многолетних колебаний承压 water в пределах исследуемой и смежной территории на участках гидрогеологических постов Крестуновский (скв. 1332 и 1333) и Бережновский (скв. 1286 и 1288)

ческой обработки данных наблюдений, формируется в условиях достаточно активной взаимосвязи с грунтовыми, субнапорными и поверхностными водами. В результате режим УНВ напорных вод также может быть синхронным к ним, асинхронным и переходного типа. Синхронным режим напорных вод является, как правило, только в долине Припяти. Примером такого хода на рис. 4 могут быть колебания УНВ водоносного палеогенового комплекса на участке Ситненского и Туровского гидрогеологических постов (скв. 147 и 1293). Примерами переходного и асинхронного режимов напорных вод, имеющих на плоских аллювиальной и флювиогляциальной равнинах бассейна Припяти, являются соответственно колебания УНВ на участках скв. 1300 Симоничско-Рудненского, скв. 675 Снядинского и скв. 1271 Млынокского постов. Так же как и для рек, и УГВ для напорных вод, характеризующихся синхронным и переходным типами режимов, после 2013 г. отмечается цикл спада УНВ в среднем ниже среднееголетних норм, продолжающийся до настоящего времени. Многолетний режим УНВ承压 water вод водоносных комплексов верхнемеловых (в частности, для сеноманских отложений), верхнедевонских и верхнерифейских отложений уже формируется в условиях существенно менее активной взаимосвязи с грунтовыми и поверхностными водами. Графики для承压 water вод данных водоносных комплексов представлены на рис. 6.

Ход многолетних колебаний УНВ данных водоносных комплексов, залегающих значительно глубже, чем водоносные комплексы неоген-палеогеновых и верхнемеловых отложений, не имеет нормально выраженной синхронности с режимами речных вод и УГВ. Как видно из графиков интегральных кривых, ход отклонений колебаний УНВ承压 water вод водоносных комплексов имеет согласованный характер, например с колебаниями УНВ палеоген-неогенового водоносного комплекса, но отсутствует подобная им ритмичность колебаний. В результате интегральная кривая носит сглаженный характер, но с 2013 г. удивительным образом также отмечается ритм спада УНВ ниже среднееголетних норм, продолжающийся до настоящего времени.

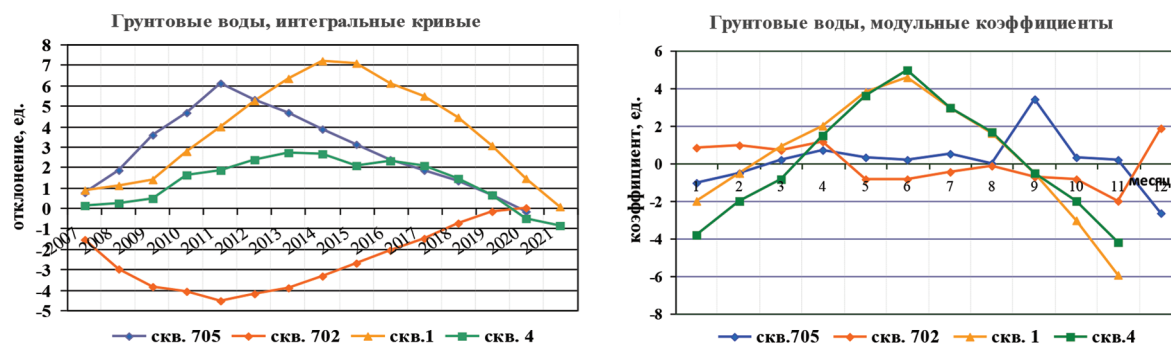


Рис. 7. Графики интегральных кривых и модульных коэффициентов многолетних колебаний грунтовых вод на участках режимных скважин водозабора подземных вод Лучежевичи (скв. 702 и 705) и локального мониторинга подземных вод карьера «Гранит» (скв. 1 и 4)

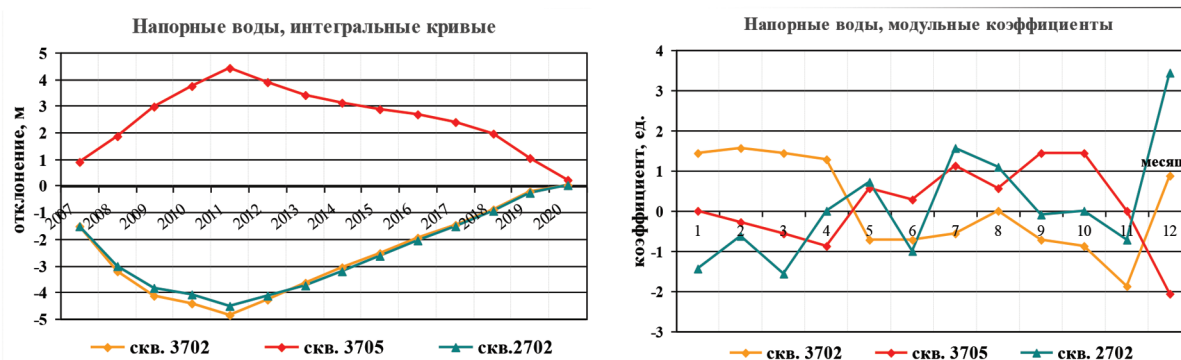


Рис. 8. Графики интегральных кривых и модульных коэффициентов многолетних колебаний напорных вод на участках режимных скважин водозабора подземных вод Лучежевичи

Нарушенные условия. Нарушенные условия формирования режима колебаний УГВ отражают графики интегральных кривых и модульных коэффициентов для условий формирования грунтовых вод на участке водозабора Лучежевичи и карьера «Гранит» (рис. 7). Результаты статистической обработки данных показали, что ход многолетних колебаний УГВ на прилегающих территориях к водозабору и карьеру не имеет ничего общего с ритмичностью (сезонной и многолетней) формирования УГВ, выявленной на участках гидрогеологических постов. Подобно проявляется гидродинамическая обстановка на водозаборе подземных вод Лучежевичи и для напорных вод (рис. 8).

Отсутствие природной ритмичности указывает на наличие внешних, в данном случае не природных, источников формирования многолетних и сезонных колебаний УГВ и УНВ. Как показал анализ, действие таких внешних факторов зависит от режима отбора подземных вод и местоположения точки наблюдения относительно источника воздействия. Например, скв. 702, 2702 и 3702 находятся практически в центре водозабора Лучежевичи. Соответственно в результате воздействия водозабора фактические колебания УГВ и УНВ здесь имели отрицательные отклонения, но с 2011 г. получили положительную тенденцию к восстановлению, вызванную уменьшением добычи подземных вод. Для скв. 705 и 3705, находящихся на удалении от водозабора, наоборот, фактические колебания УГВ и УНВ имели существенно меньшую зависимость от режима отбора, что выражено в положительных, но с 2011–2013 гг. здесь уже получена отрицательная тенденция, вызванная, очевидно, наличием общего ритма спада УГВ и УНВ в регионе ниже среднемноголетних норм.

Прогноз гидродинамического режима подземных вод. Прогноз формирования гидродинамического режима для исследуемой территории основан на следующих положениях: 1) статистическая обработка данных наблюдений показала, что в хронологических графиках колебаний поверхностных и подземных вод существуют многолетние ритмы спадов/подъемов уровней, средней продолжительностью 12 лет. Соответственно концепция выполненных прогнозных расчетов изменения гидродинамического режима основана на учете подобной ритмичности хода УГВ и УНВ, начавшейся в 2013 г. в пределах исследуемой территории, 12-летний ритм общего спада УГВ и УНВ ориентировочно с 2026 г. сменится на ритм подъема; 2) пользуясь графиками связи уровней (летних минимальных с весенними максимальными) для периода последнего ритма спада УГВ и УНВ в 2013–2020 гг. (здесь

в статье не приводятся), осуществлено удлинение на пять лет, до 2026 г., рядов наблюдений для гидрогеологических постов с использованием методов, рекомендуемых в [1–3]; 3) с использованием поправок для корректировки выборок в размере коэффициентов прогнозного максимального сезонного изменения стока рек в зимне-весенний и летне-осенний периоды (в соответствии с прогнозом изменения речного стока, представленным в [5]) осуществлено распределение удлинённых рядов наблюдений за 2013–2025 гг. в обратном порядке. Полученные ряды значений выборок приняты в качестве прогнозных временных рядов на 2026–2035 гг. и с их помощью рассчитаны прогнозные коэффициенты ($K_{от}$, %) относительного положения уровней УГВ (УНВ), возможных на участках гидрогеологических постов на период 2026–2035 гг.

Результаты прогнозных расчетов показали, что характер хода УГВ в речных долинах и прилегающих к Припяти аллювиальных равнинах низкого уровня будет формироваться в условиях роста положительных значений $K_{от}$ (т. е. установления глубины залегания подземных вод в среднем на уровне и выше среднееголетних норм) как в весенний, так и в летний периоды. Отклонение коэффициента относительного положения уровня $K_{от}$ от современных условий может составить 8–21 % в зимне-весенний и 20–60 % в летне-осенний периоды.

На водосборах бассейна Припяти характер хода УГВ и УНВ также может претерпеть некоторое перераспределение условий связи весенних максимальных и летних минимальных уровней, что выражается в отклонении коэффициента относительного положения уровня $K_{от}$ от современных условий в основном в сторону роста в весенний и летний периоды на 8–86 %, что опять же может обеспечить вероятность установления глубины залегания подземных вод в данные периоды на уровне и даже выше среднееголетних норм.

Режим УГВ и УНВ водоносных горизонтов на нарушенных территориях (водозабор Лучежевичи, карьеры РУПП «Гранит») может характеризоваться некоторым дальнейшим снижением экстремальных уровней в зонах депрессий, значения коэффициента $K_{от}$ могут быть ниже современных расчетных значений на 6–42 % в весенние и 6–38 % в летние периоды.

Закключение. Изложены данные статистического распределения УГВ и УНВ на участке бассейна Припяти за 1989–2020 гг., а также их прогноза на 2026–2035 гг. и показали следующие результаты.

1. В ходе многолетних колебаний уровней поверхностных и подземных вод существуют многолетние ритмы спадов/подъемов уровней, предположительно связанные с солнечной активностью, средней продолжительностью около 12 лет. Гидродинамический режим УГВ и УНВ может быть синхронным, переходным и асинхронным по отношению к уровенному режиму Припяти и ее притоков – средних рек. Режимы малых рек в бассейне Припяти не имеют синхронности с режимами Припяти и ее притоков, подобным образом осуществляется режим малых водотоков и в пределах другого водосбора южной части Беларуси – реки Зап. Буг. Существование асимптотического несоответствия также и сезонных режимов малых водотоков может указывать на наличие техногенной составляющей в их режимах, чем, возможно, и является мелиоративное осушение.

2. С 2013 г. осуществляется многолетний спад уровней, но ход УГВ и УНВ в речных долинах и прилегающих равнинах характеризуется в основном природной однородностью распределения уровней с положительными значениями $K_{от}$ в зимне-весенний и с неустойчивым поведением (установление ниже среднееголетних норм) в летне-осенний периоды, что способствует наличию условий водности поверхностных водных объектов в среднем за сезон в категории ниже средней.

3. На период до 2035 г. гидродинамический режим подземных вод будет претерпевать некоторые положительные изменения при сохранении своей природной однородности распределения уровней, которые в целом будут способствовать повышению условий водности в регионе в сравнении с существующими, но за исключением нарушенных территорий (водозабор Лучежевичи, карьеры РУПП «Гранит»), где возможны дальнейшие изменения.

Список использованных источников

1. Применение методов математической статистики для анализа и прогноза режима уровня подземных вод (метод. указания). – М.: ВСЕГИНГЕО, 1967. – 107 с.
2. Ковалевский, В. С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией / В. С. Ковалевский. – М.: Недра, 1986. – 198 с.
3. Коноплянец, А. А. Прогноз и картирование режима грунтовых вод / А. А. Коноплянец, С. М. Семенов. – М.: Недра, 1974. – 216 с.
4. Козлов, М. Ф. Гидрогеология Припятского Полесья: в 2-х т. / М. Ф. Козлов. – Минск: Наука и техника, 1977. – 272 с.
5. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата; под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест: Альтернатива, 2017. – 228 с.

Поступила 07.06.2022

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

BIOLOGICAL RESOURCES

БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

ISSN 1810-9810 (Print)

УДК 591.9/599

В. В. Шакун, И. А. Соловей, И. А. Крищук, П. А. Велигуров, Е. И. Машков, А. И. Ларченко

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам,
Минск, Беларусь, e-mail: terioforest@tut.by*

ФАУНА МЛЕКОПИТАЮЩИХ БЕЛАРУСИ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЯ В 1961–2022 гг.

Аннотация. Представлены данные об изменениях в составе фауны млекопитающих Беларуси за временной период с 1961 по 2022 г. Результат данной работы – актуальный список видов млекопитающих Беларуси, составленный по наличию достоверных находок и существованию свободноживущих популяций в течение последних пятидесяти лет. Приведенный актуализированный список фауны млекопитающих для территории Беларуси содержит описание статуса каждого вида. На основании собственных и литературных данных установлено, что в Беларуси на текущий момент обитает 82 вида млекопитающих, относящихся к семи отрядам. Описаны причины изменения числа отрядов и количества видов млекопитающих в фауне Беларуси. Актуализированы данные о систематическом положении видов и их латинских названиях. Представлены виды, которые не вошли в состав фауны и причины их исключения из списка.

Ключевые слова: фауна Беларуси, актуальный список млекопитающих, отряд, вид, численность, степень изученности, систематика млекопитающих

V. V. Shakun, I. A. Solovej, I. A. Kryshchuk, P. A. Velihurau, E. I. Mashkov, A. I. Larchanka

*Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources,
Minsk, Belarus, e-mail: terioforest@tut.by*

MAMMAL FAUNA IN BELARUS AND IT'S CHANGES IN 1961–2022

Abstract. The article presents data on the dynamics of mammal fauna in Belarus over a fixed time period from 1961 to 2022. The results are the first attempt to arrange the list of mammal fauna species of Belarus according to the criterion of time period, presence of reliable finds and free-living populations. This up-to-date list of mammal fauna for Belarus contains a description of the status of each species. Based on our own and literature data, the up-to-date list of mammals of Belarus currently comprises 82 species belonging to seven orders. The reasons for the changes in the number of orders and the number of mammal species in the fauna of Belarus are described. The data on the systematic position of species and their Latin names are updated. The species that are not listed in the fauna of Belarus and the reasons for their exclusion from the list are presented.

Keywords: fauna of Belarus, current list of mammal fauna, genus, species, number, degree of study, systematics of mammals

В. В. Шакун, И. А. Салавей, И. А. Крышчук, П. А. Велігураў, Я. І. Машкоў, А. І. Ларчанка

*Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах,
Мінск, Беларусь, e-mail: terioforest@tut.by*

ФАЎНА МЛЕКАКОРМЯЧЫХ БЕЛАРУСІ І ЯЕ ЗМЭНЫ ў 1961–2022 гг.

Анатацыя. Прадстаўлены дадзеныя аб зменах у складзе фаўны млекакормячых Беларусі за часавы перыяд з 1961 па 2022 г. Вынік дадзенай працы – актуальны спіс відаў млекакормячых Беларусі, складзены па наяўнасці дакладных знаходак і свабоднажывучых папуляцый на працягу апошніх пяцідзясяці гадоў. Прыведзены актуалізаваны спіс фаўны млекакормячых для тэрыторыі Беларусі з апісаннем статусу кожнага віду. На падставе ўласных і літаратурных дадзеных устаноўлена, што ў Беларусі на бягучы момант жыве 82 віды млекакормячых, якія адносяцца да сямі атрадаў. Апісаны прычыны змены колькасці атрадаў і відаў млекакормячых у фаўне Беларусі. Актуалізаваны дадзеныя аб сістэматычным становішчы відаў і іх лацінскіх назвах. Прадстаўлены віды, якія не ўвайшлі ў склад фаўны і прычыны іх выключэння са спісу.

Ключавыя словы: фаўна Беларусі, актуальны спіс млекакормячых, атрад, від, колькасць, ступень вывучанасці, сістэматыка млекакормячых

Введение. Основным условием нормального функционирования экосистем является сохранение видового многообразия животных в состоянии естественной свободы, что в свою очередь определяет устойчивость самых разнообразных природных комплексов. Млекопитающие, как источник биоресурсов и звено биоразнообразия, являются важнейшим экологическим компонентом природ-

ной среды и выступают в роли наиболее удобных и показательных индикаторов, отражающих состояние природных экосистем. Состояние териофауны находится в постоянном динамическом процессе и непрерывные исследования популяций являются необходимым и обязательным условием для сохранения, управления и их устойчивого использования.

За последние 60 лет фауна млекопитающих Беларуси претерпела значительные изменения. По сравнению с данными И. Н. Сержанина, к настоящему времени увеличилось количество отрядов (с 5 до 7) и видов (с 73 до 82) этого класса. Такие данные доступны благодаря выходу монографии «Млекопитающие Белоруссии» в 1961 г. [1]. Изменения в списке млекопитающих связаны с появлением и исчезновением видов на территории страны, а также с корректировкой их систематики – выделением новых видов и надвидовых таксонов. Несмотря на то что списки млекопитающих Беларуси существуют в разных вариантах [1-4], актуальный и единый перечень видов обитающих на территории страны до настоящего времени отсутствовал. Связано это, вероятно, с тем, что за прошедшее время произошел спад в активности фаунистических публикаций и особенно фаунистических сводок. Основная цель данной работы – составление актуального списка фауны млекопитающих Беларуси с описанием статуса каждого вида.

Методы. Список млекопитающих Беларуси формировался согласно выявлению фактов достоверных регистраций вида, которые основывались на имеющихся собственных данных и анализе публикаций. Также для внесения того или иного вида млекопитающих в список учитывался факт наличия свободноживущей популяции за достаточно длительный временной период – 50 лет. Выбор такого периода можно считать временным рубежом учета фауны, так как он используется для определения категории «вымерший вид» при классификации редких и исчезающих животных. Хотя «потеря» части видов может быть обусловлена не только реальным отсутствием, но и недостатком исследований и публикаций, подтверждающих регистрацию.

Для описания краткой характеристики вида использовалось условное среднее обилие по ареалу, которое было сопоставимо следующим критериям: 1) многочисленный – вид, обычный в пределах своего ареала; 2) малочисленный – вид, встречающийся нечасто в пределах своего ареала; 3) редкий – вид, встречающийся единично на территории Беларуси; 4) малоизученный – недостаточно информации о распространении вида; 5) статус не установлен – отсутствуют актуальные достоверные регистрации на протяжении менее 50 лет.

Систематическое положение вида и его латинское название применялись в значениях, приведенных в справочнике «Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты» [5].

Проведен анализ собственных и опубликованных данных о регистрациях видов млекопитающих в Беларуси с последующей оценкой динамики их фауны во временном отрезке с 1961 по 2021 г. Так, за временной промежуток в 60 лет, в фауне Беларуси увеличилось количество отрядов с пяти до семи (рис. 1).



Рис. 1. Динамика фауны млекопитающих Беларуси в период 1961–2021 гг.

Данные изменения, во-первых, связаны с выделением из отряда Грызуны самостоятельно-го отряда Зайцеобразные, а во-вторых, с появлением на территории Беларуси представителей отряда Непарнокопытные – лошади Пржевальского (*Equus przewalskii*) и лошади тарпановидной (*Equus caballus*).

Видовой состав млекопитающих Беларуси в рассматриваемые временные периоды представлен 73 [1], 76 [2] и 82 видами (рис. 1). В целом наблюдается рост видового богатства, но выявлены разно-

направленные изменения в их видовом составе – от отрицательно направленных, т.е. исчезновение и исключение из списка видов по причине отсутствия достоверных регистраций, до положительных – появление новых видов за счет естественной экспансии и их обособления благодаря развитию систематики и методов исследования.

В состав современной фауны не вошли ранее обитавшие на территории Беларуси выхухоль русская (*Desmana moschata*) (единичные находки отмечались в начале XX века; с 1955 по 1961 г. были расселены 580 зверьков, по некоторым данным последние регистрации отмечены в 1970–1985 гг., однако они несколько противоречивы [6]), ночница большая (*Myotis myotis*) (известны единичные регистрации, последняя достоверно подтвержденная в 1970 г.), подковонос малый (*Rhinolophus hipposideros*) (отмечен более 50 лет назад, более поздние находки не подтверждены), кот лесной (*Felis silvestris*) (последняя встреча, скорее всего, датируется 1927 г. в Борисовском районе Минской области) [4] и енот-полоскун (*Procyon lotor*) (на территории Припятского заповедника (в настоящее время – НП «Припятский») этот вид обитал в 1972 г. и являлся охотничьим видом, затем отмечено резкое сокращение его численности по неизвестной причине, в 1990-х годах еще регистрировался в пойменных дубравах в северной части заповедника, а в последующие годы и до 2000-х имел статус редкого вида с единичными регистрациями один раз в одно-два десятилетия) [4, 7].

Положительные изменения количества видов млекопитающих в Беларуси в большей степени связаны с развитием методов исследования и систематики. Так, например, спорный вопрос в систематике ежей, возникший еще в начале XX в. привел к многочисленным противоречиям. В своей первой работе, вышедшей в 1938 г., И. Н. Сержанин всех ежей Беларуси относит к виду *Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900 (название предложено для «восточной формы» обыкновенного ежа [8]). Позднее этот вид был признан конспецифичным *Erinaceus europaeus* Linnaeus, 1758 и в более поздних своих работах о фауне млекопитающих Беларуси автор [1, 9] приводит только один вид ежей – еж обыкновенный, или европейский, относящийся к подвиду *Erinaceus erinaceus roumanicus* – южный еж. Целый ряд морфологических [10], кариологических [11], биохимических [12] и молекулярных [13] исследований позволил выделить «восточную форму» в отдельный вид – еж белогрудый (*Erinaceus concolor* Martin, 1838). В связи с этим все экземпляры ежей из различных районов Беларуси, хранящиеся в фондовых коллекциях Зоологического музея Белорусского государственного университета, были идентифицированы как вид *E. concolor* – еж белогрудый [14]. В эти же годы в работах не только молекулярных биологов, но и классических систематиков активно обсуждался вопрос о внутривидовой структуре и полиморфизме *E. concolor*, а также о таксономическом статусе подвидов *E. concolor concolor* и *E. concolor roumanicus*. В настоящий момент рядом авторов признается видовая самостоятельность южного *E. concolor* и северного *E. roumanicus* белогрудых ежей [4, 5, 15, 16]. Соответственно в Беларуси обитает вид ежей, называемый в настоящее время еж северный белогрудый, а ареал вида еж южный белогрудый расположен значительно южнее (Турция, Иран и др.) (рис. 2). Возможность обитания на территории Беларуси второго вида ежей – еж обыкновенный – не исключается. По сведениям, не подтвержденным коллекционными экземплярами, *Erinaceus europaeus* изредка встречается на севере и востоке Витебской области [4, 14], поскольку, согласно литературным данным, его достоверные находки отмечены для географически близких к территории Беларуси регионов – Латвия, Литва, северо-западные районы Польши, Псковская область России (рис. 2). В связи с этим данный вид ежей включен в список фауны млекопитающих Беларуси, но его статус пока не определен.

Фауна семейства Землеройковых за период 1961–1999 гг. пополнилась двумя видами – бурозубкой крошечной (*Sorex minutissimus*) и бурозубкой равнозубой (*S. isodon*). Первые находки данных видов были обнаружены при проведении исследований распространения представителей Soricidae в Березинском биосферном заповеднике в 1978 и 1980 гг. [18]. К настоящему времени отряд Насекомоядные в Беларуси насчитывает 12 видов из 3 семейств – Ежовые (2 вида), Кротовые (1), Землеройковые (9). Наименее изученными видами, по которым имеются единичные регистрации, являются белозубка белобрюхая (*Crocidura leucodon*), белозубка малая (*C. suaveolens*), кутора малая (*Neomys anomalus*).

Стабильный видовой состав наблюдается среди представителей отряда Зайцеобразные (2 вида). Самый многочисленный отряд Грызуны насчитывает 26 видов, в том числе из семейства Беличьи (3 вида), Соневые (4 вида), Бобровые (1 вид), Тушканчиковые (1 вид), Хомяковые (9 видов) и Мышиные (8 видов). Этот отряд также претерпел некоторые изменения в видовом составе (в частности, семейство Хомяковые и Мышиные) благодаря современным методам исследований. С помощью цито- и молекулярно-генетических методов для обыкновенной полевки (*Microtus arvalis*) установлен криптический вид – полевка восточноевропейская (*M. rossiaemeridionalis*). В наших исследованиях данный вид регистрируется единично. Как и большинство лесных мышей, мышь лес-



Рис. 2. Карта распространения *Erinaceus europaeus* (а), *Erinaceus roumanicus* (б), *Erinaceus concolor* (в) [17]

ная малая (*Sylvaemus uralensis*) ранее входила в состав сборного вида – мышь европейская лесная (*S. sylvaticus*). Редкими и малоизученными являются все виды семейства Соневых, а также виды Беличьих – суслик крапчатый (*Spermophilus suslicus*) и летяга обыкновенная (*Pteromys volans*). Отсутствуют достоверные данные о хомяке обыкновенном (*Cricetus cricetus*) – последние регистрации в начале 2000-х годов.

Наибольшие изменения видового состава затронули отряд Рукокрылые. Процессы его динамики связаны как с изменениями в систематике (выявление криптических видов в связи с развитием молекулярно-генетических методов идентификации), так и с расширением ареалов. Так, из нетопыря-карлика (*Pipistrellus pipistrellus*) молекулярно-генетическими методами диагностики и посредством анализа частот эхолокации был выделен нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) [19], что влечет необходимость уточнения статуса вида *Pipistrellus pipistrellus* для Беларуси. Нетопырь средиземноморский (*Pipistrellus kuhlii*) появился в Беларуси из Украины в результате расширения ареала на север [20]. Ночница Брандта (*Myotis brandtii*), как криптический вид, была выделена из ночницы усатой (*Myotis mystacinus*) [21]. Согласно отловам последних лет, попадает только *Myotis brandtii*, что также требует более детальных исследований для уточнения статуса *M. mystacinus* на территории Беларуси. Ушан серый (*Plecotus austriacus*) встречается единично на территории Беларуси лишь на зимовках и достоверно его регистрации были подтверждены в 2020 г. [22]. Вечерница гигантская вновь появилась в списке фауны Беларуси после обнаружения размножающейся колонии в 2015 г. [23]. Этот вид был включен в первые издания Красной книги Республики Беларусь по одной опубликованной находке 1930 г., в последующих редакциях исключен из списка охраняемых видов из-за отсутствия каких-либо подтвержденных регистраций. Отряд Рукокрылые в настоящее время представлен 18 видами из 1 семейства, из них 13 – редкие и малоизученные.

Отряд Хищные представлен 15 видами, из них наиболее многочисленны представители семейства Куньи (9 видов) и Псовые (4 вида), а Медвежьи и Кошачьи – только одним видом. За рассматриваемый период произошло пополнение в отряде Хищные, которое связано с расселением шакала (*Canis aureus*). На территории Беларуси появление этого вида предполагалось еще около десяти лет назад (первая регистрация датируется 2012 г. на юго-востоке Брестской области), когда стало известно о его регистрациях вблизи границы Украины с Беларусью, в Польше, стран Балтии, Брянской и Ленинградской областей России. Имеющиеся образцы, морфологический и молекулярно-генетический анализ позволили установить достоверность обитания шакала в Беларуси [24]. Статус норки европейской (*Mustela lutreola*) еще предстоит установить, поскольку в 1980–2000-х годов были выявлены три локальные ее популяции – в верховьях рек Ловать, Лучоса и Ствига. Единичные регистрации вида отмечались лишь в начале 2000-х годов.

Отряд Непарнокопытные в фауне Беларуси появился благодаря двум новым видам – лошади Пржевальского и лошади тарпановидной. Лошадь Пржевальского проникла на территорию Полес-

ского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) с территории украинской зоны отчуждения, куда была завезена в 1998–1999 гг. из биосферного заповедника «Аскания-Нова» с целью создания вольной популяции диких лошадей. В Беларуси (на территории ПГРЭЗ) данный вид впервые был зарегистрирован в 2007 г., и в настоящее время его популяция достаточно стабильна [25].

В 2019 г. с целью поддержания в открытом состоянии ценных луговых экосистем в заказник «Налибокский» была завезена лошадь тарпановидная. Согласно систематике, она относится к домашней лошади, но обитание дикой популяции на воле в течение нескольких поколений дает основание включить этот вид в список фауны млекопитающих Беларуси. Небольшие изменения произошли в отряде Парнокопытные. И. Н. Сержанин приводит лань европейскую (*Dama dama*) в качестве вида, обитающего на территории бывшей БССР [9]. В списке 2003 г. данный вид не приводится. Начиная с 2014 г. вследствие выпуска части животных из вольеров лань появляется на воле, что способствовало повторному внесению ее в фаунистический список. Аналогичная ситуация наблюдается с оленем пятнистым (*Cervus nippon*) – в настоящее время существует несколько группировок, которые в течение ряда поколений обитают на воле. Таким образом, отряд Парнокопытные насчитывает 7 видов из семейства Свиные (1 вид), Оленьи (5 видов) и Полорогие (1 вид).

На основании анализа собственных и литературных данных в Беларуси обитает 82 вида млекопитающих и их актуальный список с оценкой численности и степени изученности представлен следующим образом.

Тип Хордовые Chordata

Класс Млекопитающие Mammalia

Отряд Насекомоядные Eulipotyphla

Семейство Ежиные Erinaceidae (2 вида)

1. ЁЖ СЕВЕРНЫЙ БЕЛОГРУДЫЙ (*Erinaceus roumanicus*) – многочисленный

2. ЁЖ ОБЫКНОВЕННЫЙ (*Erinaceus europaeus*) – малоизученный, статус не определен

Семейство Кротовые Talpidae (1 вид)

3. КРОТ ЕВРОПЕЙСКИЙ (*Talpa europaea*) – многочисленный

Семейство Землеройковые Soricidae (9 видов)

4. БЕЛОЗУБКА БЕЛОБРЮХАЯ (*Crocidura leucodon*) – малоизученный, редкий

5. БЕЛОЗУБКА МАЛАЯ (*Crocidura suaveolens*) – малоизученный, малочисленный

6. КУТОРА ОБЫКНОВЕННАЯ (*Neomys fodiens*) – малоизученный, малочисленный

7. КУТОРА МАЛАЯ (*Neomys anomalus*) – малоизученный, малочисленный

8. БУРОЗУБКА КРОШЕЧНАЯ (*Sorex minutissimus*) – малоизученный, малочисленный

9. БУРОЗУБКА МАЛАЯ (*Sorex minutus*) – многочисленный

10. БУРОЗУБКА ОБЫКНОВЕННАЯ (*Sorex araneus*) – многочисленный

11. БУРОЗУБКА РАВНОЗУБАЯ (*Sorex isodon*) – малоизученный, редкий

12. БУРОЗУБКА СРЕДНЯЯ (*Sorex caecutiens*) – многочисленный

Отряд Рукокрылые Chiroptera

Семейство Гладконосые Vespertilionidae (18 видов)

13. ВЕЧЕРНИЦА ГИГАНТСКАЯ (*Nyctalus lasiopterus*) – малоизученный, редкий

14. ВЕЧЕРНИЦА МАЛАЯ (*Nyctalus leisleri*) – малоизученный, малочисленный, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

15. ВЕЧЕРНИЦА РЫЖАЯ (*Nyctalus noctula*) – многочисленный

16. КОЖАН ДВУХЦВЕТНЫЙ (*Vespertilio murinus*) – многочисленный

17. КОЖАН ПОЗДНИЙ (*Eptesicus serotinus*) – малоизученный, малочисленный

18. КОЖАНОК СЕВЕРНЫЙ (*Eptesicus nilssonii*) – малоизученный, малочисленный, IV категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

19. НЕТОПЫРЬ ЛЕСНОЙ (*Pipistrellus nathusii*) – многочисленный

20. НЕТОПЫРЬ МАЛЫЙ (*Pipistrellus pygmaeus*) – многочисленный

21. НЕТОПЫРЬ-КАРЛИК (*Pipistrellus pipistrellus*) – статус не определен

22. НЕТОПЫРЬ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИЙ (*Pipistrellus kuhlii*) – малоизученный, редкий

23. НОЧНИЦА БРАНДТА (*Myotis brandtii*) – малоизученный, малочисленный, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

24. НОЧНИЦА УСАТАЯ (*Myotis mystacinus*) – статус не определен, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

25. НОЧНИЦА ВОДЯНАЯ (*Myotis daubentonii*) – многочисленный

26. НОЧНИЦА ПРУДОВАЯ (*Myotis dasycneme*) – малоизученный, малочисленный, II категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь
27. НОЧНИЦА НАТТЕРЕРА (*Myotis nattereri*) – малоизученный, малочисленный, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь
28. УШАН БУРЫЙ (*Plecotus auritus*) – малочисленный
29. УШАН СЕРЫЙ (*Plecotus austriacus*) – малоизученный, редкий, IV категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь
30. ШИРОКОУШКА ЕВРОПЕЙСКАЯ (*Barbastella barbastellus*) – малоизученный, малочисленный, II категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

Отряд Зайцеобразные Lagomorpha

Семейство Зайцевые Leporidae (2 вида)

31. ЗАЯЦ-РУСАК (*Lepus europaeus*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных
32. ЗАЯЦ-БЕЛЯК (*Lepus timidus*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных

Отряд Грызуны Rodentia

Семейство Беличьи Sciuridae (3 вида)

33. БЕЛКА ОБЫКНОВЕННАЯ (*Sciurus vulgaris*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных

34. СУСЛИК КРАПЧАТЫЙ (*Spermophilus suslicus*) – малоизученный, редкий, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

35. ЛЕТАЯГА ОБЫКНОВЕННАЯ (*Pteromys volans*) – малоизученный, редкий, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

Семейство Соневые Gliridae (4 вида)

36. СОНЯ ЛЕСНАЯ (*Dryomys nitedula*) – малоизученный
37. СОНЯ ОРЕШНИКОВАЯ (*Muscardinus avellanarius*) – малоизученный, редкий, IV категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

38. СОНЯ САДОВАЯ (*Eliomys quercinus*) – малоизученный, редкий, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь, статус не определен

39. ПОЛЧОК (*Glis glis*) – малоизученный, редкий, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

Семейство Бобровые Castoridae (1 вид)

40. БОБР ОБЫКНОВЕННЫЙ (*Castor fiber*) – многочисленный, нормируемый вид охотничьих животных

Семейство Мышовковые Sminthidae (1 вид)

41. МЫШОВКА ЛЕСНАЯ (*Sicista betulina*) – малочисленный

Семейство Хомяковые Cricetidae (9 видов)

42. ПОЛЁВКА ВОДЯНАЯ (*Arvicola amphibius*) – малочисленный
43. ПОЛЁВКА ТЁМНАЯ (*Agricola agrestis*) – многочисленный
44. ПОЛЁВКА ОБЫКНОВЕННАЯ (*Microtus arvalis*) – многочисленный
45. ПОЛЁВКА ВОСТОЧНОЕВРОПЕЙСКАЯ (*Microtus rossiaemeridionalis*) – малоизученный, редкий
46. ПОЛЁВКА ПОДЗЕМНАЯ (*Microtus subterraneus*) – малоизученный, редкий
47. ПОЛЁВКА-ЭКОНОМКА (*Alexandromys oeconomicus*) – многочисленный
48. ПОЛЁВКА РЫЖАЯ (*Myodes glareolus*) – многочисленный
49. ХОМЯК ОБЫКНОВЕННЫЙ (*Cricetus cricetus*) – малоизученный, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь, статус не определен

50. ОНДАТРА (*Ondatra zibethicus*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных

Семейство Мышиные Muridae (8 видов)

51. МЫШЬ ЖЕЛТОГОРЛАЯ (*Sylvaemus flavicollis*) – многочисленный
52. МЫШЬ ЕВРОПЕЙСКАЯ ЛЕСНАЯ (*Sylvaemus sylvaticus*) – малочисленный
53. МЫШЬ МАЛАЯ ЛЕСНАЯ (*Sylvaemus uralensis*) – малоизученный, малочисленный
54. МЫШЬ ПОЛЕВАЯ (*Apodemus agrarius*) – многочисленный
55. МЫШЬ-МАЛЮТКА (*Micromys minutus*) – многочисленный
56. МЫШЬ ДОМОВАЯ (*Mus musculus*) – многочисленный
57. КРЫСА СЕРАЯ (*Rattus norvegicus*) – многочисленный
58. КРЫСА ЧЁРНАЯ (*Rattus rattus*) – малочисленный

Отряд Хищные Carnivora

Семейство Псовые Canidae (4 вида)

59. ВОЛК (*Canis lupus*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных

60. ШАКАЛ (*Canis aureus*) – малоизученный, редкий, ненормируемый вид охотничьих животных
61. ЛИСИЦА ОБЫКНОВЕННАЯ (*Vulpes vulpes*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных
62. СОБАКА ЕНОТОВИДНАЯ (*Nyctereutes procyonoides*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных
Семейство Медвежьи Ursidae (1 вид)
63. МЕДВЕДЬ БУРЫЙ (*Ursus arctos*) – малочисленный, I категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь
Семейство Куны Mustelidae (9 видов)
64. КУНИЦА ЛЕСНАЯ (*Martes martes*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных
65. КУНИЦА КАМЕННАЯ (*Martes foina*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных
66. БАРСУК ОБЫКНОВЕННЫЙ (*Meles meles*) – малочисленный, II категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь
67. ЛАСКА (*Mustela nivalis*) – многочисленный
68. ГОРНОСТАЙ (*Mustela erminea*) – малоизученный, малочисленный, II категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь
69. ХОРЁК ЛЕСНОЙ (*Mustela putorius*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных
70. НОРКА ЕВРОПЕЙСКАЯ (*Mustela lutreola*) – малоизученный, I категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь, статус неопределен
71. НОРКА АМЕРИКАНСКАЯ (*Neovison vison*) – многочисленный, ненормируемый вид охотничьих животных
72. ВЫДРА РЕЧНАЯ (*Lutra lutra*) – малочисленный, нормируемый вид охотничьих животных
Семейство Кошачьи Felidae (1 вид)
73. РЫСЬ (*Lynx lynx*) – малочисленный, II категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь

Отряд Непарнокопытные Perissodactyla

- Семейство Лошадиные Equidae (2 вида)
74. ЛОШАДЬ ПРЖЕВАЛЬСКОГО (*Equus przewalskii*) – малоизученный, редкий
75. ТАРПАНОВИДНАЯ ЛОШАДЬ (*Equus caballus*) – малоизученный, малочисленный

Отряд Парнокопытные Artiodactyla

- Семейство Свиные Suidae (1 вид)
76. КАБАН (*Sus scrofa*) – малочисленный, нормируемый вид охотничьих животных
Семейство Олени Cervidae (5 видов)
77. ОЛЕНЬ ПЯТНИСТЫЙ (*Cervus nippon*) – малочисленный, нормируемый вид охотничьих животных
78. ОЛЕНЬ БЛАГОРОДНЫЙ (*Cervus elaphus*) – многочисленный, нормируемый вид охотничьих животных
79. ЛАНЬ ЕВРОПЕЙСКАЯ (*Dama dama*) – малочисленный, нормируемый вид охотничьих животных
80. КОСУЛЯ ЕВРОПЕЙСКАЯ (*Capreolus capreolus*) – многочисленный, нормируемый вид охотничьих животных
81. ЛОСЬ (*Alces alces*) – многочисленный, нормируемый вид охотничьих животных
Семейство Полорогие Bovidae (1 вид)
82. ЗУБР (*Bison bonasus*) – малочисленный, III категория природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь, нормируемый вид охотничьих животных (резервный генофонд).

Заключение. Результат данной работы – современный список видов фауны млекопитающих Беларуси с описанием статуса каждого вида, актуализированными данными об их систематическом положении и латинскими названиями. На основании собственных и литературных данных установлено, что в Беларуси на 2021 г. обитало 82 вида млекопитающих, относящихся к семи отрядам: Насекомоядные (12 видов), Рукокрылые (18 видов), Хищные (15 видов), Зайцеобразные (2 вида), Грызуны (26 видов), Парнокопытные (7 видов) и Непарнокопытные (2 вида). Из них семь видов с невыясненным статусом, т.е. еще предстоит работы по их выявлению и подтверждению обитания в стране –

ёж обыкновенный, выхухоль русская, нетопырь-карлик, ночница усатая, норка европейская, хомяк обыкновенный, соня садовая. Причинами изменения числа отрядов и количества видов млекопитающих в фауне Беларуси являются как их исчезновение, так и появление новых, в том числе путем естественной экспансии.

Список используемых источников

1. Сержанин, И. Н. Млекопитающие Белоруссии / И. Н. Сержанин. – 2-е изд. – Минск : Изд-во АН БССР, 1961. – 318 с.
2. Звери: попул. энцикл. справ. / Белорус. энцикл., Ин-т зоологии НАН Беларуси; под ред. П. Г. Козло. – Минск: БелЭн, 2003. – 440 с.
3. Савицкий, Б. П. Млекопитающие Беларуси / Б. П. Савицкий, С. В. Кучмель, Л. Д. Бурко. – Минск : ИЦ БГУ, 2005. – 317 с.
4. Гричик, В. В. Животный мир Беларуси. Позвоночные : учеб. пособие / В. В. Гричик, Л. Д. Бурко. – Минск : ИЦ БГУ, 2013. – 399 с.
5. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты / А. А. Лисовский [и др.] // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2019. – Т. 56. – 191 с.
6. Хахин, Г. В. Выхухоль / Г. В. Хахин, А. А. Иванов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 191 с.
7. Solovej, I. A. Analytical review on the raccoon *Procyon lotor* in Belarus / I. A. Solovej // Beiträge zur Jagd- und Wildforschung : Biodiversität in Waldökosystemen, 2021. – Vol. 46. – P. 239–246.
8. Miller, G. S. Catalogue of the mammals of Western Europe (Europe exclusive of Russia) in the collection of the British Museum. Trustees of the British Museum (Natural History) / G. S. Miller. – London: United Kingdom, 1912.
9. Сержанин, И. Н. Определитель млекопитающих Белоруссии / И. Н. Сержанин, Ю. И. Сержанин, В. В. Слесаре-вич. – Минск : Наука и техника, 1967. – 120 с.
10. Зайцев, М. В. К систематике и диагностике ежей подрода *Erinaceus* (Mammalia, Erinaceinae) фауны СССР / М. В. Зайцев // Зоологич. журн. – 1984. – Т. 63. – Вып. 5. – С. 720–730.
11. Соколов, В. Е. Кариологическая дифференциация двух видов ежей рода *Erinaceus* на территории СССР (Insectivora, Erinaceidae) / В. Е. Соколов, В. М. Анискин, И. В. Лукьянова // Зоологич. журн. – 1991. – Т. 70. – Вып. 7. – С. 111–120.
12. Filippucci, M. G. Allozyme variation and divergence in Erinaceidae (Mammalia, Insectivora) / M. G. Filippucci, S. Simson // Israel J. Zool., 1996. – Vol. 42. – P. 335–345.
13. Santucci, F. Mitochondrial DNA phylogeography of european hedgehogs / F. Santucci, B. C. Emerson, G. M. Hewitt // Molec. Ecol., 1998. – Vol. 7. – P. 1163–1172.
14. Гричик, В. В. О видовой принадлежности ежей (род *Erinaceus*) фауны Беларуси / В. В. Гричик, А. А. Саварин // Вестн. БГУ. Сер. 2. Химия. Биология. География. – 1999. – № 2. – С. 42–45.
15. Hutterer, R. Order Erinaceomorpha / R. Hutterer // Mammal species of the world: a taxonomical reference, 3-rd edition [in: D.E. Wilson & D.A. Reeder (eds). Baltimore. – 2005a. – P. 212–219.
16. Зайцев, М. В. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий: насекомоядные / М. В. Зайцев, Л. Л. Войта, Б. И. Шефтель. – СПб: Зоологич. ин-т РАН, 2014. – 390 с.
17. IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016-3. – 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.iucnredlist.org. – Дата доступа: 31.01.2022.
18. Каштальян, А. П. Материалы по видовому составу и географическому распространению землероек Беларуси / А. П. Каштальян: материалы Междунар. конф. – Кемерово, 1999. – С. 50–53.
19. Jones, G. Bimodal echolocation in pipistrelle bats: are cryptic species present? / G. Jones, S. M. van Parijs // Proceedings of Royal Society of London, Series B 151, 1993. – P. 119–125.
20. Shpak, A. Range expansion of Kuhl's pipistrelle (*Pipistrellus kuhlii*) into Belarus / A. Shpak, A. Larchanka // Proc. Theriological School. – 2016. – Vol. 14. – P. 99–102.
21. Hanák, V. Notes on the distribution and systematics of *Myotis mystacinus* Kuhl, 1819 / V. Hanák // Bijdragen tot de Dierkunde. – 1973. – Vol. 40. – P. 40–44.
22. Криптический видовой комплекс рукокрылых *Plecotus auritus/austriacus* в Беларуси: видовая идентификация и филогенетические паттерны / А.В. Шпак [и др.] // Молекул. и прикл. генетика. – 2020. – Т. 29. – С. 59–69.
23. Dombrovski, V. New occurrence and the first breeding record of *Nyctalus lasiopterus* in Belarus / V. Dombrovski, V. Fenchuk, D. Zhurauliou // Vespertilio 18. – 2016. – P. 55–59.
24. Шакал (*Canis aureus* L., 1758) – новый вид в териофауне Беларуси / В. В. Гричик [и др.] // Журн. БГУ. Биология. – 2019. – № 3. – С. 55–61.
25. Дерябина, Т. Г. Лошадь Пржевальского (*Eguus ferus Przewalskii* Polj., 1881) в условиях Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / Т. Г. Дерябина // Лесное хозяйство : тез. докл. 80-й науч.-техн. конф., Минск, 1–12 февраля 2016 г. / Бел. гос. технол. ун-т ; [гл. ред. И. М. Жарский]. – Минск : БГТУ, 2016. – С. 109.

Поступила 19.02.2022

Д. Г. Груммо, Н. А. Зеленкевич, С. Г. Русецкий

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: zm.hrmo@gmail.com***ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ БОЛОТ БЕЛАРУСИ
И ПРОГНОЗ ИХ ДИНАМИКИ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА**

Аннотация. Приводятся результаты инвентаризации современного состояния экосистем болот Беларуси. Предложен подход к мониторингу на основе экологической оценки растительного покрова, данных дистанционного зондирования и геоинформатики. Установлено, что площади экосистем болот с естественной и слабонарушенной растительностью составляют 430 тыс. га (39,0 %). Площадь болот, где существует высокий потенциал возникновения пожаров при неблагоприятных погодных-климатических условиях, составляет 221,4 тыс. га. Разработан прогноз динамики растительного покрова болот Беларуси, связанный с изменением климата. Общая площадь болот, испытывающих воздействия от изменения климата, составляет 634,3 тыс. га или 57,5 % от общей площади.

Ключевые слова: естественное болото, нарушенное болото, биоразнообразие, климат, данные дистанционного зондирования, пожароопасность

D. G. Grummo, N. A. Zeliankevich, S. G. Rusetski

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Science of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: zm.hrmo@gmail.com***ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF PEATLAND ECOSYSTEMS IN BELARUS AND FORECAST
OF THEIR DYNAMICS DUE TO CLIMATE CHANGE**

Abstract. The results of the inventory of the current state of peatlands ecosystems in Belarus are presented. An approach to monitoring based on the ecological assessment of vegetation, remote sensing data and geoinformatics is proposed. It has been established that the area of peatlands ecosystems with natural and slightly disturbed vegetation is 430 thousand hectares (39.0 %). The area of peatlands with a high potential for fires under adverse weather and climatic conditions is 221.4 thousand hectares. A forecast of dynamics of the peatlands vegetation cover in Belarus in condition of climate change has been developed. The area of peatlands affected by climate change is 634.3 thousand hectares or 57.5 % of the total area.

Keywords: natural mire, degraded mire, biodiversity, climate, remote sensing data, fire hazard

Дз. Г. Грумо, Н. А. Зелянкевіч, С. Г. Русецкі

*Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В.Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
Мінск, Беларусь, e-mail: zm.hrmo@gmail.com***АЦЭНКА СУЧАСНАГА СТАНУ ЭКАСІСТЭМ БАЛОТ БЕЛАРУСІ І ПРАГНОЗ ІХ ДЫНАМІКІ
Ў СВЯЗІ СА ЗМЯНЕННЕМ КЛІМАТУ**

Анатацыя. Прыводзяцца вынікі інвентарызацыі сучаснага стану экасістэм балот Беларусі. Прапанаваны падыход да маніторынгу на аснове экалагічнай ацэнкі расліннага покрыва, дадзеных дыстанцыйнага зандзіравання і геаінфарматыкі. Устаноўлена, што плошча экасістэм балот з натуральнай і слабапорушанай расліннасцю складае 430 тыс. га (39,0 %). Плошча балот, дзе існуе высокі патэнцыял узнікнення пажараў пры неспрыяльных пагодна-кліматычных умовах, складае 221,4 тыс. га. Распрацаваны прагноз дынамікі расліннага покрыва балот Беларусі, звязаны са змяненнем клімату. Агульная плошча балот, якія адчуваюць уздзеянні ад змянення клімату, складае 634,3 тыс. га або 57,5 % ад агульнай плошчы.

Ключавыя словы: натуральнае балота, парушанае балота, біяразнастайнасць, клімат, дадзеныя дыстанцыйнага зандзіравання, пажаранебяспека

Введение. По официальным данным к настоящему времени в Беларуси в естественном или слабо нарушенном состоянии сохранилось 863 тыс. га болот (29,3 % от первоначальной площади) [1]. Действующее национальное законодательство определяет болота «как природный комплекс, характеризующийся постоянным переувлажнением земель и произрастающей болотной растительностью, при отмирании которой происходят процессы торфообразования и торфонакопления» [2]. Однако на практике они продолжают относиться к разным категориям земель [3, 4]. Большая часть болот относится к государственному лесному фонду. Часть болот расположена на землях сельскохозяйственного использования, запаса и других категорий [3]. Исходя из этого различаются и принципы их учета. При этом для лесного и сельского хозяйства болота и заболоченные местообитания – наименее ценные земли, что, естественно, отражается на качестве и детальности их учета [4]. Сложность инвентаризации болот – одна из основных проблем организации их рационального использования

и охраны не только в нашей стране, но и за рубежом [4–8]. В связи с этим нами была предпринята попытка, направленная на интеграцию существующих данных, развитие информационной базы для получения ряда характеристик состояния и динамики болот, в том числе с привлечением данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Цель работы – оценка состояния экосистем болот Беларуси. В качестве индикатора использованы данные по экологическому состоянию растительного покрова. Оценка состояния растительного покрова устанавливается по степени ее нарушенности (сохранности). При этом принимаются во внимание проявления разнообразных изменений в видовом и ценотическом составе и структуре фитоценозов. Стадия нарушенности определяется по критериям отклонения состава и структуры растительных сообществ от естественного или от выбранного их состояния на определенный момент [9].

Концепция, методы и объекты исследований. Для мониторинга болот используется картографический метод, дающий пространственное представление о степени и масштабах деградации растительности и экосистем в результате воздействия различных факторов [9]. В концепции наших исследований базовой основой для анализа и прогноза является актуальная геоботаническая карта. На основе карты растительности и сопряженных с нею баз данных с использованием возможностей геоинформационной системы (ГИС) созданы производные тематические картографические продукты, отражающие современное состояние и прогноз динамики биоразнообразия растительного покрова болотных экосистем (рис. 1).

Границы объектов исследования определяли на основе данных онлайн ресурса «База данных торфяники Беларуси» [10]. Исследовали болота, где сохранилась естественная и (или) антропогенно-нарушенная природная растительность. Дополнительной информацией об объектах исследования являлись актуальные лесо- и землеустроительные данные, на основе которых корректировались границы существующих объектов исследований, выделялись новые. Минимальная площадь объекта исследования составляла 50 га [11]. В результате исследований проведена инвентаризация и дана оценка состояния фитоценотического разнообразия 3521 болот общей площадью 1103,2 тыс. га.



Рис. 1. Алгоритм изучения состояния и динамики экосистем болот Беларуси

Более детально методические аспекты исследований рассмотрены по основным блокам мониторинга и анализа.

Современная структура растительного покрова болот Беларуси. Исходные данные, методика исследований. Для классификации использовали алгоритм создания геоботанической карты болот Беларуси с предварительной сегментацией (рис. 2). При построении синтаксономической системы за основу взяты несколько работ по классификации растительности болот доминантным методом для относительно крупных территорий, хорошо известных в болотоведении [12–19].

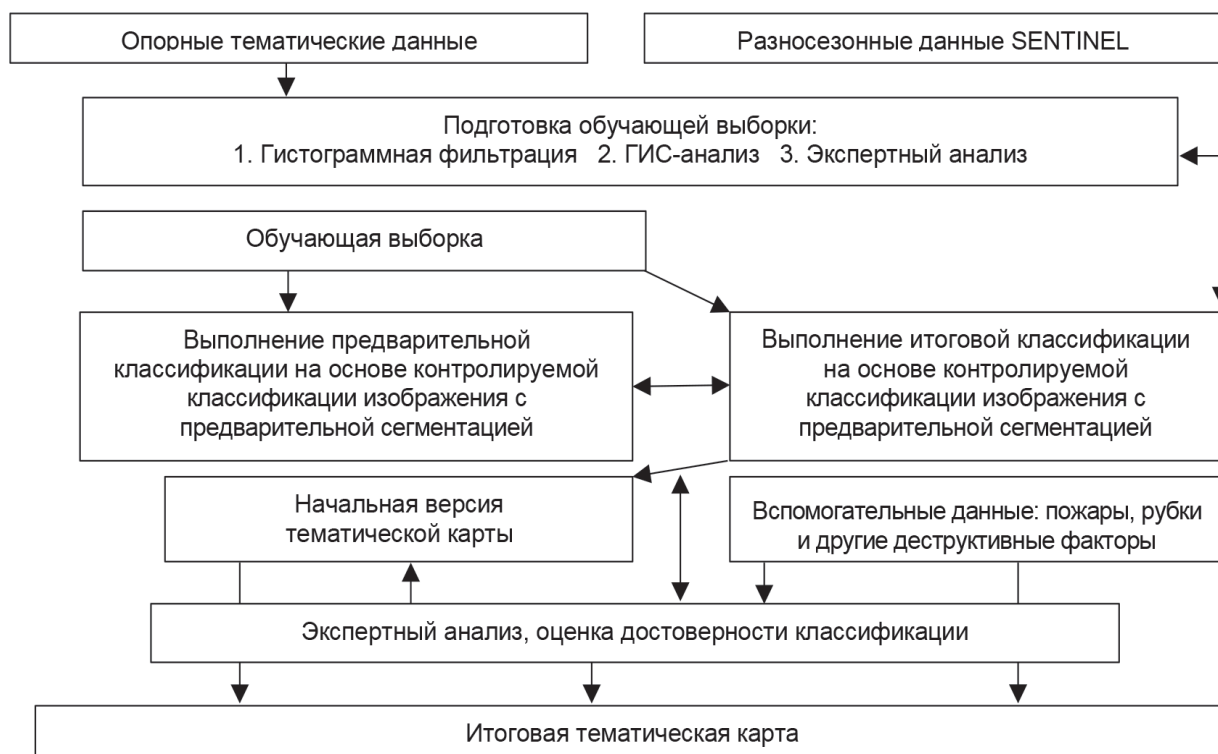


Рис. 2. Алгоритм создания геоботанической карты болот Беларуси

В легенде геоботанической карты выделено 2 блока: 1) растительность болот; 2) антропогенно-производная растительности нарушенных болот. В первом блоке высшие подразделения легенды соответствуют типам растительности. Лесной тип растительности подразделяется на два таксона высшего порядка: хвойные и лиственные коренные леса на болотах. Подзаголовками следующего ранга для лесной растительности являются формации, выделенные по преобладанию древесных пород (сосновые, пушистоберезовые, черноольховые и т.д.). Оценивая ценозное разнообразие лесов, можно отметить, что на тематической карте нашло отражение распространение 12 типов лесных растительных сообществ (с учетом зональных вариантов).

Фитоценозное разнообразие болотной растительности отображено в легенде геоботанической карты 14 единицами (табл. 1). Болотная растительность разделена по типу питания на эвтрофную (низинную), мезотрофную (переходную) и олиготрофную (верховую). Основными картируемыми единицами являются группы ассоциаций (кустарничково-сфагновые, осоково-сфагновые, злаково-осоковые, травяно-осоково-гипновые и др.). Кроме того, на карте отображены сообщества на ранних стадиях формирования лесной структуры, что позволяет оценить масштаб процессов зарастания открытых (нелесных) болот. Луговая растительность с участками травяных болот представлена 3 таксонами, кустарниковая – 1 (табл. 1). Антропогенно-производная растительность болот на геоботанической карте представлена 11 типами растительных сообществ. Все операции с пространственными данными выполнены в специализированных программных пакетах (ENVI, ArcGIS, QGIS), а также с использованием платформы облачных вычислений Google Earth Engine. Достоверность классификации в наших исследованиях составила в среднем 76 % (пределы 68–93 %) [11].

Результаты и их обсуждение. На основе анализа геоботанической карты установлено, что площадь естественных и слаборазрушенных болот в настоящее время составляет 779,5 тыс. га (70,7 % от общей площади исследованной территории). Преобладают лесные болота, занимающие 397,7 тыс. га (36,1 %), в том числе сосновые – 190,6 тыс. га (17,4 %), пушистоберезовые – 132,7 (12,0 %) и черноольховые леса – 74,0 тыс. га (6,7 %). Площадь открытых (нелесных) болот составляет 330,3 тыс. га (29,9 %), в том числе верховых – 102,2 тыс. га (9,3 %), переходных – 53,1 тыс. га (4,8 %), низинных – 175,0 тыс. га (15,8 %). Среди этой площади доля зарастающих болот (редколесий) составляет 33,8 % (111,8 тыс. га), стабильные открытые болота с естественной и слаборазрушенной структурой и видовым составом занимают площадь 218,5 тыс. га. В целом древесная растительность присутствует на 65,3 % площади исследованных естественных и слаборазрушенных болот (табл. 1, рис. 3, а, б).

Таблица 1. Легенда карты и современная структура растительного покрова болот и заболоченных земель Беларуси

Категории легенды		Площадь	
		тыс. га	%
I. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ, СЛАБО- И УМЕРЕННО НАРУШЕННЫХ БОЛОТ		779,5	70,7
ЛЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		397,7	36,1
Хвойные леса		191,0	17,4
Сосновые (<i>Pinus sylvestris</i>) и пушистоберезово-сосновые (<i>Betula pubescens</i>, <i>Pinus sylvestris</i>) болотные леса		190,6	17,4
1	Сосновые кустарничково-сфагновые (<i>Pinus sylvestris</i> f. <i>uliginosa</i> + обычная форма, <i>Ledum palustre</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sph. divinum</i>)		
1a	с <i>Chamaedaphne calyculata</i>	34,0	3,1
1б	с <i>Calluna vulgaris</i>	44,7	4,1
2	Сосновые пушицево-кустарничково-сфагновые (<i>Pinus sylvestris</i> f. <i>litwinowii</i> , <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Oxycoccus palustris</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sph. divinum</i> , <i>Polytrichum strictum</i>)		
2a	с <i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Empetrum nigrum</i> , <i>Sphagnum fuscum</i>	21,1	1,9
2б	с <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Sphagnum fallax</i>	14,1	1,3
3	Сосновые и пушистоберезово-сосновые кустарничково-осоково-сфагновые (<i>Carex lasiocarpa</i> , <i>C. rostrata</i> , <i>Oxycoccus palustris</i> , <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sph. fallax</i> , <i>Sph. centrale</i> , <i>Sph. flexuosum</i> , <i>Sph. divinum</i>)	57,3	5,2
4	Пушистоберезово-сосновые осоково-травяно-сфагновые (<i>Calamagrostis canescens</i> , <i>Carex appropinquata</i> , <i>C. lasiocarpa</i> , <i>C. chordorrhiza</i> , <i>Comarum palustre</i> , <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Thelypteris palustris</i> , <i>Sphagnum warnstorffii</i> , <i>Sph. teres</i> , <i>Sph. fallax</i> , <i>Sph. girgensohnii</i>) с <i>Betula humilis</i> в подлеске	8,5	0,8
4а	с участием <i>Picea abies</i> в древостое и <i>Juniperus communis</i> в подлеске	10,9	1,0
Еловые (<i>Picea abies</i>) леса			
5	Еловые осоковые в сочетании с приручейно-травяными с неоднородным покровом (на кочках – <i>Luzula pilosa</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Dryopteris carthusiana</i> , <i>D. expansa</i> , <i>Tridentalis europaea</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> ; в понижениях – <i>Carex elongata</i> , <i>Crepis paludosa</i> , <i>Lysimachia vulgaris</i> , <i>Molinia caerulea</i> , <i>Thelypteris palustris</i> , <i>Naumburgia thyrsiflora</i> , <i>Caltha palustris</i>)	0,4	<0,1
Лиственные болотные леса		206,7	18,7
Пушистоберезовые (<i>Betula pubescens</i>) леса		132,7	12,0
6	Пушистоберезовые с сосной осоково-травяно-сфагновые (<i>Calamagrostis canescens</i> , <i>Carex lasiocarpa</i> , <i>C. nigra</i> , <i>C. rostrata</i> , <i>Comarum palustre</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Peucedanum palustre</i> , <i>Calliergonella cuspidata</i> , <i>Calliergon giganteum</i> , <i>Sphagnum centrale</i> , <i>Sph. fallax</i>)	17,8	1,6
7	Пушистоберезовые и черноольхово-пушистоберезовые гигрофильнотравяно-осоковые (<i>Calla palustris</i> , <i>Carex acutiformis</i> , <i>C. appropinquata</i> , <i>C. cinerea</i> , <i>C. elongata</i> , <i>Comarum palustre</i> , <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Lycopus europaeus</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Naumburgia thyrsiflora</i> , <i>Peucedanum palustre</i> , <i>Thelypteris palustris</i>)	114,9	10,4
Черноольховые (<i>Alnus glutinosa</i>) леса		74,0	6,7
8	Черноольховые крапивно-кочедыжниковые (<i>Athyrium filix-femina</i> , <i>Caltha palustris</i> , <i>Carex elongata</i> , <i>Chrysosplenium alternifolium</i> , <i>Cirsium oleraceum</i> , <i>Dryopteris filix-mas</i> , <i>Impatiens noli-tangere</i> , <i>Mercurialis perennis</i> , <i>Ranunculus repens</i> , <i>Stellaria nemorum</i> , <i>Urtica dioica</i>) в сочетании с черноольховыми высокотравными (<i>Calystegia sepium</i> , <i>Deschampsia cespitosa</i> , <i>Filipendula ulmaria</i> , <i>Impatiens noli-tangere</i> , <i>Lysimachia nummularia</i> , <i>L. vulgaris</i> , <i>Lythrum salicaria</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>U. galeopsifolia</i>) с <i>Euonymus europaea</i> , <i>Humulus lupulus</i> , <i>Padus avium</i> , <i>Rubus caesius</i> в подлеске	23,6	2,1
9	Черноольховые и пушистоберезово-черноольховые гигрофильнотравяно-осоковые (<i>Calla palustris</i> , <i>Carex acutiformis</i> , <i>C. elongata</i> , <i>C. pseudocyperus</i> , <i>C. riparia</i> , <i>C. vesicaria</i> , <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Iris pseudacorus</i> , <i>Lycopus europaeus</i> , <i>Naumburgia thyrsiflora</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Ranunculus lingua</i> , <i>Solanum dulcamara</i> , <i>Thelypteris palustris</i>) нередко с густым кустарниковым ярусом (<i>Frangula alnus</i> , <i>Salix cinerea</i>)	50,4	4,6
БОЛОТНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		330,3	29,9
Верховые (олиготрофные) болота		102,2	9,3
10	Кустарничково-сфагновые (<i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Empetrum nigrum</i> , <i>Oxycoccus microcarpus</i> , <i>Sphagnum fuscum</i>) с редкой [h=2–3 м, сомкнутость 0,1–0,3] <i>Pinus sylvestris</i> f. <i>litwinowii</i>	6,5	0,6
11	Пушицево-кустарничково-сфагновые (<i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Andromeda polifolia</i> , <i>Oxycoccus palustris</i> , <i>Sphagnum divinum</i> , <i>Sph. angustifolium</i>)		
11a	с <i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Empetrum nigrum</i> , <i>Sphagnum fuscum</i>	4,5	0,4
11б	с <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Sphagnum fallax</i> , <i>Sph. rubellum</i>	9,1	0,8
12	Сосново-пушицево-сфагновые редколесья (<i>Pinus sylvestris</i> f. <i>litwinowii</i> [h=2–3 м, сомкнутость 0,2–0,4], <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Andromeda polifolia</i> , <i>Oxycoccus palustris</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sph. divinum</i>)	39,3	3,6

Категории легенды		Площадь	
		тыс. га	%
13	Комплексная растительность:		
13а	Грядово-озерково-мочажинный комплекс: гряды: кустарничково-сфагновые гряды (<i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Empetrum nigrum</i> , <i>Sphagnum fuscum</i>) с редкой <i>Pinus sylvestris</i> f. <i>litwinowii</i> [h=2–3 м, сомкнутость 0,1–0,3] мочажины: очеретниково-, шейхцеригово- и топяноосоково-сфагновые мочажины (<i>Rhynchospora alba</i> , <i>Scheuchzeria palustris</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Sphagnum cuspidatum</i> , <i>Sph. majus</i> , <i>Sph. balticum</i>), иногда с признаками регрессии (<i>Cladopodiella fluitans</i> , <i>Cephalozia fluitans</i> , <i>Mylia anomala</i>) озера с открытой водной поверхностью или затягивающимися сфагновыми мхами (<i>Sphagnum cuspidatum</i> , <i>Sph. majus</i>)	17,7	1,6
13б	Грядово-мочажинный комплекс: гряды: пушицево-кустарничково-сфагновые (<i>Calluna vulgaris</i> , <i>Andromeda polifolia</i> , <i>Sphagnum divinum</i>) с редкой <i>Pinus sylvestris</i> f. <i>litwinowii</i> [h=2–3 м, сомкнутость 0,1–0,3] мочажины: очеретниково- и шейхцеригово-топяноосоково-сфагновые (<i>Rhynchospora alba</i> , <i>Scheuchzeria palustris</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Sphagnum balticum</i> , <i>Sph. cuspidatum</i>)	14,4	1,3
13в	Грядово-мочажинный комплекс гряды: сосново-пушицево-сфагновые (<i>Pinus sylvestris</i> f. <i>litwinowii</i> , f. <i>willkommii</i> , <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sph. divinum</i>) мочажины: мелкие пушицево-очеретниково-сфагновые (<i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Rhynchospora alba</i> , <i>Sphagnum cuspidatum</i> , <i>Sph. angustifolium</i> , <i>Sph. fallax</i>), в наиболее обводненных участках – очеретниково- и шейхцеригово-топяноосоково-сфагновые (<i>Rhynchospora alba</i> , <i>Scheuchzeria palustris</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Sphagnum cuspidatum</i>)	4,3	0,4
13г	Шейхцеригово-осоково-сфагновые топи на верховых болотах (<i>Carex limosa</i> , <i>Scheuchzeria palustris</i> , <i>Sphagnum cuspidatum</i>) изредка в сочетании с озерами с открытой водной поверхностью	6,4	0,6
Переходные (мезоолиготрофные и мезотрофные) болота		53,1	4,8
14	Осоково-пушицево-травяно-сфагновые (<i>Carex lasiocarpa</i> , <i>C. rostrata</i> , <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>E. polystachyon</i> , <i>Sphagnum fallax</i> , <i>Sph. angustifolium</i> , <i>Sph. obtusum</i> , <i>Sph. papillosum</i>)	27,8	2,5
14а	Зарастающие переходные болота: осоково-пушицево-травяно-сфагновые ковры с разреженным [h=2–5 м, сомкнутость 0,2–0,3] древесно-кустарниковым ярусом (<i>Betula pubescens</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Salix aurita</i> , <i>S. cinerea</i>)	25,3	2,3
Низинные (эвтрофные) болота		175,0	15,8
15	Травяно-осоковые (<i>Carex lasiocarpa</i> , <i>C. flava</i> , <i>C. rostrata</i> , <i>C. dioica</i> , <i>C. chordorrhiza</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Baeothryon alpinum</i> , <i>Epipactis palustris</i>) с большим участием мезоевтрофных видов сфагнов (<i>Sphagnum warnstorffii</i> , <i>Sph. teres</i> , <i>Sph. squarrosum</i>)	5,8	0,5
16	Осоковые, осоково-гипновые (<i>Carex lasiocarpa</i> , <i>C. rostrata</i> , <i>C. diandra</i> , <i>C. elata</i> , <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Peucedanum palustre</i> , виды рода <i>Drepanocladus</i>) иногда с участием сфагнов (<i>Sphagnum contortum</i> , <i>Sph. subsecundum</i> , <i>Sph. teres</i> , <i>Sph. warnstorffii</i>) с мозаичным комплексом <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Typha latifolia</i>	60,2	5,4
16а	Зарастающие низинные болота: осоково-гипновые с разреженным h=2–7 м, сомкнутость 0,2–0,3] древесно-кустарниковым ярусом (<i>Betula pubescens</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Salix cinerea</i> , <i>S. pentandra</i>)	47,2	4,3
17	Тростниковые (<i>Phragmites australis</i>) и влажно-высокотравные (<i>Typha latifolia</i> , <i>Carex pseudocyperus</i> , <i>Cicuta virosa</i> , <i>Lycopus europaeus</i> , <i>Lysimachia vulgaris</i> , <i>Lythrum salicaria</i> , <i>Scirpus sylvaticus</i> , <i>Equisetum fluviatile</i>) сообщества	61,8	5,6
ЛУГОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		51,9	4,7
Луга пойменные (заливные) с участками травяных болот, кустарников (<i>Frangula alnus</i>, <i>Salix cinerea</i>, <i>S. fragilis</i>, <i>S. pentandra</i>, <i>S. myrsinifolia</i>, <i>S. triandra</i>)		34,2	3,1
18	Сырые луга (<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Poa palustris</i> , <i>P. trivialis</i> , <i>Beckmannia eruciformis</i> , <i>Deschampsia cespitosa</i>) с участками болотистых лугов и травяных болот	33,6	3,0
19	Болотистые луга (<i>Phalaroides arundinacea</i> , <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Glyceria maxima</i> , <i>Carex acuta</i> , <i>C. acutiformis</i> , <i>Scirpus sylvaticus</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Typha angustifolia</i> , <i>T. latifolia</i> , <i>Acorus calamus</i>) с участками травяных болот, закустаренные	0,6	0,1
Луга внепойменные (материковые) с участками травяных болот, кустарников (<i>Salix cinerea</i>, <i>S. caprea</i>, <i>S. triandra</i>, <i>S. myrsinifolia</i>, <i>S. rosmarinifolia</i>, <i>S. pentandra</i>, <i>S. aurita</i>, <i>Frangula alnus</i>, <i>Viburnum opulus</i>)		9,3	0,8
20	Сырые луга (<i>Deschampsia cespitosa</i> , <i>Fillipendula ulmaria</i> , <i>Bistorta major</i> , <i>Juncus effusus</i> , <i>Molinia caerulea</i> , <i>Carex flava</i> , <i>C. panicea</i>) с участками торфянистых лугов (<i>Carex vesicaria</i> , <i>C. dioica</i> , <i>C. appropinquata</i>) и травяных болот	9,3	0,8
КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ			
21	Ивняки пойменные (<i>Salix alba</i> , <i>S. fragilis</i> , <i>Humulus lupulus</i> , <i>Fillipendula ulmaria</i> , <i>Lysimachia vulgaris</i> , <i>Lythrum salicaria</i> , <i>Rubus caesius</i> , <i>Phalaroides arundinacea</i> , <i>Veronica longifolia</i> , <i>Urtica galeopsifolia</i>)	8,4	0,8

Окончание табл. 1

Категории легенды		Площадь	
		тыс. га	%
II. АНТРОПОГЕННО-ПРОИЗВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ НАРУШЕННЫХ БОЛОТ		323,7	29,3
АНТРОПОГЕННО-ПРОИЗВОДНЫЕ ЛЕСА		37,8	3,4
22	Сосновые, березово-сосновые кустарничково-сфагново-зеленомошные на торфах верхового типа осушенные (<i>Pinus sylvestris</i> f. <i>uliginosa</i> + обычная форма, <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>V. vitis-idaea</i> , <i>V. uliginosum</i> , <i>Dicranum polysetum</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sph. divinum</i>)	29,1	2,6
23	Лиственные (<i>Betula pendula</i>) кустарничковые на торфах верхового типа осушенные (<i>Calluna vulgaris</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>V. vitis-idaea</i> , <i>V. uliginosum</i> , <i>Polytrichum strictum</i>)	5,7	0,5
23а	Лиственные (<i>Alnus glutinosa</i> , <i>Betula pubescens</i> , <i>B. pendula</i>) высокотравные на торфах низинного типа осушенные (<i>Athyrium filix-femina</i> , <i>Dryopteris filix-mas</i> , <i>Chrysosplenium alternifolium</i> , <i>Crepis paludosa</i> , <i>Geranium robertianum</i> , <i>Geum urbanum</i> , <i>Impatiens noli-tangere</i> , <i>Lysimachia vulgaris</i> , <i>Poa palustris</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Viola epipsila</i>) с <i>Frangula alnus</i> , <i>Padus avium</i> , <i>Rubus idaeus</i> в подлеске в сочетании со злаково-разнотравными редколесьями (<i>Anthriscus sylvestris</i> , <i>Bromus inermis</i> , <i>Calamagrostis canescens</i> , <i>Cirsium arvense</i> , <i>Deschampsia cespitosa</i> , <i>Juncus effusus</i> , <i>Filipendula ulmaria</i>)	3,0	0,3
МЕЛКОЛЕСЬЯ, КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		155,7	14,1
24	Ивняки (<i>Salix aurita</i> , <i>S. cinerea</i> , <i>S. pentandra</i>) гигрофильновысокотравные (<i>Phragmites australis</i> , <i>Iris pseudacorus</i> , <i>Typha latifolia</i> , <i>Lysimachia vulgaris</i> , <i>Scirpus sylvaticus</i>)	14,5	1,3
25	Ивняки (<i>Salix cinerea</i> , <i>S. rosmarinifolia</i> , <i>S. triandra</i>) с березой пушистой (<i>Betula pubescens</i>) и ольхой черной (<i>Alnus glutinosa</i>) вейниково-осоковые (<i>Calamagrostis canescens</i> , <i>Carex acuta</i> , <i>C. vesicaria</i> , <i>Lysimachia vulgaris</i> , <i>Galium mollugo</i> , <i>Linaria vulgaris</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Potentilla anserina</i> , <i>Carduus crispus</i> и др.) на торфах низинного типа	141,2	12,8
ПРОЧАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ НА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКАХ		130,2	11,8
26	Злаково-разнотравные ксеромезофитные (<i>Poa angustifolia</i> , <i>Trifolium montanum</i>), психромезофитные (<i>Agrostis tenuis</i> , <i>Anthoxanthum odoratum</i> , <i>Briza media</i> , <i>Festuca rubra</i>) и эумезофитные (<i>Festuca pratensis</i> , <i>Poa pratensis</i>) часто с участием сорно-полевых видов (<i>Urtica dioica</i> , <i>Anthriscus sylvestris</i> , <i>Galium mollugo</i> , <i>Linaria vulgaris</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Potentilla anserina</i> , <i>Carduus crispus</i> и др.) на торфах низинного типа	16,1	1,5
27	Комплекс мезофитных сообществ (<i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>F. rubra</i> , <i>Phleum pratensis</i>) на торфах низинного типа	23,5	2,1
28	Вересковые (<i>Calluna vulgaris</i>), вересково-политриховые-сфагновые (<i>Calluna vulgaris</i> , <i>Polytrichum strictum</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sph. divinum</i>) с участками хвойно-лиственных (<i>Betula pendula</i> , <i>B. pubescens</i> , <i>Pinus sylvestris</i>) кустарничково-политрихово-сфагновых (<i>Calluna vulgaris</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>Polytrichum strictum</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sph. divinum</i>) производных сообществ на торфах верхового типа	16,7	1,5
29	Многолетние и двулетние высокотравные нитрофильные сообщества влажных местообитаний (<i>Anthriscus sylvestris</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Eupatorium cannabinum</i> , <i>Agrostis gigantea</i> , <i>Artemisia vulgaris</i> , <i>Phalaroides arundinacea</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Rubus idaeus</i> , <i>Urtica dioica</i>) на торфах низинного типа	54,6	4,9
30	Пионерная растительность (<i>Tussilago farfara</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Cardaminopsis arenosa</i> , <i>Conyza canadensis</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Agrostis stolonifera</i> , <i>Carduus crispus</i> , <i>Chamaenerion angustifolium</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Sonchus arvensis</i>) на торфах низинного типа	0,2	<0,1
31	Голый торф, ранние стадии формирования растительности на бывших участках торфодобычи (<i>Tussilago farfara</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Cardaminopsis arenosa</i> , <i>Juncus conglomeratus</i> , <i>Phragmites australis</i>) иногда с ивами (<i>Salix cinerea</i> , <i>S. purpurea</i>) на торфах низинного типа	19,1	1,7

На площади 229,4 тыс. га выявлены наиболее ценные с природоохранной точки зрения растительные сообщества: пушистоберезово-сосновые осоково-травяно-гипново-сфагновые (№ 4) – 10,9 тыс. га (1,0 %); стабильные растительные сообщества открытых (нелесных) болот (№ 10, 11, 13а–г, 14, 15, 16; см. табл. 1) – 218,5 тыс. га (19,7 %).

Вместе с тем в ходе исследований выявлены земли общей площадью около 100 тыс. га (9,1 %), которые необходимо дополнительно обследовать на предмет исключения из базы торфяников (№ 18–21, 26, 27; см. табл. 1). Это связано с тем, что при разработке базы данных недостаток сведений торфоразведки по наличию и мощности торфяной залежи компенсировался применением данных ДЗЗ. Вследствие перекрытия спектральных характеристик болот с характеристиками других угодий возникают неизбежные ошибки (с культурными сенокосами и пастбищами, пойменными лугами) [4].

Площадь болот с антропогенно-производной растительностью составляет 323,7 тыс. га (29,3 %). Преобладают кустарники (155,7 тыс. га – 14,1 %), высокотравные нитрофильные сообщества влажных местообитаний (54,6 тыс. га – 4,9 %), мелиоративно-производные леса (37,8 тыс. га – 3,4 %), возникшие после преобразования местообитаний на осушенных землях временного сельскохозяйственного или иного использования.

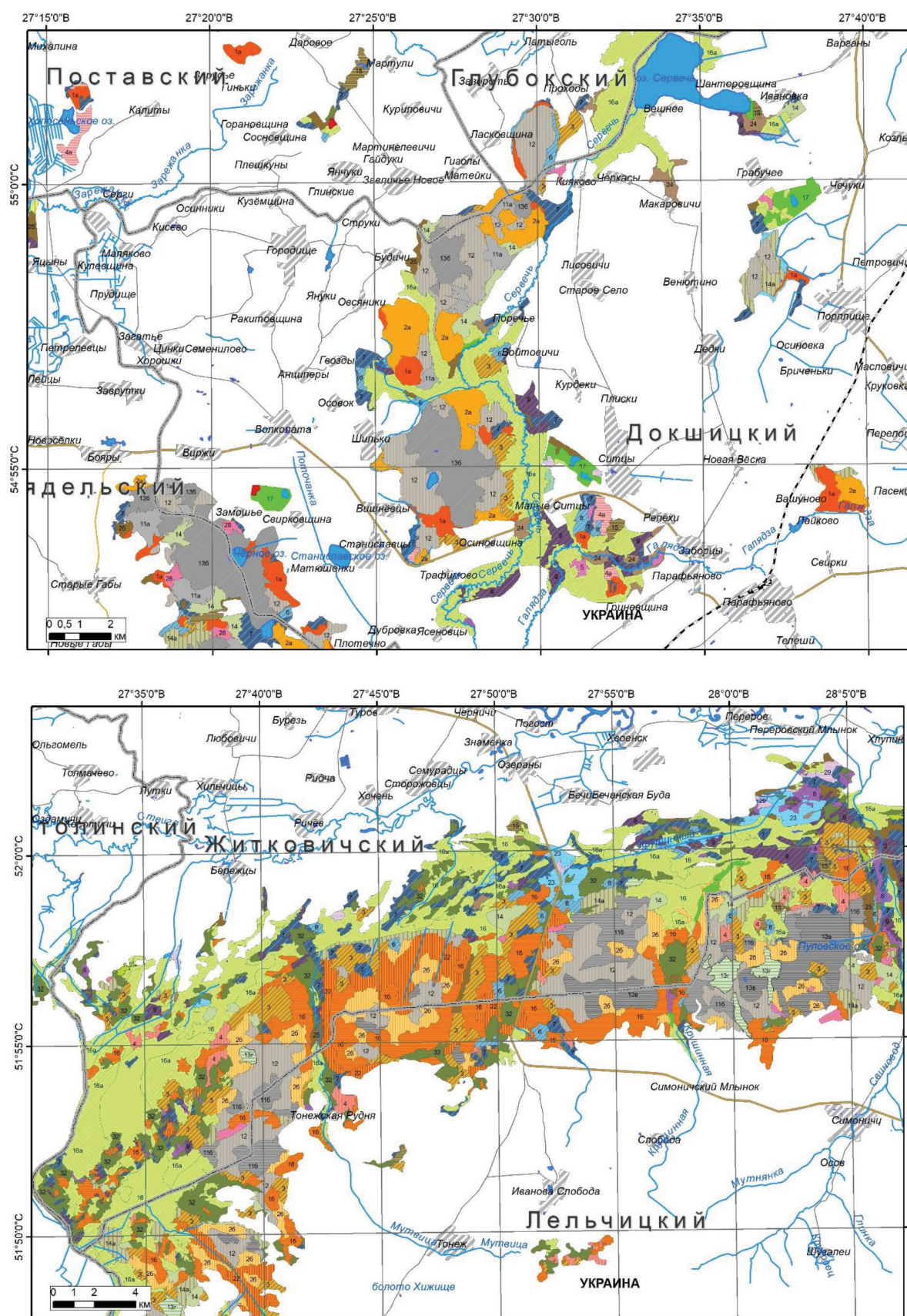


Рис. 3. Фрагменты карты растительности болот Беларуси (М 1:100 000; уменьшенная копия)

Оценка динамики и экологического состояния растительного покрова болот Беларуси. Исходные данные, методика исследований. Оценка современного состояния растительного покрова болот Беларуси проводится через установление степени ее нарушенности (сохранности). В основу разработки системы оценок экологического состояния растительности положен подход к выделению стадий коренных, условно-коренных, коротко- и длительнопроизводных и серийных сообществ, отражающих скорость восстановления коренной или потенциальной растительности. Каждая стадия отражает степень нарушенности и соответственно удаленности от климаксового состояния. Всего выделено 11 стадий (табл. 2, рис. 4), которые объединены по 4 категориям состояния растительного покрова: слабо-, средне-, сильнонарушенная и полностью уничтоженная растительность. Таким образом, составленная карта отражает два процесса – дигрессию растительности под влиянием антропогенных и естественных факторов и демулационные процессы, развивающиеся после этих воздействий. В качестве исходных данных использовали: а) геоботаническую карту растительности с отражением динамических процессов; б) материалы актуального лесоустройства; в) вспомогательные материалы, отражающие воздействие деструктивных факторов (пожары, гибели лесов, мелиорация).

Т а б л и ц а 2. Соотношение площадей по категориям состояния растительности болот Беларуси (по состоянию на 2020 г.)

Категория состояния и стадии дигрессии		Площадь	
		тыс. га	%
I	Естественная и слабонарушенная растительность	430,0	39,0
1.1	Условно-коренные и длительно-производные хвойные и лиственные болотные леса без следов природных или антропогенных нарушений	294,9	26,7
1.2	Условно-коренные растительные сообщества необлесенных болот без следов природных или антропогенных нарушений	118,6	10,8
1.3	Условно-коренные болотные растительные сообщества речных пойм без следов природных или антропогенных нарушений	16,5	1,5
II	Средненарушенная растительность	353,6	32,0
2.1	Коренные и длительно-производные хвойные, лиственные коренные болотные леса с умеренным воздействием антропогенных (выборочные рубки, мелиорация, пожары прошлых лет) факторов: состав древостоя соответствует тому, который имеют древостои естественной фазы сукцессии, местообитание практически не нарушено	75,3	6,8
2.2	Коротко-производные растительные сообщества необлесенных болот, сформировавшиеся под влиянием умеренного прямого или опосредованного антропогенного воздействия	67,1	6,1
2.3	Относительно неустойчивые первичные леса начальных стадий сукцессии, возникшие после преобразования на торфяно-болотных почвах, ранее не бывших под лесом	211,2	19,1
III	Сильнонарушенная растительность	300,3	27,2
3.1	Длительно-производные растительные сообщества болот, первичные антропогенные леса, возникшие после преобразования местообитаний (на осушенных землях, временного сельскохозяйственного или иного использования)	123,6	11,2
3.2	Вторичные лиственные леса с сильно изменённым составом и структурой древостоя и подчинённых ярусов, без признаков восстановления коренных типов леса	8,7	0,8
3.3	Длительно-производные хвойные и лиственные леса, в которых хозяйственное влияние (пожары, осушительная мелиорация, выборочные рубки) и (или) последствия воздействия природно-климатических факторов катастрофического характера существенно нарушили местообитания фитоценозов, а также их состав и структуру	37,8	3,4
3.4	Серийные сообщества на месте болотных фитоценозов, сформированные в результате антропогенного воздействия (мелиорация, торфодобыча, пожары, сельскохозяйственное использование)	130,2	11,8
IV	Уничтоженная природная растительность	19,3	1,8
4.1	Местообитания с полностью уничтоженной природной растительностью (открытый торф) с начальными процессами демулации	19,3	1,8

Результаты и их обсуждение. Анализируя материалы оценки экологического состояния растительного покрова болот (табл. 2, рис. 4), следует отметить, что наблюдается преобладание деструктивных процессов, накопление признаков неуклонного разрушения коренной растительности. Процессы естественного восстановления растительности уже не обеспечивают в должной мере устойчивость коренной растительности к антропогенным воздействиям, все более обширные территории занимают антропогенно-производные сообщества (673,2 тыс. га – 61,0 %). В целом соотношение площадей экосистем болот с различной степенью нарушенности растительного покрова следующее: с полностью уничтоженной естественной растительностью – 19,3 тыс. га (1,8 %); с сильно-

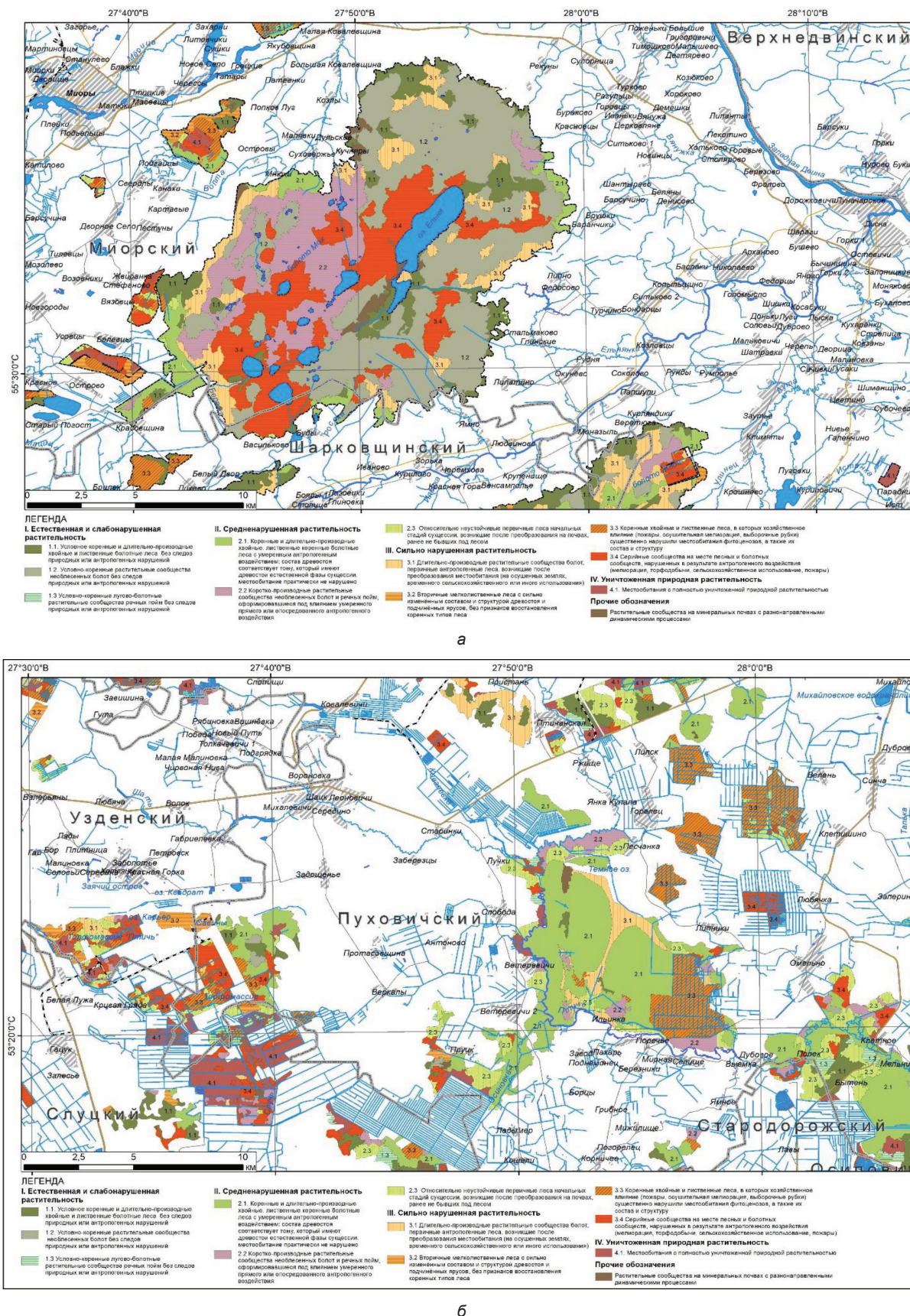


Рис. 4. Фрагменты карты экологического состояния растительного покрова болот Беларуси (М 1:100 000, уменьшенная копия): а – Миорский район Витебской области, б – Пуховичский район Минской области

нонарушенным растительным покровом – 300,3 тыс. га (27,2 %); со средненарушенным – 353,6 тыс. га (32,0 %); с естественной и слабонарушенной растительностью – 430 тыс. га (39,0 %).

Для каждого административного района рассчитывались площади, занимаемые экосистемами различных стадий нарушенности, а также индекс состояния экосистем болот (I_C): $I_C = \frac{\sum C_j S_j}{S}$, где C_j – стадия нарушенности; S_j – площадь экосистем в данном состоянии; S – общая площадь исследуемой территории.

В разрезе административных районов наиболее высокая степень сохранности болот характерна для следующих районов: Лепельский ($I_C = 1,30$), Россонский (1,31), Бельничский (1,37), Полоцкий (1,41), Краснопольский (1,43). Наиболее нарушенные экосистемы болот в Минском (3,31), Слонимском (3,29), Копыльском (3,21), Лидском (3,15), Мостовском (3,13) районах (рис. 5). Наибольшие площади нарушенных болот (с уничтоженным и сильно нарушенным растительным покровом) находятся (тыс. га) в Смолевичском (2,8), Пуховичском (2,4), Слуцком (2,2), Солигорском (2,0), Лельчицком (1,9) районах. В этих районах необходимо проведение первоочередных мероприятий по восстановлению гидрологического режима экосистем.

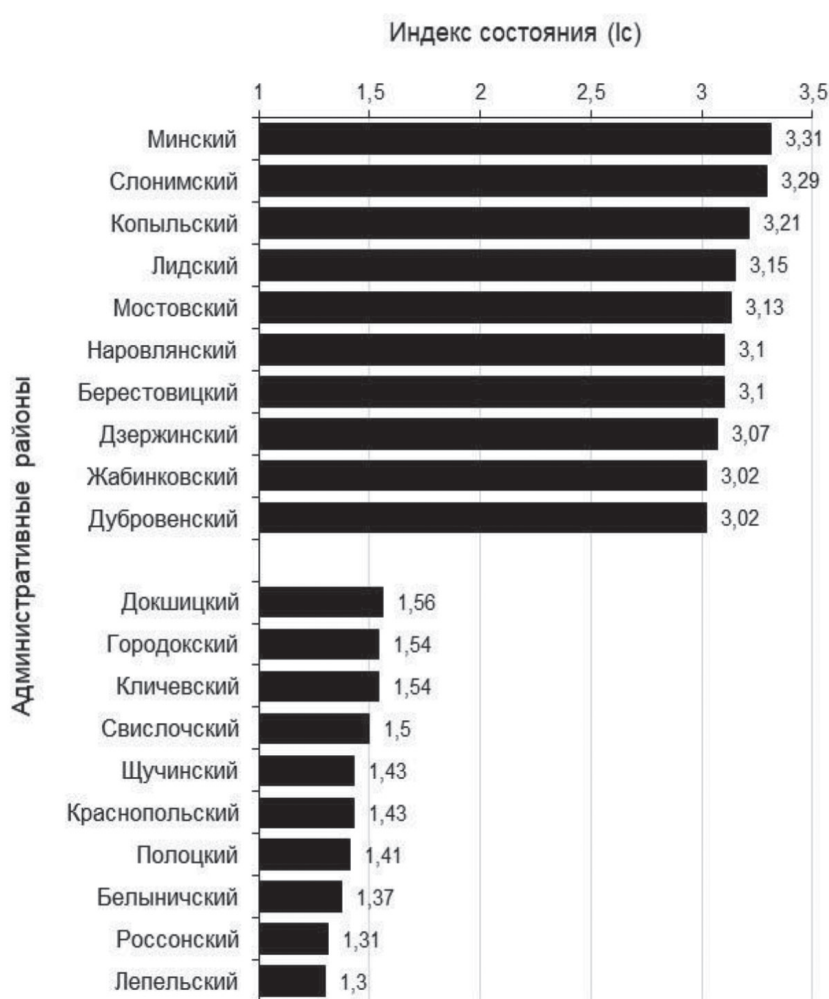


Рис. 5. Ранжирование административных районов по средневзвешенному значению индекса состояния экосистем болот (приводятся десять районов с наиболее нарушенными болотами и десять районов с наибольшей концентрацией естественных болот)

Оценка пожарной устойчивости растительного покрова болот. Исходные данные, методика исследований. На основе интегральной оценки комплекса показателей (степень разложения, зольность, влажность, мощность торфа, уровень залегания болотных вод, рельеф, характеристики горючести растительного материала, степень нарушенности) выделенные типы растительных сообществ объединены в 5 классов по степени устойчивости к пожарам [9]: 1) *наименее устойчивые*:

вересковые пустоши на гарях, пионерная растительность на торфах низинного типа, открытые участки торфа; 2) *неустойчивые*: послепожарные кустарничково-политрихово-сфагновые, кустарничково-сфагновые сообщества; 3) *среднеустойчивые*: сосновые и лиственные болотные леса на осушенных землях, суходольные хвойные и лиственные леса на минеральных островах, пушицево-кустарничково-сфагновые (по окраинам болот) сообщества, злаково-разнотравные сообщества на осушенных торфяниках; 4) *устойчивые*: сосновые и лиственные болотные леса, грядово-(мелко)мочажинные комплексы, осоково-сфагновые мезотрофные ковры, влажно-высокотравные сообщества на нарушенных болотах, ивняки травяно-тростниково-осоковые, ивняки влажно-высокотравные; 5) *наиболее устойчивые*: сильно обводненные грядово-мочажинные комплексы, топи на верховых и переходных болотах, травяно-осоковые травостои на низинных болотах, тростниковые заросли.

Сведения по классам пожарной устойчивости вносили в атрибутивные таблицы базового ГИС-слоя «Растительность болот», а затем на основе данной информации производили построение и оформление карты (рис. 6). Для каждого болота увязывали результаты картографической оценки с материалами лесоустройства, рассчитывали площади участков по классам пожарной устойчивости и средневзвешенное значение класса, выполняли их ранжирование.

Результаты и их обсуждение. Площадь болот, где существует высокий потенциал возникновения пожаров при неблагоприятных погоднo-климатических условиях, составляет 221,4 тыс. га. Для административных районов наибольшие площади пожароопасных торфяников характерны (тыс. га) для Пуховичского (14,1), Солигорского (12,3), Столинского (8,2), Докшицкого (7,5), Миорского (6,9), Борисовского (6,3), Быховского (6,1), Шумилинского (5,7), Ляховичского (5,5), Лидского (5,3) (рис. 7).

Прогноз динамики экосистем болот в связи с изменением климата (до 2050 г.). Следует отметить, что прогноз последствий изменения климата для экосистем болот крайне сложен. Палео-экологические данные свидетельствуют в целом об относительно высокой устойчивости болот к изменениям климата прошлого [8]. Однако современные климатические изменения могут значительно отличаться от прошлых по скорости и характеру. При этом палеоэкология информирует в основном о длительных, особенно с точки зрения человеческой жизни, временных интервалах. Трудно оценить последствия роста повторяемости экстремальных явлений и нестабильности климата. Если рассматривать малый климатический оптимум голоцена как наиболее близкий климатический сценарий возможного будущего, то большинство болот Евразии (в том числе и Беларуси) не будут находиться в активной фазе роста при потеплении климата [20].

Прямое влияние изменения температур существенно не повлияет на структуру и состояние болота. От этих воздействий во влажных условиях защищает специфический микроклимат, в менее обводненных – торф проявляет свои термоизолирующие свойства. Основным механизмом воздействия при изменении климата выступает водный режим. Наиболее вероятный ответ на потепление климата – понижение уровня болотных вод [8]. Соответственно в основу большинства прогнозных моделей положены уже известные реакции экосистем болот на последствия их осушения.

Исходные данные, методика исследований. Схема последовательности научно-исследовательских работ состояла из 4 этапов.

1. *Подготовка производных спутниковых, тематических и картографических продуктов.* В качестве базовой карты для разработки прогноза использовалась крупномасштабная (М 1:100 000) карта современной растительности. Вспомогательным материалом для анализа служили карты динамики и состояния растительного покрова; карта-схема размещения нарушенных болот. Также использовали прогнозные сценарии изменений климата Беларуси до 2050 г. [21].

2. *Разработка прогноза модели биоразнообразия растительного покрова болот при изменении климата.* В основу построения модели динамики положены: современная карта растительности болот; сукцессионные ряды растительности при изменении климата и осушении; существующие модели и экспертные оценки прогноза реакции экосистем на изменение климата [8, 22–24]; прогноз климатических изменений в условиях Беларуси.

3. *Совмещение на платформе ГИС аналитических спутниковых, тематических и картографических продуктов, составление карты потенциальной растительности (до 2050 г.).*

4. *Статистическая обработка средствами ГИС, составление прогноза угроз биологического разнообразия, анализ полученных результатов, формирование выводов и заключений.*

Результаты и их обсуждение. К числу основных угроз биоразнообразию болот, связанных с изменением климата, относятся: а) изменение границ пространственного распространения (сокращение ареала болот бореального типа, пойменных болот) и разнообразия (упрощения пространственной структуры, сокращение биотопического разнообразия, изменение видового состава, исчезновение редких видов фауны и флоры) болот; б) понижение уровня стояния болотных вод;

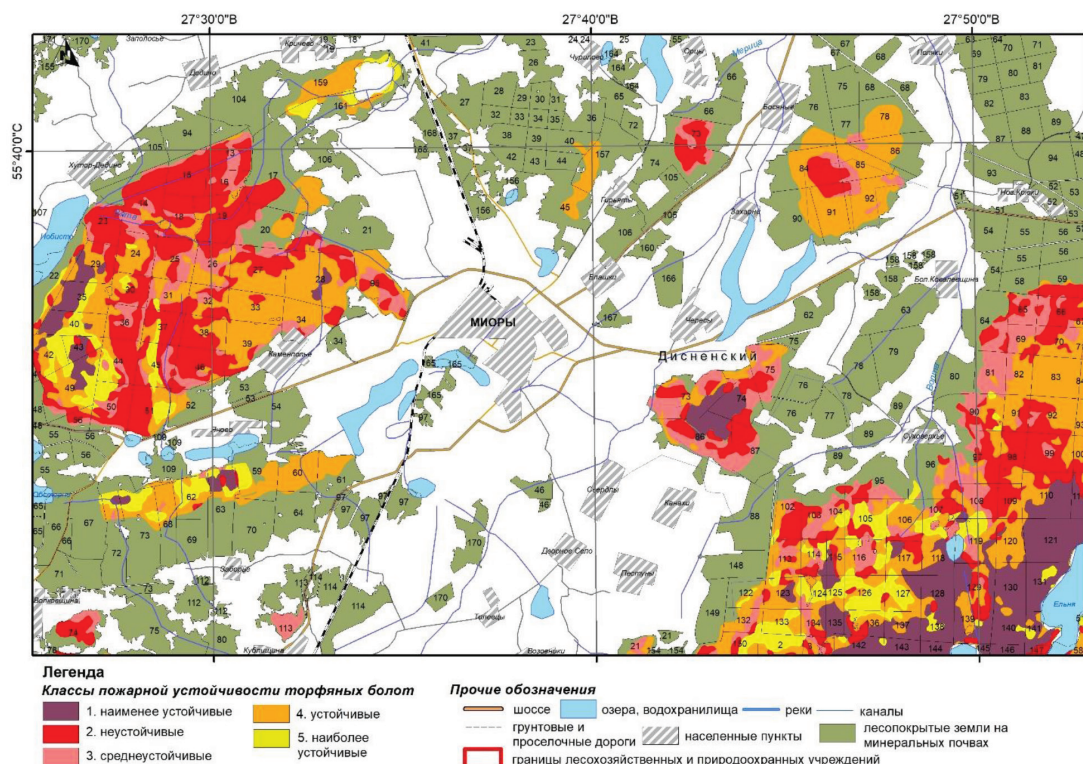


Рис. 6. Фрагмент карты пожарной устойчивости растительного покрова болот Беларуси (М 1:100 000, уменьшенная копия)

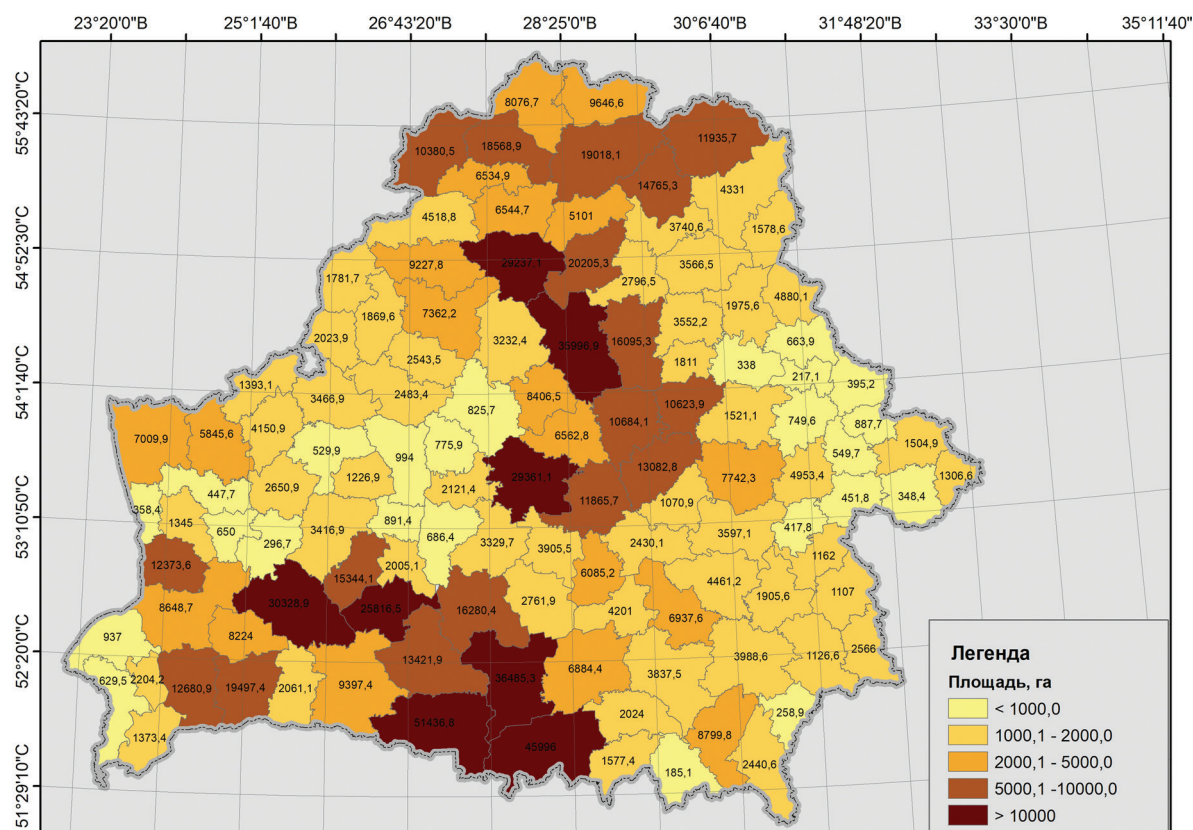


Рис. 7. Распределение площадей болот с высоким риском возникновения пожаров в разрезе административного районирования Беларуси

в) зарастание открытых болотных экологических систем древесно-кустарниковой растительностью, торфяные пожары. Прогноз изменения биоразнообразия экосистем болот Беларуси следующий.

1. Сокращение площадей болот, наиболее зависимых от климата – открытых (нелесных) таежных верховых болот, пойменных болот. Прогнозируется, что к 2050 г. при текущем климатическом сценарии площади наиболее открытых таежных верховых болот FUSCUM-типа сократятся на 56,7 тыс. га (-49,2 % от площади занимаемых этими болотами в настоящее время). Их распространение будет локализовано северными районами страны.

Основные направления динамики верховых болот FUSCUM-типа будут протекать в следующих направлениях: а) формирование лесного типа болот; б) смена основного эдификатора растительного покрова болот (*Sphagnum fuscum* на *Sph. divium*) и соответственно заменой болот FUSCUM-типа на DIVINUM-тип; в) деградации грядово-мочажинных и грядово-мочажинно-озерковых комплексов. Прогнозируется также сокращение площадей открытых пойменных болот (на 60,7 %) прежде всего из-за изменения гидрологического режима рек (резкое сокращение зимнего водонакопления и весеннего половодья, аномальная летняя межень).

2. Уменьшение биотопического (экосистемного) разнообразия болот и упрощение их внутренней пространственной структуры за счет сокращения в 3,5 раза распространения стабильных открытых (нелесных) болот; активного развития лесов (+4,3 % от общей площади учтенных болот) и кустарников (+19,8 %); деградации и уничтожения местообитаний открытых водоемов, болотных топей (-0,3 %); сокращения за счет процессов естественного восстановления деградированных болот с сильно нарушенным и уничтоженным растительным покровом (-8,7 %).

3. Общая площадь болот, испытывающих воздействие от изменения климата, по нашим оценкам составляет 634,3 тыс. га или 57,5 % от общей площади.

4. Прогнозируется, что к 2050 г. доля стабильных открытых болот будет составлять около 5 % от общей площади, а болотные леса и кустарниковые заросли будут абсолютно доминировать в спектре фитоценотического и экосистемного разнообразия болот – 80,0 % (рис. 8).

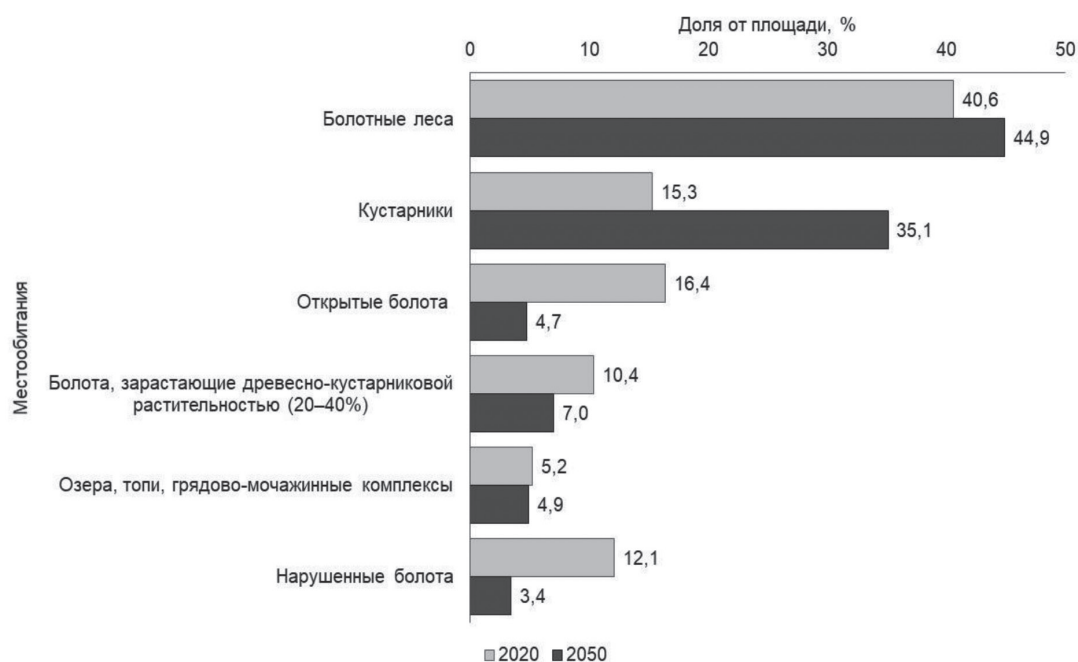


Рис. 8. Современная (по состоянию на 2020 г.) и прогнозная (на 2050 г.) структура биотопического разнообразия болот Беларуси

5. Изменения флоры болот будет контролироваться в большей степени не климатом напрямую, а через формирование подходящего местообитания, т.е. наличием или отсутствием болота определенного типа [22]. Именно состояние болот и их внутренняя пространственная структура будут определять видовое разнообразие растительного покрова болот и в значительной степени связанной с ней болотной фауны. Наибольшую прямую угрозу исчезновения (или существенного сокращения ареала распространения) будут иметь следующие группы растений: *Empetrum nigrum*-группа объединяет олиготрофные виды, характерные для высоких кочек и гряд; *Empetrum nigrum*, *Oxycoccus*

microcarpus, *Rubus chamaemorus*, *Sphagnum fuscum*; *Rhynchospora alba* объединяет: *Rhynchospora alba*, *Scheuchzeria palustris*, *Carex limosa*, *Drosera anglica*, *Sphagnum cuspidatum*, *Sph. balticum*, *Sph. majus*, *Hepaticae* (*Cladopodiella fluviatilis*, *Gymnocolea inflata* и др.). Группа характерна для сильно обводненных застойных мочажин олиготрофных болот.

В результате изменения климата и пространственной организации болот могут исчезать виды с ограниченной адаптационной способностью, узкоспециализированные, редкие. В частности, прогнозируется исчезновение и резкое сокращение распространения охраняемых видов растений [25]: *Carex buxbaumii* I (CR), *Betula nana* II (EN), *Rubus chamaemorus* II (EN), *Gymnocolea inflata* II (EN), *Carex pauciflora* III (VU), *Carex paupercula* III (VU); угрожаемое состояние (значительное сокращение распространения) [25]: *Carex davalliana* I (CR), *Nuphar pumila* II (EN), *Carex capillaris* II (EN), *Listera cordata* II (EN), *Baeothryon alpinum* III (VU), *Eriophorum gracile* III (VU), *Salix myrtilloides* III (VU), *Oxycoccus microcarpus* IV (NT), *Lycopodiella inundata* IV (NT), *Drosera anglica* LC. Вместе с тем изменение климата возможно положительно скажется на увеличении распространения ряда видов, включенных в Красную книгу Республики Беларусь [25]: *Coeloglossum viride* II (EN), *Liparis loeselii* II (EN), *Sphagnum molle* III (VU), *Viola uliginosa* IV (NT), *Dactylorhiza fuchsii* LC, *Utricularia minor* LC.

6. Более частыми могут стать пожары на болотах и заболоченных местообитаниях. Площадь болот, где существует высокий потенциал возникновения пожаров при неблагоприятных погодных климатических условиях, составляет 221,4 тыс. га.

Заключение. Проанализированы результаты инвентаризации современного состояния экосистем болот Беларуси. В концепции исследований в качестве индикатора состояния и динамики экосистем использовали структуру растительного покрова. Преобладают лесные болота, занимающие 397,7 тыс. га (36,1 %), площадь открытых (нелесных) болот составляет 330,3 тыс. га (29,9 %), нарушенных торфяников – 223,7 тыс. га (29,3 %). Выявлены земли общей площадью около 100 тыс. га (9,1 %), которые необходимо дополнительно обследовать для исключения из базы торфяников Беларуси.

Установлено, что соотношение площадей экосистем болот с различной степенью нарушенности растительного покрова следующее: с полностью уничтоженной естественной растительностью занимают 19,3 тыс. га (1,8 %); с сильнонарушенным растительным покровом – 300,3 тыс. га (27,2 %); со среденарушенным – 353,6 тыс. га (32,0 %); с естественной и слабонарушенной растительностью – 430 тыс. га (39,0 %). Площадь болот, где существует высокий потенциал возникновения пожаров при неблагоприятных погодных климатических условиях, составляет 221,4 тыс. га.

Прогнозируемые изменения биоразнообразия экосистем болот Беларуси прежде всего в сокращении площадей болот, наиболее зависимых от климата, – открытых (нелесных) таежных верховых болот, пойменных болот; уменьшении биотопического (экосистемного) разнообразия болот и упрощение их внутренней пространственной структуры. Общая площадь болот, испытывающих воздействия от изменения климата, по нашим оценкам составляет 634,3 тыс. га или 57,5 % от общей площади.

Список использованных источников

1. Схема распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 дек. 2015 г., № 1111 // О некоторых вопросах в области сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Sxema-torfjaniki.docx>. – Дата доступа: 15.02.2022.
2. Об охране и использовании торфяников [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 18 дек. 2019 г., N 272-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=N11900272&p1=1>. – Дата доступа: 15.02.2022.
3. Бамбалов, Н. Н. Современное использование болот и торфяных месторождений Беларуси / Н. Н. Бамбалов, Н. И. Тановицкая // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны : материалы междунар. науч.-практ. семинара, Минск, 30 сент.–1 окт. 2009 г. – Минск, 2009. – С. 17–24.
4. Картографирование болот Московской области по данным космической съемки высокого разрешения / А. А. Синрин [и др.] // Лесоведение. – 2014. – № 5. – С. 65–71.
5. Козулин, А. В. Современное состояние торфяников Беларуси / А. В. Козулин, Н. И. Тановицкая // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны: материалы III Междунар. науч. семинара, Минск–Гродно, 26–28 сент. 2018 г. – Минск, 2018. – С. 65–71.
6. Основные направления действий по сохранению и рациональному использованию болот России. М-во природных ресурсов Рос. Федерации. – М.: Рос. программа Междунар. бюро по сохран. водно-болотных угодий, 2003. – 24 с.
7. Углеродные кредиты и заболачивание деградированных торфяников. Климат – Биоразнообразие – Землепользование: теория и практика – уроки реализации пилотного проекта в Беларуси: [пер. с нем.] / ред.: Ф. Таннебергер, В. Вихтманн. – Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 2011. – XII. – 221 с.
8. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Main report / F. Parish [et al.] // Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International. – Wageningen, 2008. – 179 p.
9. Развитие платформы «Биоразнообразие болот Беларуси» на основе данных дистанционного зондирования и информационных технологий: концепция, методология, обзор тематических картографических продуктов / Д. Г. Груммо [и др.] // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использова-

ния и охраны: материалы IV Междунар. науч. семинара, Минск– Витебск, 22–24 сент. 2021 г. / Ин-т эксперимент. ботаники НАН Беларуси, Витеб. гос. ун-т им. П. М. Машерова. – Минск: Колорград, 2021. – С. 16–28.

10. База данных торфяники Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peatlands.by>. – Дата доступа: 15.02.2022.

11. Картографирование растительности болот и заболоченных земель Беларуси: методические подходы и результаты / Д.Г. Груммо [и др.] // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны: материалы IV Междунар. науч. семинара, Минск–Витебск, 22–24 сент. 2021 г. / Ин-т эксперимент. ботаники НАН Беларуси, Витеб. гос. ун-т им. П. М. Машерова. – Минск: Колорград, 2021. – С. 29–37.

12. Богдановская-Гиензф, И. Д. Растительный покров верховых болот Русской Прибалтики / И. Д. Богдановская-Гиензф // Труды Петергоф. естест.-науч. ин-та. – Л.: Главнаука, 1928. – № 5. – С. 265–377.

13. Цинзерлинг, Ю. Д. Растительность болот / Ю. Д. Цинзерлинг // Растительность СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. – С. 335–428.

14. Brundza, K. Kamanos: Hidrografija, stratigrafija ir augalija / K. Brundza. – Kaunas, 1937. – 268 s.

15. Табака, Л. В. Материалы к исследованию растительного покрова олиготрофных болот Приморской низменности Латвийской ССР / Л. В. Табака // Растительность Латвийской ССР. – 1955. – Т. 1, тр. 3. – С. 233–258.

16. Юрковская, Т. К. Краткий очерк растительности болот средней Карелии / Т. К. Юрковская // Торфяные болота Карелии: тр. Карельский филиал АН СССР. – 1959. – Вып. 15. – С. 108–124.

17. Кузнецов, О. Л. Тополого-экологическая классификация растительности болот Карелии (омбротрофные и олиготрофные сообщества) / О. Л. Кузнецов // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем восточной Финляндии: тр. Карельский НЦ РАН. – Петрозаводск. – 2005. – Вып. 8. – С. 15–46.

18. Кузнецов, О. Л. Топо-экологическая классификация растительности болот Карелии / О. Л. Кузнецов // Динамика болотных экосистем северной Евразии в голоцене: материалы симпозиума. – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2000. – С. 28–34.

19. Напреенко, М. Г. Флора и растительность верховых болот Калининградской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / М. Г. Напреенко. – Калининград, 2002. – 37 с.

20. Климанов, В. А. Динамика торфонакопления болотами Северной Евразии за последние 3000 лет / В. А. Климанов, А. А. Сиринов // Докл. Рос. акад. наук. – 1997. – Т. 354. – № 5. – С. 683–686.

21. Логинов, В. Ф. Прогноз изменений биоклиматического потенциала территории Беларуси на период 2016–2035 гг. / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 1. – С. 51–64.

22. Минаева, Т. Ю. Биологическое разнообразие болот и изменение климата / Минаева Т. Ю., Сиринов А. А. // Успехи современной биологии. – 2011. – Т. 131, № 4. – С. 393–406.

23. Laine, J. Effect of water-level drawdown on global climatic warming: northern peatlands / J. Laine // Ambio. 1996. – Vol. 25, N 3. – P. 179.

24. Peatlands and Climate Change / Struck M. (ed.) // Saarijaarvi: International Peat Society, 2008. – 223 p.

25. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / пред. редкол. И. М. Качановский. – 4-е изд. – Минск: БЭ імя Пётруся Броўкі, 2015. – 445 с.

Поступила 24.02.2022

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 582.32(476.2)

А. А. Сакович¹, М. С. Малько², Г. Ф. Рыковский³

¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

²Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь

³Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

ХОРОЛОГИЯ БРИОФЛОРЫ ПОЛЕСЬЯ: ДОЛГОТНАЯ СТРУКТУРА

Аннотация. Продолжение цикла публикаций по мохообразным Полесского региона (Беларусь, Украина, Россия). Рассмотрена долготная структура мохообразных Полесского региона, в результате анализа которого выделено 11 основных типов распространения и 10 промежуточных, а также группа гемикосмополитов и космополитов. Согласно долготной классификации, наибольшее количество видов приходится на широкоареальные бриофиты (циркумполярные, евро-азиатско-североамериканские, голарктические) – 56,6 %. Особенности географического расположения Полесья подчеркивают приокеанические (7,8 %) и европейские (4,6 %) бриофиты, обогащающие разнообразие бриофлоры региона. Вынесено предположение об основных миграционных путях неморальной бриофлоры, имеющих три основных направления (южное, юго- и северо-западное).

Ключевые слова: мохообразные, географический анализ, долготная структура, Полесье, геоэлемент, ареал, классификация, циркумполярный, приокеанический, голарктический

A. A. Sakovich¹, M. S. Mal'ko², G. F. Rykovsky³

¹Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus

²Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources, Minsk, Belarus

³V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

CHOROLOGY OF THE POLESIE BRYOFLORA: LONGITUDINAL STRUCTURE

Abstract. The article is a continuation of a series of publications on bryophytes of the Polesie region (Belarus, Ukraine, Russia). In this paper the longitudinal structure of the bryophyte regions of the Polish region is considered; as a result of the analysis 11 types of distribution and 10 intermediate ones, as well as a group of hemicosmopolitans and cosmopolitans are identified. According to the longitudinal reduction in the number of species, wide-range bryophytes (circumpolar, Eurasian-North American, Holarctic) account for 56.6 %. Features of the geographical location of Polesie are emphasized by oceanic (7.8 %) and European bryophytes (4.6 %), enriching the diversity of the region's bryoflora. An assumption was made about the main migration routes of the nemoral bryoflora, which have three main directions (southern, south- and north-western).

Keywords: bryophytes, geographical analysis, Polesie, geoelement, area, classification, circumpolar, oceanic, holarctic

A. A. Саковіч¹, М. С. Малько², Г. Ф. Рыкоўскі³

¹Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы, Гродна, Беларусь

²Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь

³Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча
Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь

ХАРАЛОГІЯ БРЫЯФЛОРЫ ПАЛЕССЯ: ДАЎГОТНАЯ СТРУКТУРА

Анатацыя. Працяг цыклу публікацый па мохападобных Палесскага рэгіёна (Беларусь, Украіна, Расія). Разгледжана даўготная структура мохападобных Палесскага рэгіёна, у выніку аналізу выдзелена 11 асноўных тыпаў распаўсюджвання і 10 прамежавых, а таксама група гемікаспапалітаў і каспапалітаў. Згодна даўготнай класіфікацыі, найбольшая колькасць відаў прыпадае на шырокаарэальныя брыяфіты (цыркумпалярныя, еўра-азіяцка-паўночнаамерыканскія, галарктычныя) – 56,6 %. Асаблівасці геаграфічнага размяшчэння Палесся падкрэсліваюць прыакіянічныя (7,8 %) і еўрапейскія (4,6 %) брыяфіты, якія ўзбагачаюць разнастайнасць брыяфлоры рэгіёна. Вынесена здагадка аб асноўных міграцыйных шляхах немаральнай брыяфлоры, якія маюць тры асноўныя напрамкі (паўднёвае, паўднёва- і паўночна-заходняе).

Ключавыя словы: мохападобныя, геаграфічны аналіз, даўготная структура, Палессе, геоэлемент, арэал, класіфікацыя, цыркумпалярны, прыакіянічны, галарктычны

Введение. Географический анализ долготных элементов Полесского региона является продолжением цикла публикаций посвященных мохообразным Полесья [1, 2]. Полесский регион – это уникальная историко-культурная и физико-географическая область на территории Полесской низменности. Согласно геоботаническому районированию, Полесье находится на стыке Евроазиатской (таежной) и Европейской (широколиственно лесной) геоботанических зон, что отражает специфику флористического состава региона. На севере Полесский регион граничит с зоной темнохвойных лесов, на юге и юго-востоке – с лесостепью. Соответственно Полесье – это своеобразный конгломерат

природных условий, который в совокупности с естественно историческими процессами прошлого предполагает наличие специфических особенностей в хорологической структуре мохообразных региона. Отличительной чертой работы является изучение бриофлоры естественного физико-географического района Полесья без учета административных границ. Такой подход позволяет наиболее полно оценить особенности хорологической структуры региона, связи региона с соседними фитохорионами, провести реконструкцию ее развития, а также оценить созологический статус видов. Цель работы – анализ актуальной долготной составляющей ареалов бриофитов Полесского региона. В статье рассматриваются только долготные геоэлементы мохообразных Полесья, зональные геоэлементы представлены ранее [3]. В данной публикации также приведено обобщение результатов по полной географической структуре (долготный и широтный компонент).

Материалы и методы. Физико-географическая характеристика изученного района, основные материалы и полевые методы исследования подробно описаны раньше [1, 2]. Материалом для работы послужил видовой бриологический состав Полесского региона в объеме 476 видов. Из анализа исключен субтропический вид – *Phaeoceros carolinianus* (неморально-субтропический). Бриофлористические исследования проводили на территории трех стран – Беларуси, Украины и России. Использовали стандартные камеральные методы исследования: гербаризация, определение с применением сравнительного морфо-анатомического подхода, таксономический, географический анализы. Оценку ареалам давали по методикам, описанным в [4–33 и др.], также учитывали распространение видов бриофитов на основании имеющейся информации в мировых флористических базах данных, а также отдельных бриологических базах (*Global Biodiversity Information Facility, The world flora online, American Bryophyte catalog, Nature Serve Explorer, Flora of North America*) [34–38]. В основе определения типа ареала по долготному принципу придерживались выявления «центра тяжести» или наиболее массовой встречаемости вида, также принимая во внимание экотопы и возможные центры происхождения видов. Для детализации ареала часто выделяли сложные составные типы ареалов (европейско-восточноазиатско-североамериканский, центрально-европейско-восточно-североамериканский и т.д.), руководствуясь работами [39–41]. Г. Ф. Рыковский выделял группу приатлантических видов, рассматривая вслед за А. С. Лазаренко их как экологическую группу. Основанием также послужило его предположение о распространении таких мохообразных в прошлом: «Ряд видов, имеющих в настоящее время центры массовости в океанических и субокеанических районах, могли в условиях более влажного климата умеренных широт Голарктики в неогене проникать далеко вглубь материков вплоть до образования циркумполярных ареалов. Учитывая это, в составе голарктической бриофлоры к субокеаническому элементу с большим основанием следовало бы отнести лишь амфиатлантические виды, у которых наиболее четко выражена приокеаническая (в условиях мягкого и влажного климата) приуроченность» [42]. В целом он рассматривал эту группу видов *sensu lato*, причисляя сюда бриофиты, имеющие выраженную приокеаническую приуроченность независимо от их общего распространения. Однако учитывая, что приокеанические виды являются европейско-американскими или евро-азиатско-североамериканскими и не заходят вглубь континентов за редкими исключениями, мы придерживались понятий «амфиокеанический» и «амфиатлантический» и рассматривали их в долготной классификации, тем самым подчеркивая их экологическую приуроченность.

В таблице представлены данные по ареалам мохообразных Полесья, где внутри зонально-генетической классификации рассматривали *распределение бриофитов по материкам* учитывая также и высотную составляющую. Во флоре Полесского региона выделены следующие типы *долготных* ареалов: **Циркумполярный** – включает виды, распространенные в пределах одной широтной зоны или соответствующего пояса в горах в пределах Северного полушария. При этом иногда даются более узкие ареалы, например, **циркумбореальный** – распространение которых, в большей мере совпадает с бореальной природной зоной. **Европейский** – виды, распространенные в Европе, Северной Африке и иногда на Кавказе. **Американский** – виды, встречающиеся в пределах Северной и Южной Америки. **Евро-азиатский** – виды, распространенные в Евразии. **Европейско-североамериканский** – виды, распространенные в Европе и Северной Америке. **Евро-азиатско-североамериканский** – виды, распространенные в Евразии и Северной Америке. **Европейско-американский** – виды, преимущественно распространенные в Европе и Северной Америке, а также нередко встречающиеся в Южной Америке. **Азиатско-североамериканский** – виды, распространенные в Евразии и Северной Америке. **Азиатско-американский** – виды, преимущественно распространенные в Азии, Северной и Южной Америке. **Евро-азиатско-американский** – виды, встречающиеся в Евразии, Северной и Южной Америке. **Голарктический** – виды, имеющие широкое распространение по всей Голарктике. **Амфиокеанический** – виды мохообразных, основные центры массовости которых приходятся на приокеанические районы, но иногда проникающие вглубь материков. **Амфиатлантический** – виды имеют отношение только лишь к берегам Атлантического океана. Территория Полесья согласно фло-

ристической системе А. Л. Тахтаджяна [43] относится к Голарктическому царству, Бореальному подцарству, Циркумбореальной области Восточноевропейской провинции.

Результаты и их обсуждение. Всего на территории Полесского региона в настоящее время известно 476 видов мохообразных из 183 родов, 78 семейств, 26 порядков, 5 классов, 3 отделов. Из них 370 видов представители отдела *Bryophyta*, 103 видами – *Marchantiophyta*, 3 вида – *Anthocerotophyta*.

Мохообразные в составе флоры Полесья в целом представляют 12 типов распространения и 10 промежуточных, а также выделена группа гемикосмополитов и космополитов. Основное большинство составляют виды с циркумполярным сплошным или близким к нему распространением (*sensu lato*). Сюда относятся 206 видов или 43,2 % видов бриофитов Полесья. Среди них голарктические – свыше 13,3 %, циркумполярные – 23,6 %, включая циркумбореальные виды (3,1 %), евроазиатско-североамериканские – 20 %, также высока доля космополитов и гемикосмополитов – 10,5 % (рис. 1, таблица).

Наибольшее число циркумполярных ареалов отмечено в бореальной (31 вид), неморальной (23) и соответственно бореально-неморальной (13) флоре. Циркумбореальный тип ареала характерен для некоторых бореальных видов (*Polytrichastrum longisetum*, *Herzogiella turphacea*, *Pohlia andalusica*, *Cynodontium strumiferum*), бореально-неморальных (*Dicranella cerviculata*), субаркто-монтанных (*Dicranum fuscescens*), а также выделен узкий с разрывами субциркумбореальный тип ареала у *Pseudocalliergon lycopodioides*.

В Европе, Азии и Северной Америке распространено с одной или двумя широкими дизъюнкциями 94 вида, из которых европейско-восточноазиатско-североамериканский – 1, европейско-североазиатско-североамериканских – 10, евроазиатско-североамериканских – 83. Ограниченных Европой, Азией, Северной и Южной Америкой – 10 видов, Азией, Северной и Южной Америкой – 1, амфиатлантических видов – 12, амфиокеанических – 26. Наибольшее число евро-азиатско-североамериканских видов представлено среди бореальной (45), неморальной (12), бореально-монтанной (10), аридной (8) и субарктической (8) флоры.

Остальные виды характеризуются более ограниченными и (или) широко дизъюнктивными в долготном, а иногда и в широтном направлениях ареалами. Европой ограничено 47 видов, из которых 43 – европейских, 3 – европейско-средиземноморских (бореальный *Brachythecium glareosum*, средиземноморско-неморальные *Homalothecium lutescens*, *Rhynchostegium murale*), 1 – средневропейский (*Plagiomnium undulatum*). Преобладают европейские ареалы закономерно среди неморальной и средиземноморско-неморальной бриофлоры.

За пределы Евразии не выходят ареалы 9 видов: аридная *Riccia ciliifera*, бореально-неморальная *Frullania dilatata*, неморальные *Leucodon sciurioides*, *Anomodon longifolius*, *Oxyrrhynchium hians*, неморально-монтанный *Homomallium incurvatum* и др. Более узкие типы ареалов отмечены у неморального *Eurhynchium angustirete* (европейско-восточноазиатский) и средиземноморско-неморального *Homalothecium sericeum* (европейско-среднеазиатский).

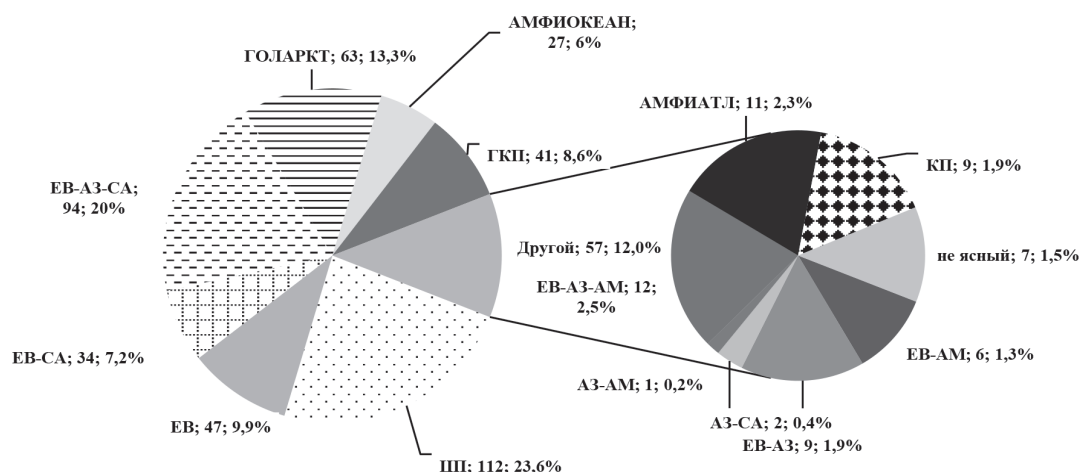


Рис. 1. Спектр долготных геоэлементов бриофлоры Полесского региона: **ЕВ** – европейский, **ЕВ-А3** – евро-азиатский, **ЕВ-СА** – европейско-североамериканский, **ЕВ-АМ** – европейско-американский, **ЕВ-А3-СА** – евро-азиатско-североамериканский, **ЕВ-А3-АМ** – евро-азиатско-американский, **А3-СА** – азиатско-североамериканский, **А3-АМ** – азиатско-американский, **АМФИАТЛ** – амфиатлантический, **АМФИОКЕАН** – амфиокеанический, **ГОЛАРКТ** – голарктический, **ЦП** – циркумполярный, **ГКП** – гемикосмополиты, **КП** – космополиты. Данные рядом с сегментом диаграммы указывают на количество таксонов и их долю в составе каждого геоэлемента

Распределение видов по элементам флоры

Распределение по материкам	Соляно-климатические зоны													Космополиты	Всего		
	Монтанные																
	Субарктические	Аркто-бореальные	Бореальные	Неморальные	Бореально-неморальные	Средиземноморско-неморальные	Аридные	Аркто-альпийский	Аркто-бореально-монтанный	Субаркто-бореально-монтанный	Бореально-бореально-монтанный	Бореально-неморально-монтанный	Неморально-монтанный			Средиземноморско-неморально-монтанный	
Циркумполярные а) Циркумбореальные	5	4	27	23	12	1	2	3	10	3	2	5	—	1	—	112	
	—	—	4	—	1	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	
Европейские а) Европейско-средиземноморские б) Среднеевропейские	—	—	4	16	1	8	7	—	—	1	1	2	—	2	—	47	
	—	—	1	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Европейско-североамериканские а) Европейско-западно-североамериканские б) Центральноевропейско-восточно-североамериканские	—	—	3	4	1	3	5	—	—	1	1	4	—	1	—	34	
	—	—	1	5	—	2	1	—	—	—	—	—	—	1	—	—	
Европейско-американские а) Среднеевропейско-американские	—	—	—	2	1	—	1	—	—	—	—	—	—	1	—	6	
	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Евро-азиатские а) Европейско-восточноазиатские б) Европейско-среднеазиатские	—	—	—	3	1	—	1	—	—	—	—	—	—	1	—	9	
	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Азиатско-североамериканские Азиатско-американские	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	
	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	
Евро-азиатско-североамериканские а) Европейско-восточноазиатско-североамериканские б) Европейско-североазиатско-североамериканские	8	1	36	10	2	1	8	2	1	1	—	10	2	2	—	94	
	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Евро-азиатско-американские Голарктические	—	—	3	6	—	—	—	—	—	—	—	2	—	1	—	12	
	—	1	34	3	5	1	4	5	—	1	2	5	—	2	—	63	
Амфиатлантические/амфиокеанические Гемикосмополиты	—	—	9	14	1	5	—	—	1	—	—	1	—	7	—	38	
	—	—	23	4	2	—	3	1	1	—	3	3	—	1	—	41	
Космополиты Не ясный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	
	—	—	2	3	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	7	
*Всего	13	6	159	99	27	25	34	11	13	9	9	32	2	23	4	9	475/475

*В анализе не участвуют субтропические виды.

Только в Европе и Северной Америке распространено 34 вида, из которых европейско-западно-североамериканских – 10 (неморальные *Syntrichia latifolia*, *Syntrichia virescens*, *Tortula subulata*, *Herzogiella seligeri*, *Orthotrichum lyellii*, аридные *Didymodon insulanus*, *Syntrichia montana*, средиземно-морско-неморальные – *Dicranoweisia cirrata*, *Entosthodon muhlenbergii*), центральноевропейско-восточно-североамериканских – 1 (неморальный *Physcomitrium eurystomum*).

Редкие типы ареалов представлены европейско-американскими, азиатско-североамериканскими, азиатско-американскими видами мохообразных. Европой и Америкой (sensu lato) ограничено 6 видов мохообразных (неморальные *Thuidium delicatulum*, *Kindbergia praelonga*, *Pelekium minutulum*, бореально-неморальный *Dicranella varia*, аридный *Syntrichia papillosa*, неморально-монтанная *Rhabdoweisia fugax*) (таблица). В Азии и Северной Америке встречаются бореальные бриофиты – *Bryum lonchocaulon* и *Pylaisia selwynii* (таблица). В Азии и Северной и Южной Америке встречается только неморальный *Haplocladium microphyllum* (таблица).

Таким образом, широкодизъюнктивные типы ареалов (долготные геоэлементы) характерны преимущественно для неморальных, средиземноморско-неморальных видов мохообразных (таблица), а также для ряда бореальных. Около 41 % представителей неморальной флоры имеют обширные долготные дизъюнкции или ограниченные ареалы. Долготные дизъюнкции отражают в основном пониженную активность неморальных видов бриофитов в голоцене, их ограниченные возможности в новой климатической обстановке, а отчасти также исторические особенности формирования. В целом же такие виды являются как бы в большей мере неморальными, чем циркумполярные в составе того же элемента [42]. Многие виды этих элементов редки и находятся в списке профилактической охраны (LC) Красной книги Европы [43].

Мохообразные с обширными ареалами занимают лидирующие позиции практически во всех геоэлементах Полесского региона (таблица), так как у мохообразных в целом более широкие ареалы в сравнении с цветковыми и другими сосудистыми растениями. Наличие у них таких широких ареалов в бриофлоре Полесья в большей мере имеет обобщенный голарктический характер, чем это присуще флоре сосудистых растений данного региона. Значительная доля бриофитов Полесья имеют европейские (9,9 %) и европейско-североамериканские (6,9 %) ареалы. Большая часть европейских видов представлена неморальными или средиземноморско-неморальными элементами (таблица). Наблюдается уменьшение участия европейской неморально-средиземноморской бриофлоры на востоке Полесского региона. Наиболее бедно представлено неморальными средиземноморскими видами Брянское Полесье.

Преобладающее количество видов с широкими ареалами представлено среди бореально-неморальной бриофлоры (рис. 2), что, вероятнее всего, связано с наибольшим количеством видов входящих в состав этих элементов, а также широким распространением бореальной и неморальной

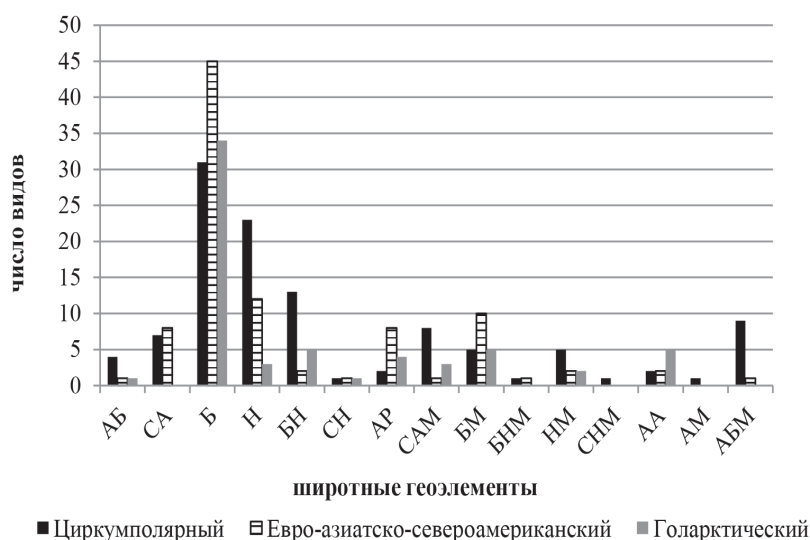


Рис. 2. Распределение бриофитов Полесского региона с широкими долготными ареалами по зонально-генетическим элементам: **АБ** – аркто-бореальный, **СА** – субарктический, **АА** – аркто-альпийский, **АМ** – аркто-монтанный, **АБМ** – аркто-бореально-монтанный, **САМ** – субаркто-монтанный, **Б** – бореальный, **БН** – бореально-неморальный, **БНМ** – бореально-неморально-монтанный, **БМ** – бореально-монтанный, **Н** – неморальный, **СН** – средиземноморско-неморальный, **НМ** – неморально-монтанный, **САМ** – субаркто-монтанный, **СНМ** – средиземноморско-неморально-монтанный, **АР** – аридный

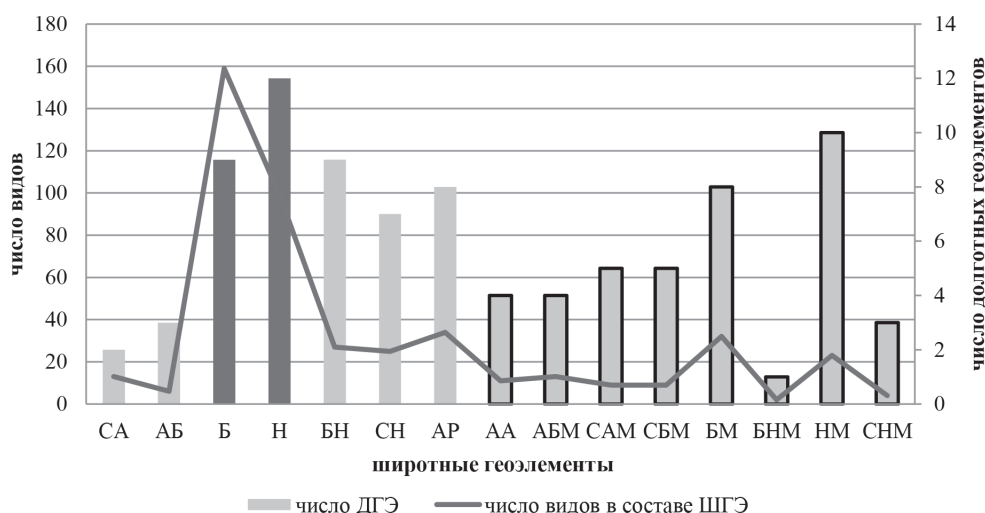


Рис. 3. Соотношение между числом видов и долготных геоэлементов в составе широтных геоэлементов: ДГЭ – долготные геоэлементы; ШГЭ – широтные геоэлементы. Черным контуром на диаграмме отмечены монтанные геоэлементы; темно-серым – геоэлементы с высоким таксономическим объемом

зоны в циркумбореальной области. Так, бореальная флора распространена по всему Полесью либо находится здесь на южных рубежах сплошного или островного распространения. Тогда как представители неморальной флоры обычно не играют существенной роли в напочвенном покрове.

Среди бореальных мохообразных представлены почти исключительно широко ареальные виды – евро-азиатско-американские (3 вида), евро-азиатско-североамериканские (45), циркумполярные (31), голарктические (34), а также гемикосмополиты (23), совместно представляющие более 80 % бореальных видов в регионе. Несколько более узкие ареалы имеют 22 вида. Амфиокеаническим и амфиатлантическим типом ареала характеризуются 9 видов, европейским – 5, из которых европейско-средиземноморским – 1, азиатско-североамериканским – 2, европейско-североамериканским – 4 (таблица).

При анализе распределения видов по географическим элементам рассмотрены отличия между широтными геоэлементами по таксономическому объему и разнообразию долготных геоэлементов в них. Выявлено, что в большинстве солярно-климатических элементов (широтные элементы) разнообразие не высокое. Однако отмечены некоторые закономерности. Чем больше количество видов представлено внутри широтного геоэлемента, тем выше разнообразие типов ареалов по материкам (долготных геоэлементов). Между тем максимальным таксономическим объемом характеризуются неморальный и бореальный геоэлементы, тогда как наибольшее разнообразие типов ареалов определено среди неморальных мохообразных, хотя бореальная бриофлора преобладает в выборке практически вдвое (таблица, рис. 3). На наш взгляд, это связано с климато-историческими факторами. Ландшафтно-климатические изменения, происходившие на территории Центральной и Восточной Европы в плейстоцене и голоцене, значительно сказались на современном бриофлористическом составе территории. Как указывал А. Л. Тахтаджян [44], в послеледниковое время заселение видов происходило с реликтовых центров – возвышенных мест, не подвергшихся оледенению, в том числе с реликтовых центров соседних провинций [44] (Центрально-Европейской, Кавказской), отличающихся высоким эндемизмом. Таким образом, основные пути миграций на территорию Беларуси проходили по южному и юго-западному, а также северо-западному направлениям. Это предположение подтверждается наличием в составе неморальной бриофлоры Полесья большого количества европейско-средиземноморских и приатлантических видов, а также присутствием неморальных эндемиков, которые находятся на восточных границах своих ареалов – *Physcomitrium arenicola*, *Homalia webbiana*, *Stereodon fertilis*. Данные миграционные вектора, вероятнее всего, и определяют повышенное разнообразие долготных типов ареалов неморальной бриофлоры Полесья.

Особенностью географической структуры Полесского региона являются приокеанические (амфиатлантические (2,5 %) и амфиокеанические (5,4%)) бриофиты. В бриофлоре Полесья амфиокеанические виды – это преимущественно печеночники, тогда как амфиатлантические – мхи, что закономерно в связи с более высокой зависимостью печеночников от температуры и влаги. Эту закономерность также подтверждает значительно более высокая доля печеночников среди приокеанических видов (61,5 %) флоры мохообразных Полесья. Наибольшее количество приокеанических

видов представлено среди неморального (14 видов), бореального (9), а также неморально-монтанного (7) геоэлементов.

Среди неморальных мохообразных 6 видов амфиатлантических (*Physcomitrium pyriforme*, *Atrichum angustatum*, *Bryum warneum*, *Dicranum fulvum* и др.), 8 амфиокеанических (*Calypogeia azurea*, *Riccia beyrichiana*, *Cephalozia connivens* и др.). К бореальным амфиокеаническим видам отнесены: *Calypogeia fissa*, *Cephaloziella elachista*, *Pohlia campototrachela*, *Dicranella rufescens*, *Dichelyma capillaceum*, амфиатлантическим – *Dicranum spurium*. Однако согласно последним данным, ареал *D. capillaceum* значительно шире [32], что требует дальнейшего изучения распространения этого вида. Ранее по данным N. Ingerpuu, K. Vellak [31] *D. capillaceum* относили еще к более узкому ареалу – амфиатлантическому. Среди сфагновых мхов амфиокеаническим типом ареала характеризуется *Sphagnum subnitens*, *Sph. tenellum*, амфиатлантическим – *Sph. molle*.

Приокеанические виды неморально-монтанного геоэлемента представлены 2 амфиатлантическими видами – *Ulota coarctata* и *Serpoleskea confervoides* и 5 амфиокеаническими – *Bazzania trilobata*, *Nowellia curvifolia*, *Cephalozia catenulata*, *Trichocolea tomentella*, *Pallavicinia lyellii*.

В целом отмечена тенденция уменьшения количества приокеанических видов при продвижении с запада на восток по территории региона, что, скорее всего, связано с уменьшением влияния атлантических воздушных масс и нарастанием континентальности климата в этом направлении. Также среди приокеанических бриевых мхов в Полесье почти нет доминантов напочвенного покрова, причем размещение их носит чаще всего фрагментарный характер.

Такого рода участие в растительном покрове присуще вообще приокеаническим видам флоры мохообразных Полесской низменности. Так, приокеанические печеночники произрастают во влажных и заболоченных, чаще достаточно тенистых лесах на почве и гниющей древесине, некоторые на стволах лиственных деревьев. Другим характерным типом их экотопов являются влажные и сырые обнаженные или слабо задернованные участки почвы на открытых местах и в лесах, а также болота различного типа питания.

Приокеанические сфагновые мхи – обитатели болот разного типа питания и разной степени увлажнения, некоторые из них также участвуют в образовании озерных сплавин. Экология приокеанических бриевых мхов разнообразна. Они встречаются от довольно сухих и открытых экотопов до тенистых лесов и водоемов. Однако настоящие гелофиты среди них отсутствуют.

Также среди приокеанических бриевых мхов в Полесье почти нет доминантов напочвенного покрова, причем размещение их носит чаще всего фрагментарный характер. Такого рода участие в растительном покрове присуще вообще приокеаническим видам флоры мохообразных Полесской низменности. Среди мохообразных данной экогруппы 31 % составляют представители монтанной группы элементов (бореально-монтанные, неморально-монтанные, аркто-бореально-монтанные), неморальной – 28 %, бореальной – 25 %.

Выводы. 1. Бриофлора Полесского региона характеризуется как бореально-неморальная с бореальным аспектом. Наименьшее участие в географической структуре принимают аридные (7,16 %), средиземноморско-неморальные (5,26 %), субарктические (2,74 %) и аркто-бореальные (1,26 %) виды. Отличительные черты географического расположения Полесья подчеркивают бриофиты, имеющие связи с горами (20 %), а также виды аридного и субарктического генезиса. Аридные и монтанные бриофиты находят себе здесь рефугиумы в виде фрагментарных открытых песчаных участков, известняков, меловых обнажений, различного каменистого материала, в том числе старых бетонных сооружений. Наибольшее количество монтанных видов сосредоточено среди бореально-монтанных и неморально-монтанных геоэлементов, что закономерно, учитывая зональную приуроченность бриофлоры Полесья и количественной составляющей этих элементов. Отмечено, что субарктические виды в основном находятся на границах ареалов, а арктоальпийские виды в большинстве своем представлены гляциальными реликтами.

2. Согласно таксономическому анализу получены низкие показатели видовой представленности семейств бореально-неморальных видов, что связано с адаптивной радиацией таксонов данного элемента. Повышенную пластичность к новым условиям проявляют лишь некоторые виды отдельных родов, успешно встраиваясь в состав другой флоры, но не утрачивая при этом своих связей с исходной флорой. Также слабая видовая насыщенность семейств отмечена и среди монтанного элемента у неморально-монтанных видов, что связано с расположением этого пояса на низких высотах и степенью стеноитопности к горам – у неморально-монтанных она ниже, чем у бореально-монтанных видов.

3. В результате анализа распределения ареалов бриофитов на территории Полесского региона отмечено преобладание видов, приуроченных к более северным районам. Выявлено преобладание группы холодостойких и умеренно-холодостойких геоэлементов (52,8 %) над группой умеренных более термофильных бриофитов (38,7 %).

4. Анализ динамики геоэлементов в пределах исследуемой территории выявил два направления их изменения: в широтном и долготном. Так, уменьшается количество монтанных и аридных видов с юга на север. Такие изменения прежде всего связаны с зональными и эдафо-орографическими особенностями территории: отдалением от степной зоны и Карпатской горной системы. В направлении с запада на восток отмечено уменьшение количества средиземноморско-неморальных, амфиокеанических и амфиатлантических видов, а также горных бриофитов, что указывает на изменение градиента континентальности климата при продвижении вглубь континента.

5. Согласно долготному географическому анализу, ядро бриофлоры составляют широко ареальные бриофиты (циркумполярные, евро-азиатско-североамериканские, голарктические) – 56,6 %, что отражает в целом голарктический характер бриофлоры Полесского региона. Специфику бриофлоре Полесья придают европейские виды (10 %), а также достаточно редкие для Полесья европейско-американские (1,3 %), азиатско-американские (0,6 %) и евро-азиатско-американские (2,5 %) бриофиты.

6. Отмечено, что максимальным таксономическим объемом характеризуется бореальный геоэлемент, тогда как наибольшим разнообразием по долготным типам ареалов – неморальный. Это указывает на значительное участие неморальной бриофлоры в голоцене, а также миграционный потенциал соседних территорий. Предполагаемые пути миграций неморальных видов на территорию Беларуси проходили по южному, юго- и северо-западным направлениям, что подтверждается наличием в составе бриофлоры Полесья европейско-средиземноморских и приатлантических бриофитов, а также европейских эндемиков.

7. Своеобразие географической структуре Полесского региона приносят приокеанические виды (7,8 %), встречающиеся во влажных и заболоченных тенистых лесах на почве и гниющей древесине, влажных и сырых обнаженных или слабо задернованных участках почвы, болотах различного типа питания с микроклиматом имитирующим океанический, а также европейские неморальные и средиземноморско-неморальные бриофиты (4,6 %), многие из которых находятся на границах своего ареала, обогащающие тем самым разнообразие бриофлоры региона.

Список использованных источников

1. Рыковский, Г. Ф. Эпифитный компонент бриофлоры Полесского региона / Г. Ф. Рыковский, М. С. Малько, А. А. Сакович // Природные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 49–57.
2. Рыковский, Г. Ф. Эпиксильный компонент бриофлоры Полесского региона / Г. Ф. Рыковский, М. С. Малько, А. А. Сакович // Разнообразие растительного мира. – Брянск, 2021. – № 3 (10). – С. 5–27.
3. Сакович, А. А. Хорология бриофлоры Полесья: широтная структура / А. А. Сакович, М. С. Малько, Г. Ф. Рыковский // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 5. Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. – 2023. – Т. 13. – № 2.
4. Анищенко, Л. Н. Мохообразные лесоболотных комплексов Неруссо-Деснянского Полесья / Л. Н. Анищенко // Бюл. Брянского отделения РБО. – Брянск, 2018. – № 3 (15). – С. 3–12.
5. Бакалин, В. А. Флора и фитогеография печеночников (Marchantiophyta, Antocerotophyta) Камчатки и прилегающих островов / В. А. Бакалин. – Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 367 с.
6. Бардунов, Л. В. Географо-генетические элементы бриофлоры СССР / Л. В. Бардунов, У. К. Маматкулов // Бриолия в СССР, ее достижения и перспективы: материалы конф. к 90-летию А. С. Лазаренко. – Львов, 1991. – С. 23–26.
7. Бойко, М. Ф. Чекліст мохоподібних України / М. Ф. Бойко. – Херсон, 2008. – 232 с.
8. Бойко, М. Ф. Анотований список мохоподібних Лівобережного Полісся (Україна) / М. Ф. Бойко // Черноморск. ботанич. журн. 2011. – Т. 7. – № 2.
9. Вирченко, В. М. Список печеночников, антоцеротовых и сфагновых мхов Украины / В. М. Вирченко, И. Ваня. – Киев, 2000. – 31 с.
10. Вирченко, В. М. Мохоподібні природно-заповідних територій Українського Полісся / В. М. Вирченко. – Київ, 2014. – 224 с.
11. Зеров, Д. К. Мохоподібні Українських Карпат / Д. К. Зеров, Л. Я. Партика. – Київ, 1975. – 230 с.
12. Флора мхов средней части европейской России / М. С. Игнатов [и др.]; Т. 1–2. – М., 2003–2004. – С. 1–608, 609–944. (Арктоа т. 11, приложение 1–2).
13. Константинова, Н. А. Анализ ареалов печеночников Севера Голарктики / Н. А. Константинова // Арктоа. – 2000. – 9. – С. 29–94.
14. Лазаренко, А. С. Неморальный элемент бриофлоры Советского Дальнего Востока / А. С. Лазаренко // Совет. ботаника. – 1944. – Т. 6. – С. 43–55.
15. Лазаренко, А. С. Основи засади класифікації ареалів листяних мохів Радянського Далекого Сходу / А. С. Лазаренко // Укр. ботанич. журн. – 1956. – Т. 13, № 1. – С. 31–40.
16. Мамонтов, Ю. С. До поширення *Moerckia flotoviana* (Nees) Schiffn. (Moerckiacae, Marchantiophyta) / Ю. С. Мамонтов, Н. А. Константинова // Черноморск. ботанич. журн. 2012. – Т. 8, № 1. – С. 38–48.
17. Масловский, О. М. Бриокомплексы Беларуси в системе флор мохообразных Восточной Европы / О. М. Масловский; под ред. В. И. Парфенова, Г. Ф. Рыковского; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперимент. ботаники им. В. Ф. Купаревича. – Минск, 2022. – 532 с.
18. Мельничук, В. М. Реліктові місцезнаходження деяких видів листяних мохів у Львівській області / В. М. Мельничук. // Наук. зап. Науково-природознавчого музею АН УРСР. – 1962. – Т. 10. – С. 63–69.

19. Партика, Л. Я. Арктобореальный элемент брiофлоры Украинських Карпат / Л. Я. Партика, К. О. Улична // Укр. ботанич. журн. – 1983. – Т. 40, № 3. – С. 48–51.
20. Попов, М. Г. Очерк растительности и флоры Карпат / М. Г. Попов. – М., 1949. – 303 с.
21. Потемкин, А. Д. Печеночники и антоцеротовые России / А. Д. Потемкин, Е. В. Софронова. – СПб.–Якутск, 2009. – Т. 1. – 368 с.
22. Рыковский, Г. Ф. Флора Беларуси. Мохообразные / Г. Ф. Рыковский, О. М. Масловский; в 2 т. – Минск, 2004. – 437 с.; – 2009. – 213 с.
23. Слободян, М. П. До брiогеографii захiдного Подiлля, Опiлля, Покуття / М. П. Слободян // Наук. зап. Львiв. природн. музею АН УРСР. – 1951. – № 1. – С. 66–90.
24. Czernyadjeva, I. V. *Dichelyma capillaceum* (Dicks.) Myr. (Musci) in Russia / I. V. Czernyadjeva // *Arctoa*. – 2002. – Vol. 11. – P. 87–89.
25. Glime, J. M. Aquatic and Wet Marchantiophyta Order Jungermanniales: Lophocoleineae, Part 2, Myliineae, Perssoniellineae / J. M. Glime // *Bryophyte Ecology Subchapters*. – 2021. – Vol. 4. – Ch. 1–6. – 242 p.
26. Gradstein, R. The genus *Riccardia* (Aneuraceae) in Colombia and Ecuador / R. Gradstein, C. Reeb // *Cryptogamie, Bryologie*. – 2018. – Vol. 39 (4). – P. 515–540.
27. Hedenäs, L. Global relationships and European phylogeography in the *Kindbergia praelonga* complex (Brachytheciaceae, Bryophyta) / L. Hedenäs // *Tropical Bryology*, 2010. – Vol. 31. – P. 81–90.
28. An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia / M. O. Hill [et al.] // *Journal of Bryology*. – 2006. – Vol. 28. P. 198–267.
29. Ignatov, M. S. Moss diversity in the Western and Northern Palearctic / M. S. Ignatov // *Arctoa*. – 2001. – Vol. 10. – P. 219–236.
30. Ignatov, M. S. Moss diversity patterns on the territory of the former USSR / M. S. Ignatov // *Arctoa*. – 1993. – Vol. 2. – P. 13–49.
31. Ingerpuu, N. Eesti sammalde määraja / N. Ingerpuu, K. Vellak. – Tartu, 1998. – 239 p.
32. Lapshina, E. D. The ecological and phytocenotic preferences of *Dichelyma capillaceum* (Fontinalaceae, Bryophyta) in West Siberia / E. D. Lapshina // *Arctoa*. – 2015. – Vol. 24. – P. 210–215.
33. Miller, H. A. The phylogeny and distribution of the musci / H. A. Miller // *Bryophyte syst. Int. Symp.* – London e.a., 1979. – P. 11–42.
34. Global Biodiversity Information Facility. – Режим доступа: <https://www.gbif.org/>. – Дата доступа: 24.02.2021.
35. The world flora online. – Режим доступа: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0001195848#B>. – Дата доступа: 24.02.2021.
36. American Bryophyte catalog. – Режим доступа: <https://sciweb.nybg.org/science2/hcol/bryo/index.aspp.html>. – Дата доступа: 24.02.2021.
37. Nature Serve Explorer. – Режим доступа: <https://explorer.natureserve.org/>. – Дата доступа: 24.02.2021.
38. Flora of North America. – Режим доступа: http://www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=1. – Дата доступа: 10.05.2021.
39. Городков, К. Б. Типы ареалов насекомых тундры лесных зон Европейской части СССР / К. Б. Городков // Ареалы насекомых европейской части СССР. – Л., 1984. – С. 3–20.
40. Киселев, В. Н. Биогеография с основами экологии: учеб. пособие / В. Н. Киселев. – Минск, 1995. – 350 с.
41. Толмачев, А. И. Введение в географию растений / А. И. Толмачев. – Л., 1974. – 244 с.
42. Рыковский, Г. Ф. Происхождение и эволюция мохообразных с оценкой современного состояния и генезиса брiофлоры: дис. ... д-ра наук: 03.00.05 / Г. Ф. Рыковский. – Минск, 1993. – 1153 с.
43. A miniature world in decline European Red List of Mosses, Liverworts and Hornworts / N. Hodgetts [et al.] – Brussels, Belgium: IUCN, 2019. – 88 p.
44. Тахтаджян, А. Л. Флористические области земли / А. Л. Тахтаджян. – Л., 1976. – 248 с.

Поступила 28.07.2022

А. А. Шейко, С. В. Буга

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: zoo@bsu.by

**ВИДОВОЙ СОСТАВ И БИОТОПИЧЕСКИЕ ГРУППЫ ШМЕЛЕЙ (*BOMBUS* LATR. S.L.)
В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «НАРОЧАНСКИЙ»**

Аннотация. В Национальном парке «Нарочанский» в качестве посетителей цветков и соцветий энтомофильных растений зарегистрировано 22 вида шмелей (*Bombus* Latr. s.l.), в том числе 17 видов собственно шмелей (*Bombus* Latr. s.str.) и 5 – шмелей-кукушек (*Psithyrus* Lep.). *Bombus pomorum* (Panzer, 1805), *Bombus ruderatus* (Fabricius, 1775) и *Bombus semenoviellus* (Skorikov, 1910) впервые отмечены на территории Национального парка. Уровень видового богатства шмелей максимален на разнотравных лугах (20 видов), ниже – на суходольных лугах и лесных опушках (по 16 видов), минимален (14 видов) – обочинах дорог. Наибольшим уровнем сходства видового состава характеризуются комплексы шмелей разнотравных и суходольных лугов (значение коэффициента Жаккара (K_J) – 0,8). В составе комплексов шмелей разнотравных и суходольных лугов, лесных опушек и обочин дорог преобладают эвритопные виды, максимально их относительное видовое богатство в составе комплекса шмелей обочин дорог. Наибольший уровень относительного обилия свойствен *Bombus lucorum* (Linnaeus, 1761) на лесных опушках (38,32 %), обочинах дорог (20,54 %), разнотравных лугах (17,37 %) и *Bombus lapidarius* (Linnaeus, 1758) – на суходольных лугах (19,61 %).

Ключевые слова: Белорусское Поозерье, биологическое разнообразие, опылители, особо охраняемые территории, пчелиные

A. A. Sheiko, S. V. Buga

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: zoo@bsu.by

**SPECIES COMPOSITION AND BIOTOPIC GROUPS OF BUMBLEBEES (*BOMBUS* LATR. S.L.)
IN NARACHANSKY NATIONAL PARK**

Abstract. In Narachansky national park 22 species of bumblebees (*Bombus* Latr. s.l.), including 17 species of *Bombus* Latr. s.str. and 5 species of *Psithyrus* Lep. have been recorded as visitors to flowers and inflorescences of entomophilous plants. *Bombus pomorum* (Panzer, 1805), *Bombus ruderatus* (Fabricius, 1775), and *Bombus semenoviellus* (Skorikov, 1910) were recorded in the national park for the first time. Bumblebee species richness is highest in mixed grass meadows (20 species), lower in upland meadows and forest edges (16 species each) and lowest (14 species) on roadsides. The complexes of bumblebees of mixed grass and upland meadows are characterized by the highest level of similarity of the species composition (Jaccard coefficient (K_J) is 0.8). Eurytopic species predominate in the bumblebee complexes of mixed grass and upland meadows, forest edges and roadsides; their relative species richness is maximum in the complexes of bumblebees on roadsides. *Bombus lucorum* (Linnaeus, 1761) had the highest level of relative abundance in all the open area biotopes in the national park.

Keywords: Belarusian Lakeland, biodiversity, pollinators, protected nature areas, bees

Г. А. Шэйко, С. У. Буга

Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: zoo@bsu.by

**ВІДАВЫ СКЛАД І БІЯТАПІЧНЫЯ ГРУПЫ ЧМЯЛЁЎ (*BOMBUS* LATR. S.L.)
У НАЦЫЯНАЛЬНЫМ ПАРКУ «НАРАЧАНСКІ»**

Анатацыя. У Нацыянальным парку «Нарачанскі» ва ўмовах біятопаў адкрытага тыпу зарэгістраваны 22 віды *Bombus* Latr. s.l. (у тым ліку 17 відаў *Bombus* Latr. s.str. і 5 – *Psithyrus* Lep.), якія наведваюць кветкі і суквецці энтамафільных раслін. *Bombus pomorum* (Panzer, 1805), *Bombus ruderatus* (Fabricius, 1775) і *Bombus semenoviellus* (Skorikov, 1910) упершыню адзначаны на тэрыторыі Нацыянальнага парка. Узровень відавoga багацця чмялёў максімальны на разнотраўных лугах (20 відаў), ніжэй – на суходольных лугах і ўзлесках (па 16 відаў), мінімальны (14 відаў) – па абочынах дарог. Найбольшым узроўнем падабенства відавoga складу характарызуюцца комплексы чмялёў рознотраўных і суходольных лугоў (значэнне каэфіцыента Жаккара (K_J) – 0,8). У складзе комплексаў чмялёў рознотраўных і суходольных лугоў, лясных узлескаў і абочын дарог пераважаюць эўрытопныя віды, максімальна іх адноснае відавoga багацце ў складзе комплексу чмялёў абочын дарог. Найбольшы ўзровень адноснага багацця (relative abundance) уласцівы *Bombus lucorum* (Linnaeus, 1761) на лясных узлесках (38,32 %), абочынах дарог (20,54 %), рознотраўных лугах (17,37 %) і *Bombus lapidarius* (Linnaeus, 1758) – на лугах (19,61 %).

Ключавыя словы: Беларускае Паазер'е, біялагічная разнастайнасць, апыляльнікі, асобна ахоўныя тэрыторыі, пчаліныя

Введение. Одним из приоритетных направлений научной деятельности является инвентаризация и мониторинг биоразнообразия особо охраняемых природных территорий, в том числе проведение эколого-фаунистических исследований животных различных эколого-систематических групп с целью аккумуляции информации о структурно-функциональной организации природных экосистем для разработки стратегий охраны биоразнообразия и рационального использования биоресурсов.

В большей степени актуальны исследования малоизученных таксонов, представители которых играют ключевую роль в функционировании естественных биоценозов. Высшие пчелиные (Hymenoptera, Apidae), к которым относятся шмели (*Bombus* Latr. s.str.) и шмели-кукушки (*Psithyrus* Lep.), выступая как основные и наиболее эффективные опылители, вносят значимый вклад в сохранение биоразнообразия и обеспечивают поддержание популяций многих энтомофильных цветковых растений [1], в том числе редких и охраняемых [2]. Исследования таксономического состава, биологии и экологии шмелей будет способствовать более эффективному использованию данных насекомых в природоохранных целях. Шмелей также можно использовать в качестве индикаторов для оценки состояния природных [3–6] и антропогенных [7, 8] экосистем. Они быстро реагируют на антропогенную трансформацию заселяемых ими биотопов сокращением распространения и снижением видового разнообразия [9]. Однако использование методов биоиндикации невозможно без фаунистических данных, чем определяется актуальность выяснения видового состава, изучения биологических и экологических особенностей шмелей одной из особо охраняемых природных территорий (ООПТ) – Национального парка «Нарочанский».

Данный Национальный парк создан в 1999 г. с целью сохранения уникальных природных комплексов в северо-западной части Белорусского Поозерья. На сегодняшний день наиболее полно изучены состав, биология и экология шмелей северной и северо-восточной части Белорусского Поозерья [10]: в частности, А. А. Лакотко указывает 31 вид шмелей, зарегистрированных в условиях региона. Существуют фрагментарная информация о видовом составе шмелей и шмелей-кукушек Национального парка [11, 12]. Лишь для ландшафтного заказника «Голубые озера» О. В. Прищепчиком [11] отмечено 18 видов шмелей и 7 видов шмелей-кукушек. Целенаправленных эколого-фаунистических исследований высших пчелиных (Hymenoptera, Apidae) на основной территории этой ООПТ ранее не проводилось. Цель работы – изучение видового разнообразия и биотопического распределения шмелей и шмелей-кукушек в условиях Национального парка «Нарочанский».

Материал. Энтомологический материал, использованный при подготовке данной работы, коллектирован в течение полевых сезонов 2019–2021 гг. Основной метод сбора материала – последовательный безвыборочный вылов шмелей и шмелей-кукушек в различных биотопах во время посещения ими цветков и соцветий энтомофильных растений. Имаго перепончатокрылых данного таксона собирали с соцветий вручную в погодные дни в течение временного интервала 10–18 ч, в период активности антофильных перепончатокрылых.

Для географической привязки, аккумуляции и обработки геоинформационных данных применяли мобильные приложения ArcGIS Collector и ArcGIS FieldMap пакета программных продуктов семейства ArcGIS, используемые научным отделом Государственного природоохранного учреждения «Национальный парк «Нарочанский» [13]. На основе данных, вносимых с мобильных приложений, средствами геопортала Portal for ArcGIS сгенерирована представленная на рис. 1 карта точек сбора энтомологического материала на территории парка.

Сборы жалоносных перепончатокрылых выполняли преимущественно в условиях открытых биотопов, к числу которых может быть отнесен их широкий спектр. При их разграничении мы опирались на классификацию EUNIS, использованную сотрудниками Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси при создании карты биотопического разнообразия Национального парка «Нарочанский» [14]. Охваченные исследованиями биотопы сгруппированы следующим образом: разнотравные луга; суходольные луга; обочины дорог; опушки лесов.

Таксономическую принадлежность коллектированных перепончатокрылых устанавливали по соответствующим определительным ключам [15, 16]. Для подтверждения достоверности видовой идентификации использовали справочную коллекцию антофильных насекомых кандидата биологических наук, доцента кафедры зоологии В. И. Хвира, которому мы признательны за предоставленную возможность. В настоящее время энтомологические материалы хранятся на кафедре зоологии Белорусского государственного университета.

Объем собранного и обработанного материала составляет 557 экземпляров шмелей. Для оценки относительного обилия видов шмелей, коллектированных в Национальном парке «Нарочанский», использовали показатель относительного обилия (доля особей в выборке (I_d , %)) и предложенная Ю. А. Песенко [17], ограниченная сверху пятибалльная логарифмическая шкала: виды с обилием 5 баллов относили к группе доминантов; 4 – многочисленных; 3 – обычных; 2 – малочисленных и 1 балл – единичных видов. Сходство между выборками с различных биотопов определяли с использованием индекса Жаккара (K_j). Расчеты индексов и построение дендрограмм сходства осуществляли средствами программного пакета PAST 4 [18]. Принадлежность отдельных видов к различным экологическим группам (лесные, луговые, эвритопные) учитывали согласно данным по биотопическому распределению видов, приводимым А. А. Лакотко для территории Белорусского Поозерья [10].

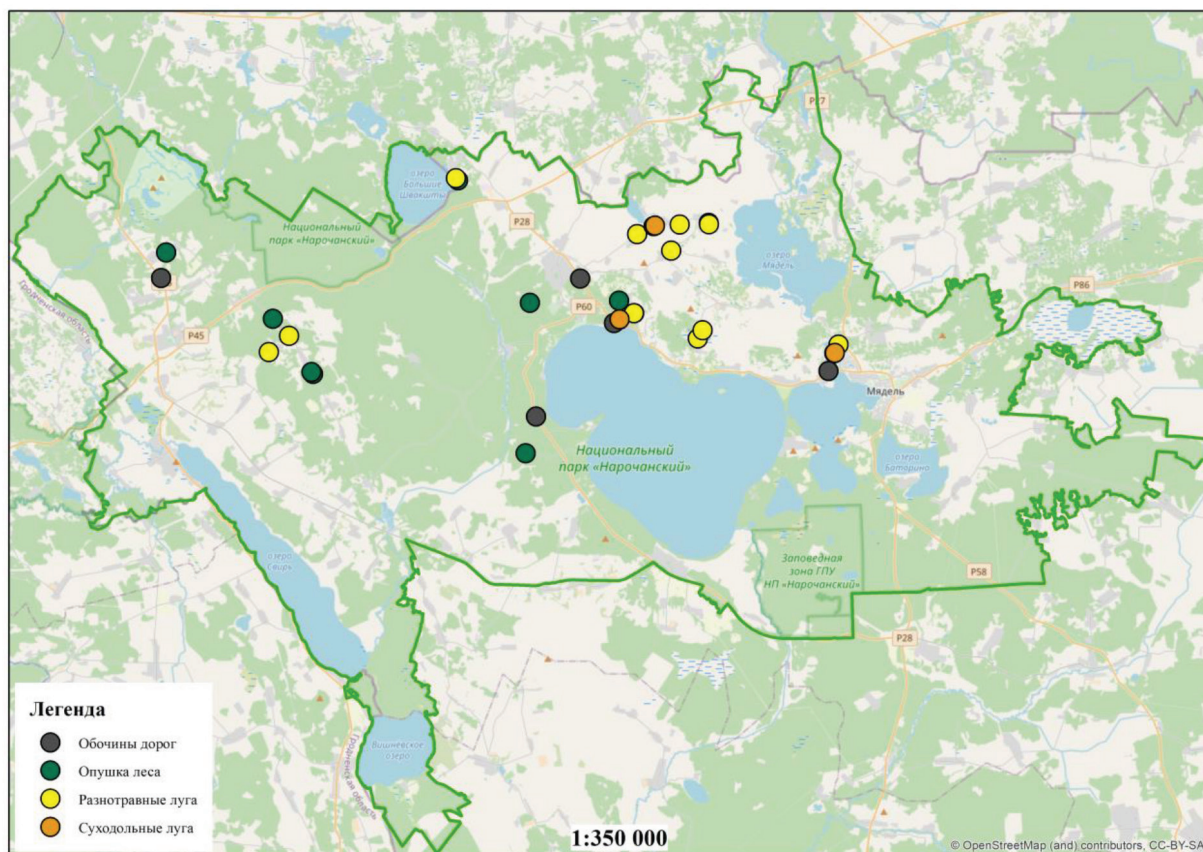


Рис. 1. Точки регистраций шмелей, посещающих цветки и соцветия энтомофильных растений на территории Национального парка «Нарочанский»

Результаты и их обсуждение. В разнотипных биотопах Национального парка «Нарочанский» было зарегистрировано 22 вида шмелей (*Bombus* s.l.), среди которых 5 – шмели-кукушки (*Psithyrus*) (видовой состав, относительное обилие, а также объем выборок для каждого вида отражены в табл.1). Сравнивая наши результаты с данными А. А. Лакотко по видовому составу шмелей Белорусского Поозерья [10] и О. В. Прищепчика – ландшафтного заказника «Голубые озера» [11], можно высказать предположение, что меньшее число видов связано с отсутствием сборов во влажных и заливных лугах, в биотопах других типов. Стоит отметить, что в работах А. А. Лакотко и О. В. Прищепчика *Bombus rotundus* не указан, на основе имеющихся данных по экологии [20], он отнесен к группе эвритопных видов шмелей. Также для территории ландшафтного заказника «Голубые озера» не указаны *Bombus ruders* и *Bombus semenoviellus*. Таким образом, 3 вида шмелей отмечены нами на территории Национального парка впервые.

Распределение видов шмелей по баллам относительного обилия, визуализированное на рис. 2, в соответствующих биотопах различается. В большинстве из них высоко число обычных и единичных видов. Во всех комплексах присутствуют виды со всеми баллами обилия, кроме 5-го, т. е. в их составе отсутствуют доминантные виды.

Т а б л и ц а 1. Видовой состав и относительное обилие шмелей в условиях разного типа биотопов Национального парка «Нарочанский»

Вид	Биотопическая группа	Разнотравные луга			Суходольные луга			Обочины дорог			Опушки лесов		
		п, экз.	I _d , %	В, балл	п, экз.	I _d , %	В, балл	п, экз.	I _d , %	В, балл	п, экз.	I _d , %	В, балл
<i>Bombus (Psithyrus) barbutellus</i> (Kirby, 1802)	Е	5	2,12	2	1	0,98	1	1	0,89	1	1	0,93	1
<i>Bombus (Psithyrus) bohemicus</i> (Seidl, 1838)	Е	16	6,78	3	4	3,92	2	26	23,21	4	25	23,36	4
<i>Bombus (Psithyrus) campestris</i> (Panzer, 1801)	М	2	0,85	1	2	1,96	1	1	0,89	1	2	1,87	1

Окончание табл. 1

Вид	Биотопическая группа	Разнотравные луга			Суходольные луга			Обочины дорог			Опушки лесов		
		п, экз.	I _d , %	B, балл	п, экз.	I _d , %	B, балл	п, экз.	I _d , %	B, балл	п, экз.	I _d , %	B, балл
<i>Bombus (Psithyrus) rupestris</i> (Fabricius, 1793)	M	3	1,27	1	2	1,96	1	12	10,71	3	2	1,87	1
<i>Bombus (Psithyrus) vestalis</i> (Geoffroy, 1785)	E	3	1,27	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Bombus humilis</i> Illiger, 1806	E	39	16,53	4	9	8,82	3	3	2,68	1	4	3,74	2
<i>Bombus hypnorum</i> (Linnaeus, 1758)	E	5	2,12	2	6	5,88	2	—	—	—	2	1,87	1
<i>Bombus jonellus</i> (Kirby, 1802)	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0,93	1
<i>Bombus laesus</i> (Morawitz, 1875)	F	7	2,97	2	2	1,96	1	—	—	—	1	0,93	1
<i>Bombus lapidarius</i> (Linnaeus, 1758)	E	15	6,36	3	20	19,61	4	7	6,25	2	2	1,87	1
<i>Bombus lucorum</i> (Linnaeus, 1761)	E	41	17,37	4	10	9,80	3	23	20,54	4	41	38,32	4
<i>Bombus muscorum</i> (Linnaeus, 1758)	M	2	0,85	1	4	3,92	2	—	—	—	—	—	—
<i>Bombus pascuorum</i> (Scopoli, 1763)	E	15	6,36	3	6	5,88	2	3	2,68	1	3	2,80	1
<i>Bombus pomorum</i> (Panzer, 1805)	E	—	—	—	—	—	—	1	0,89	1	—	—	—
<i>Bombus pratorum</i> (Linnaeus, 1761)	F	16	6,78	3	3	2,94	1	12	10,71	3	8	7,48	3
<i>Bombus ruderalis</i> (Müller, 1776)	E	9	3,81	2	7	6,86	2	1	0,89	1	—	—	—
<i>Bombus ruderalis</i> (Fabricius, 1775)	E	1	0,42	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Bombus semenoviellus</i> (Skorikov, 1910)	M	1	0,42	1	1	0,98	1	—	—	—	1	0,93	1
<i>Bombus soroeensis</i> (Fabricius, 1776)	E	2	0,85	1	—	—	—	1	0,89	1	1	0,93	1
<i>Bombus subterraneus</i> (Linnaeus, 1758)	M	1	0,42	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Bombus sylvarum</i> (Linnaeus, 1761)	M	31	13,14	4	12	11,76	3	2	1,79	1	3	2,80	1
<i>Bombus terrestris</i> (Linnaeus, 1758)	E	22	9,32	3	13	12,75	3	19	16,96	4	10	9,35	3
Всего		236	100	—	102	100	—	112	100	—	107	100	—
Число видов, S		20			16			14			16		

Примечание. E – эвритопные, M – луговые, F – лесные виды.

Из данных табл. 1 следует, что среди исследуемых биотопов наибольшее видовое богатство и высокая численность шмелей характерны для разнотравных лугов – 20 видов при объеме выборки 236 экземпляров, что обусловлено подходящими условиями обитания, среди которых широкий спектр энтомофильных растений и обилие мест для строительства гнезд шмелей с разными типами гнездований. Массовыми были эвритопные *Bombus lucorum* (4 класс, относительное обилие 17,37 %),

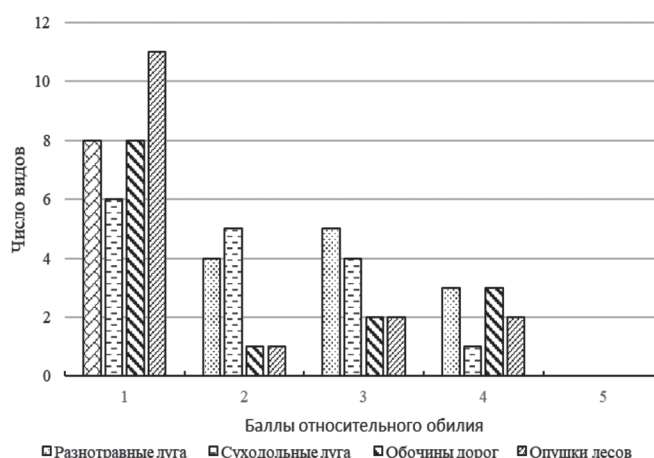


Рис. 2. Распределение видов шмелей по группам с различным уровнем относительного обилия в условиях разного типа биотопов Национального парка «Нарочанский»

Bombus humilis (16,53 %) и луговой *Bombus sylvarum* (13,14 %). К обычным (3 класс обилия) принадлежат эвритопные *Bombus lapidarius* (6,36 %), *Bombus pascuorum* (6,36 %), *Bombus terrestris* (9,32 %), *Bombus (Psithyrus) bohemicus* (6,78 %) и лесной *Bombus pratorum* (6,78 %). Остальные 12 видов относятся к группам малочисленных и единичных.

На суходольных лугах и опушках лесов, где условия обитания и/или фуражирования также благоприятны для этих насекомых, было зарегистрировано по 16 видов шмелей. К многочисленным видам (4 балла обилия) в комплексе шмелей суходольных лугов принадлежит эвритопный *Bombus lapidarius* (относительное обилие 19,61 %). Среди обычных видов эвритопные *Bombus humilis* (8,82 %), *Bombus lucorum* (9,80 %), *Bombus terrestris* (12,75 %) и луговой *Bombus sylvarum* (11,76 %). Всего к группам малочисленных и единичных в данном биотопическом комплексе принадлежат 11 видов шмелей.

В комплексе шмелей лесных опушек массовыми видами являлись *Bombus lucorum* (38,32 %) и его клептопаразит *Bombus (Psithyrus) bohemicus* (23,36 %). К группе обычных видов этого биотопического комплекса принадлежат эвритопный *Bombus terrestris* (9,35 %) и лесной *Bombus pratorum* (7,48 %). К группам малочисленных и единичных относятся 12 видов шмелей.

На обочинах дорог, где высок уровень антропогенной нагрузки, зарегистрировано 14 видов шмелей, что меньше, чем в составе остальных биотопических комплексов. Массовыми здесь являются эвритопные *Bombus lucorum* (относительное обилие 20,54 %), *Bombus terrestris* (16,96 %) и их клептопаразит *Bombus (Psithyrus) bohemicus* (23,21 %). К обычным видам относятся лесной *Bombus pratorum* (10,71 %) и луговой клептопаразитический *Bombus (Psithyrus) rupestris* (10,71 %). Остальные 9 видов принадлежат к группам обычных и единичных 2-й и 1-й классы обилия.

Попарное сравнение по видовому составу рассматриваемых биотопических комплексов шмелей показало, что наиболее высокие коэффициенты фаунистического сходства, как следует из данных табл. 2, имеет пара сравнения разнотравные–суходольные луга ($K_J = 0,8$). На дендрограмме сходства, представленной на рис. 3, образуют отдельный кластер.

Т а б л и ц а 2. Коэффициенты попарного сходства (коэффициент Жаккара) видового состава биотопических комплексов шмелей Национального парка «Нарочанский»

Биотопы	Разнотравные луга	Суходольные луга	Обочины дорог	Опушки лесов
Разнотравные луга	1	—	—	—
Суходольные луга	0,80	1	—	—
Обочины дорог	0,62	0,67	1	—
Опушки лесов	0,71	0,78	0,67	1

Из четырех рассматриваемых биотопических комплексов наиболее оригинальным по видовому составу является комплекс шмелей обочин дорог: на дендрограмме данный биотопический комплекс кластеризуется отдельно от прочих. Обочины дорог отличаются от остальных рассматриваемых биотопов выраженной антропогенной нагрузкой в виде загрязнения почвы и воздуха транспортными средствами, повышенным уровнем шумов, вибрациями и т. п.

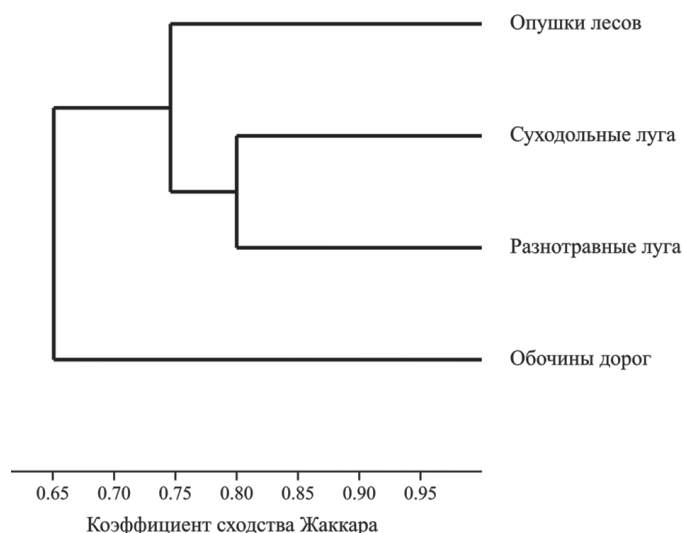


Рис. 3. Кладограмма сходства видового состава биотопических комплексов шмелей Национального парка «Нарочанский» (построена на основе значений коэффициента Жаккара)



Рис. 4. Экологическая структура (в аспекте видового богатства) биотопических комплексов шмелей в условиях Национального парка «Нарочанский»

Экологическую структуру биотопических комплексов шмелей в условиях Национального парка «Нарочанский» отражают гистограммы на рис. 4. В целом в составе исследуемых биотопических комплексов максимально видовое богатство группы эвритопных видов шмелей. Наибольшее число эвритопных видов (12 видов) характерно для разнотравных лугов, при этом максимальное относительное обилие представителей данной экологической группы (71 %) отмечено для обочин дорог. Близки уровни относительного обилия луговых видов шмелей на разнотравных (30 %) и суходольных (31 %) лугах. Лишь 3 вида принадлежат к группе лесных, из них многочисленным является типичный обитатель лесных полей *B. pratorum*, который более характерен для обочин дорог.

Заключение. По результатам выполненных исследований представляется возможным сделать следующие выводы.

1. В Национальном парке «Нарочанский» в условиях биотопов открытого типа зарегистрировано 22 вида шмелей (*Bombus* Latr. s.l.), в том числе 17 собственно шмелей (*Bombus* Latr. s.str.) и 5 шмелей-кукушек (*Psithyrus* Lep.). Из них 3 вида *Bombus pomorum* (Panzer, 1805), *Bombus ruderatus* (Fabricius, 1775) и *Bombus semenoviellus* (Skorikov, 1910) впервые отмечены на территории Национального парка.

2. Максимальен уровень видового богатства шмелей на разнотравных лугах (20 видов), ниже – на суходольных лугах и лесных опушках (по 16) и минимален (14 видов) для обочин дорог.

3. С использованием 5-балльной ограниченной сверху логарифмической шкалы выявленные виды шмелей дифференцированы на группы по уровню относительного обилия. Доминантные виды в составе комплексов шмелей исследованных биотопов Национального парка «Нарочанский» отсутствуют, большинство представителей таксона принадлежат к группам малочисленных и единичных видов. Наибольший уровень относительного обилия свойствен *Bombus lucorum* (Linnaeus, 1761) на лесных опушках (38,32 %), обочинах дорог (20,54 %) и разнотравных лугах (17,37 %), тогда как *Bombus lapidarius* (Linnaeus, 1758) – на суходольных лугах (19,61 %).

4. Наибольшим уровнем сходства видового состава характеризуются комплексы шмелей разнотравных и суходольных лугов (значение коэффициента Жаккара (K_J) – 0,8). Видовой состав комплекса шмелей дорожных обочин отличается наибольшей оригинальностью, что подтверждают результаты кластерного анализа с построением соответствующей кладограммы.

5. В составе комплексов шмелей разнотравных и суходольных лугов, лесных опушек и обочин дорог преобладают эвритопные виды, максимально их относительное видовое богатство в составе комплекса шмелей обочин дорог. Наибольшее видовое богатство лесных видов характерно для опушек лесов.

Благодарности. Исследования выполнялись на кафедре зоологии Белорусского государственного университета в рамках заданий Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы (NN Госрегистрации НИР 20211658, 20211704).

Список использованных источников

1. Панфилов, Д. В. Общий обзор населения пчелиных Евразии / Д. В. Панфилов // Сб. тр. Зоологич. музея МГУ. – 1968. – Т. 11. – С. 18–35.
2. Dieringer, G. The pollination ecology of *Orchis spectabilis* L. (Orchidaceae) / G. Dieringer // Ohio J. Sci. – 1982. – Vol. 82, N 5. – P. 218–225.
3. Bäckman, J. P. C. Habitat quality of field margins in a Finnish farmland area for bumblebees (Hymenoptera: *Bombus* and *Psithyrus*) / J. P. C. Bäckman, J. Tiainen // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2002. – Vol. 89, N 1/2. – P. 53–68.
4. Pawlikowski, T. Valuation of environmental processes by invertebrate groups as bioindicators / T. Pawlikowski, K. Pawlikowski // Zeszyty Naukowe WSHE. – 2004. – Т. 15. – P. 81–93.
5. Балукова, Н. С. Шмели как биоиндикаторы локальных нарушений местообитаний на водосборе озера Воже / Н. С. Балукова // Антропогенные сукцессии водосборов таежной зоны: биоиндикация и мониторинг. – Вологда, 2007. – С. 132–137.
6. Колесова, Н. С. Влияние мезоклимата на биотопическое распределение, видовое разнообразие и население шмелей (Hymenoptera: Apoidea, *Bombus*, *Psithyrus*) на ключевых водосборах вологодской области / Н. С. Колесова // Индикация пространственной вариабельности мезоклимата водосборов таежной зоны. – Вологда, 2010. – С. 83–105.
7. Коновалова, И. Б. Городские сообщества шмелей (Hymenoptera: Apoidea: *Bombus*) и условия, необходимые для их существования / И. Б. Коновалова // Региональные геосистемы. – 2009. – Т. 8, № 3 (58). – С. 81–89.
8. Влияние урбанизации и зимних погодных аномалий на численность популяций и биоразнообразие шмелей / В. В. Ясюкевич [и др.] // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2010. – Вып. 23. – С. 231–247.
9. Колесова, Н. С. Видовое разнообразие и структура населения шмелей (Hymenoptera, Apoidea: *Bombus*, *Psithyrus*) трансформированных таежных экосистем Вологодской области / Н. С. Колесова: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Сыктывкар, 2010. – 20 с.
10. Лакотко, А. А. Шмели (Apoidea, *Bombus*) Белорусского Поозерья / А. А. Лакотко // Биологическое разнообразие Белорусского Поозерья. – Витебск, 2011. – С. 197–209.
11. Прищепчик, О. В. Видовое разнообразие высших пчелиных (Apoidea) ландшафтного заказника «Голубые озера» / О. В. Прищепчик // Охраняемые природные территории и объекты Белорусского Поозерья: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Витебск, 1997. – С. 115–117.
12. Шейко, А. А. Пчелиные (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) Национального парка «Нарочанский» / А. А. Шейко // Природа, человек и экология: сб. тез. докл. VII Респ. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Брест: БрГУ, 2020. – С. 102.
13. Люштык, В. С. Базы геоданных биоразнообразия флоры Национального парка «Нарочанский» / В. С. Люштык // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. к 110-летию акад. Н. В. Смольского. – Минск, 2015. – С. 126–129.
14. Груммо, Д. Г. Растительность и биотопы Национального парка «Нарочанский» с картой наземной растительности (м. 1 : 60 000) и картой биотопов (м. 1 : 60 000) / Д. Г. Груммо. – Минск: Колорград, 2017. – 82 с.
15. Пономарева, А. А. Надсемейство Apoidea. Определитель насекомых Европейской части СССР. Т. 3. Перепончатокрылые. Ч. 1. – М.; Л.: Наука, 1978. – С. 279–519.
16. Gokcezade, J. Feldbestimmungsschlüssel für die Hummeln Deutschlands, Österreichs und der Schweiz / J. Gokcezade. – Leipzig: Quelle & Mayer, 2010. – 48 s.
17. Песенко, Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю. А. Песенко. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
18. Paleontological Statistics. Version 4.08. Reference manual. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/downloads/past4manuma.pdf>. – Date of access: 10.08.2022.
19. Прищепчик, О. В. Фауна и экология пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) Минской возвышенности / О. В. Прищепчик: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Минск, БГПУ им. М. Танка, 2000. – 20 с.
20. Радченко, В. Г. Биология пчел (Hymenoptera, Apoidea) / В. Г. Радченко, Ю. А. Песенко. – СПб.: Наука, 1994. – 350 с.

Поступила 27.09.2022

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 592:502.4(476)

В. М. Байчоров, М. Д. Мороз, В. В. Вежновец, Ю. Г. Гигиняк

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам,
Минск, Беларусь, e-mail: vbaitch@gmail.com, mdmoroz@bk.ru, vezhn47@mail.ru, antarctida_2010@mail.ru

МАКРОЗООБЕНТОС РЕК РЕСПУБЛИКАНСКОГО ЗАКАЗНИКА «СРЕДНЯЯ ПРИПЯТЬ»

Аннотация. Проведенные исследования позволили выявить в реках республиканского ландшафтного заказника «Средняя Припять» 121 HOT (низший определяемый таксон), относящихся к 3 типам беспозвоночных: Mollusca – 21; Annelida – 8 и Arthropoda – 92 видов и форм. До вида определено 93 таксономических элементов. Выявлены 8 чужеродных видов: *Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer, 1828), *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771); *Chelicorophium curvispinum* Sars, 1895; *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894); *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1898); *Obesogammarus crassus* (Sars 1894); *Obesogammarus crassus* (G.O. Sars, 1894) и *Limnomysis benedeni* Czerniavsky, 1882. Фауна изученных водных беспозвоночных животных в водотоках республиканского ландшафтного заказника «Средняя Припять» относительно богата и представлена редкими и охраняемыми видами. Среди выявленных животных также обнаружены охраняемые в Беларуси виды: *Graphoderes bilineatus* (De Geer, 1774) и *Gomphus flavipes* Charpentier, 1825. Изученные реки обладают высоким биологическим разнообразием нативных водных беспозвоночных животных, а также являются регионом-акцептором чужеродных видов.

Ключевые слова: макрозообентос, фауна, аборигенные и чужеродные виды

V. M. Baitchorov, M. D. Moroz, V. V. Veznavets, Yu.G. Hihiniak

Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources,
Minsk, Belarus, e-mail: vbaitch@gmail.com, mdmoroz@bk.ru, vezhn47@mail.ru, antarctida_2010@mail.ru

MACROZOOBENTHOS OF THE RIVERS OF THE REPUBLICAN RESERVE “MIDDLE PRIPYAT”

Abstract. The studies carried out made it possible to identify in the rivers of the republican landscape reserve “Middle Pripyat” 121 LDTs (lowest taxon determined) belonging to 3 types of invertebrates: Mollusca – 21; Annelida – 8 and Arthropoda – 92 species and forms. Ninety-three taxonomic elements have been identified prior to species. 8 alien species were identified: *Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer, 1828), *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771); *Chelicorophium curvispinum* Sars, 1895; *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894); *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1898); *Obesogammarus crassus* (Sars 1894); *Obesogammarus crassus* (G.O. Sars, 1894) and *Limnomysis benedeni* Czerniavsky, 1882. The fauna of the studied aquatic invertebrates in the watercourses of the republican landscape reserve “Middle Pripyat” is relatively rich and is represented by rare and protected species of animals not only in Belarus, but also in Europe. Among the identified animals, species protected in Belarus were also found: *Graphoderes bilineatus* (De Geer, 1774) and *Gomphus flavipes* Charpentier, 1825. Thus, the studied rivers have a high biodiversity of native aquatic invertebrates and are also a region-recipient of alien species.

Keywords: macrozoobenthos, fauna, native and alien species

У. М. Байчароў, М. Д. Мароз, В. В. Вежнавец, Ю. Р. Гігіняк

Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах,
Мінск, Беларусь, e-mail: vbaitch@gmail.com, mdmoroz@bk.ru, vezhn47@mail.ru, antarctida_2010@mail.ru

МАКРАЗООБЕНТОС РЭК РЭСПУБЛІКАНСКАГА ЗАКАЗНІКА «СЯРЭДНЯЯ ПРЫПЯЦЬ»

Анатацыя. Праведзеныя даследаванні дазволілі выявіць у вадацёках рэспубліканскага ландшафтнага заказніка «Сярэдняя Прыпяць» 121 HOT (найнізкі вызначаны таксон), якія адносяцца да 3 тыпаў бесхрыбтовых: Mollusca – 21; Annelida – 8 і Arthropoda – 92 відаў і форм. Да віду вызначана 93 таксанамічных элементаў. Выяўлены 8 чужародных відаў: *Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer, 1828), *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771); *Chelicorophium curvispinum* Sars, 1895; *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894); *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1898); *Obesogammarus crassus* (Sars 1894); *Obesogammarus crassus* (G.O. Sars, 1894); *Limnomysis benedeni* Czerniavsky, 1882. Фаўна вывучаных водных бесхрыбтовых жывёл у вадацёках рэспубліканскага ландшафтнага заказніка «Сярэдняя Прыпяць» адносна багатая і прадстаўлена рэдкімі і ахоўнымі відамі. Выяўлены ахоўныя ў Беларусі віды: *Graphoderes bilineatus* (De Geer, 1774) і *Gomphus flavipes* Charpentier, 1825. Такім чынам, вывучаныя рэкі валодаюць высокай біялагічнай разнастайнасцю натывных водных бесхрыбтовых жывёл, а таксама з’яўляюцца рэгіёнам-акцептарам чужародных відаў.

Ключавыя словы: макрозообентас, фаўна, абарыгенныя і чужародныя віды

Введение. Изученные реки являются водотоками, по которым возможен перенос разнообразного биологического материала, химических веществ и возможных загрязнений, проникновения чужеродных видов и т.д. Этим и объясняется повышенное внимание к данным водоемам и необходимость периодических исследований видового состава и численности водных беспозвоночных животных, обитающих там. Республиканский ландшафтный заказник «Средняя Припять» по своему географическому положению, размещению на границах физико-географических подзон, а также по трансграничному характеру речных бассейнов является, с одной стороны, регионом с высоким био-

логическим разнообразием нативных водных беспозвоночных животных, а с другой, – регионом-акцептором чужеродных видов [1].

Цель исследования – выявление таксономической структуры аборигенных и чужеродных видов макрозообентоса, обитающих в водотоках республиканского ландшафтного заказника «Средняя Припять».

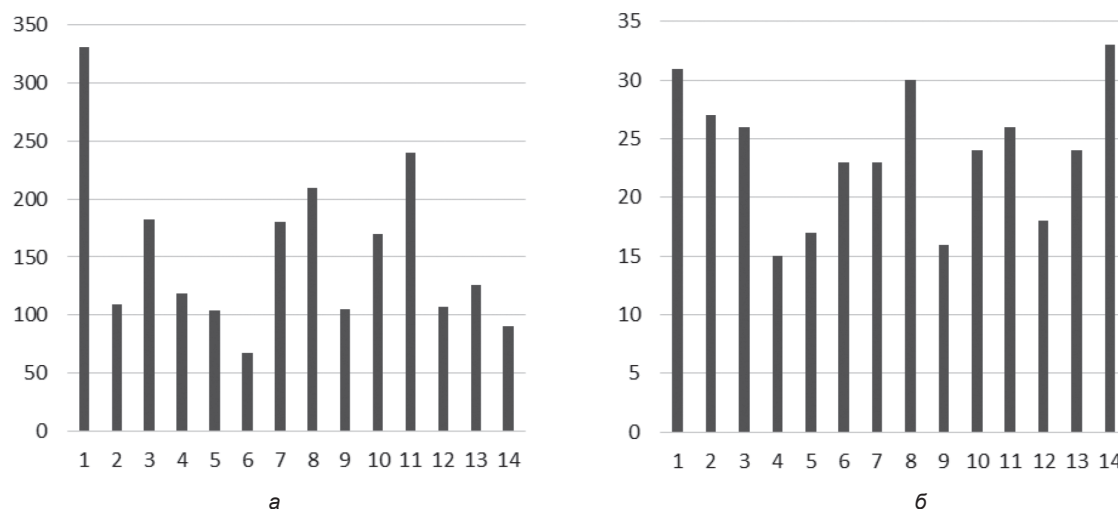
Республиканский ландшафтный заказник «Средняя Припять», созданный в 1999 г. на территориях Столинского, Пинского, Лунинецкого районов Брестской и Житковичского района Гомельской областей. Заказник является последним в Европе крупным естественным комплексом низинных болот, рек, протоков и пойменных лесов, ключевой орнитологической территорией и Рамсарским угодьем. Заказник организован согласно Постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 19 июля 1999 года № 1105 на базе государственных биологических заказников «Низовье Ясельды», «Устье Лани» и «Низовье Случи» общей площадью 90 447 га. Согласно Постановлению Совета Министров от 22 ноября 2013 года № 1008 площадь заказника увеличилась на 2615,15 га до 93 062,15 га. Заказник находится в среднем течении главной водной артерии Полесья – реки Припять (от устья Ясельды до устья Стиги). Протяженность около 120 км, ширина изменяется от 4 до 14 км.

Материал и методы исследования. Сборы и наблюдения, послужившие материалом для данного сообщения, выполнены в апреле и мае 2022 г. Взятие проб осуществлялось при помощи стандартного гидробиологического сачка (25x25 см, 500 μ m) методом траления до глубины 1,0 м. Для получения репрезентативных данных по видовому составу фауны макрозообентоса, на каменистых грунтах и в местах развития макрофитов производилась выемка камней и коряг с их последующим осмотром и сбором выявленных животных. Полученный материал в дальнейшем фиксировали 70 %-ным раствором этилового спирта. Полный разбор проб и проведение видовой идентификации полученного научного материала проводили в лабораторных условиях. При описании таксономического богатства макрозообентоса использовали термин НОТ – низший определяемый таксон [2]. Были изучены 14 водотоков. Створы: 1 – р. Ясельда (н. п. Кудричи, Пинский р-н); 2 – р. Стырь (н. п. Гольцы, Пинский р-н); 3 – р. Ветлица (н. п. Лядец, Столинский р-н); 4 – р. Горынь (н. п. Хорск, Столинский р-н); 5 – р. Случь (н. п. Логвоши, Житковичский р-н); 6 – р. Стига (н. п. Озераны, Житковичский р-н); 7 – р. Припять (н. п. Черничи, Житковичский р-н); 8 – р. Скрипница (н. п. Кольцо, Житковичский р-н); 9 – Микашевичский канал (н. п. Гряда, Лунинецкий р-н); 10 – Ситненецкий канал (н. п. Ситнеца, Лунинецкий р-н); 11 – р. Лань (н. п. Островно, Лунинецкий р-н); 12 – р. Смердь (н. п. Лахва, Лунинецкий р-н); 13 – р. Цна (н. п. Кожан-Городок, Лунинецкий р-н); 14 – р. Бобрик (н. п. Березцы, Пинский р-н).

За время исследований собрано и идентифицировано 2140 экз. представителей макрозообентоса, находящихся на личиночной и имагинальной стадиях развития.

Результаты и их обсуждение. Исследования позволили выявить 121 низший определяемый таксон (НОТ), относящийся к 3 типам беспозвоночных: Mollusca – 21; Annelida – 8 и Arthropoda – 92 НОТ (таблица). До вида идентифицировано 93 таксономических элементов.

Анализ таксономического разнообразия и численности представителей макрозообентоса на отдельных створах показал на относительную неоднородность полученных значений этих показателей для изученных водотоков (рисунок). Наибольшая численность макрозообентосных организмов



Макрозообентос водотоков: а – численность водных беспозвоночных (макрозообентос) в изученных створах; б – количество НОТ. Обозначение створов указано в тексте

отмечена для створа р. Ясельда (н. п. Кудричи, Пинский р-н) – 331 экз. (15,47 % от всех коллектированных водных беспозвоночных), а наименьшие значения – для створа р. Ствига (н. п. Озераны, Житковичский р-н) – 67 экз. (3,13 % соответственно) (рисунок, а). Средняя численность водных животных в изученных водотоках составила 152,9 экз.

Наибольшие значения показателя количества выявленных НОТ зарегистрировано в р. Бобрин (н. п. Березцы, Пинский р-н) – 33 НОТ (27,27 % от всех идентифицированных НОТ), а наименьшие величины – в р. Горынь (н. п. Хорск, Столинский р-н) – 17 НОТ, что соответствует 14,05 % (рисунок, б). Среднее количество выявленных НОТ в изученных водотоках составило 23,8 НОТ.

Среди выявленных водных беспозвоночных животных в водотоках бассейна Припяти следует отметить обитание там ряда чужеродных видов, а также охраняемых и редких видов в Беларуси. Выявлены следующие чужеродные виды макрозообентосного комплекса: моллюск – *Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer, 1828) и ракообразные – *Chelicorophium curvispinum* Sars, 1895; *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894); *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1898); *Obesogammarus crassus* (Sars 1894); *Obesogammarus crassus* (G.O. Sars, 1894) и *Limnomysis benedeni* Czerniavsky, 1882.

***Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer, 1828).** Материал: 1 – р. Горынь (н. п. Хорск, Столинский р-н), 11.05.2022 – 2 экз.; 2 – р. Припять (н. п. Черничи, Житковичский р-н), 12.05.2022 – 69 экз.; 3 – р. Скрипница (н. п. Кольцо, Житковичский р-н), 12.05.2022 – 2 экз.

Ниший определяемый таксон (НОТ) и распределение водных беспозвоночных животных в водотоках изученных створов на территории республиканского ландшафтного заказника «Средняя Припять»

№ п/п	Таксон	Створы*, экз.														Всего, экз.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Тип MOLLUSCA Класс Gastropoda Отр. Architaenioglossa Сем. Viviparida																
1	<i>Viviparus contectus</i> (Millet, 1813)			3			2									5
2	<i>Viviparus viviparus</i> (Linnaeus 1758)	36	5		19	12		41		22		19	2	5	2	163
Отр. Neotaenioglossa Сем. Amnicolidae																
3	<i>Marstoniopsis scholtzi</i> (A. Schmidt, 1856)														1	1
Сем. Bithyniidae																
4	<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	116	4	6									3			129
Сем. Hydrobiidae																
5	<i>Lithoglyphus naticoides</i> (C. Pfeiffer, 1828)				2			69	2							73
Отр. Ectobranchia Сем. Valvatidae																
6	<i>Valvata cristata</i> (O. F. Müller, 1774)										3					3
Отр. Pulmonata Сем. Acroloxidae																
7	<i>Acroloxus lacustris</i> (Linnaeus, 1758)								3						1	4
Сем. Lymnaeidae																
8	<i>Galba truncatula</i> (O. F. Müller, 1774)				4	5	1					1			2	13
9	<i>Lymnaea stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	6	2	6		2		7	12	3		1		1	1	41
10	<i>Radixampla</i> (W. Hartmann, 1821)					2										2
11	<i>Radix balthica</i> (Linnaeus, 1758)								12		48			2		62
12	<i>Radix sp.</i>								8						3	11
13	<i>Stagnicola corvus</i> (Gmelin, 1791)			1	7				6		2	2				18
14	<i>Stagnicola palustris</i> (O. F. Müller, 1774)								5	3	7					15
Сем. Physidae																
15	<i>Physa fontinalis</i> (Linnaeus, 1761)			2				1					1			5
Сем. Planorbidae																
16	<i>Anisus vortex</i> (Linnaeus, 1758)	3		4					2	3					1	13
17	<i>Gyraulus albus</i> (O. F. Müller, 1774)									21	36	2				59
18	<i>Planorbarius corneus</i> Linnaeus, 1758			2						7					2	11
19	<i>Planorbis planorbis</i> (Linnaeus, 1758)										2					2
20	<i>Segmentina nitida</i> (O. F. Müller., 1774)			1						10						11

Продолжение таблицы

№ п/п	Таксон	Створы, экз.														Всего, экз.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Класс Bivalvia Отр. Veneroidea Сем. Sphaeriidae																
21	<i>Sphaerium sp.</i>				1										1	2
Тип ANNELIDA Класс Oligochaeta																
1	<i>Stylaria lacustris</i> (Linnaeus, 1767)								4							4
2	<i>Oligochaeta gen. spp.</i>	12	3	4		2		2	16	2	3	6	2		6	58
Класс Hirudinida Отр. Rhynchobdellida Сем. Glossiphoniidae																
3	<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)														1	1
4	<i>Glossiphonia heteroclita</i> (Linnaeus, 1761)	1							4							5
5	<i>Hemiclepsis marginata</i> (O. F. Müller, 1774)	2														2
6	<i>Placobdella costata</i> (Fr. Müller, 1846)			1												1
Отр. Arhynchobdellida Сем. Erpobdellidae																
7	<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)	1	1						1						4	7
8	<i>Erpobdella sp.</i>														1	1
Тип ARTROPODA Класс Arachnida Отр. Araneae Сем. Clubionidae																
1	<i>Clubiona sp.</i>											1				1
Сем. Dictynidae																
2	<i>Argyroneta aquatica</i> (Clerck, 1758)								2					1		3
Сем. Lycosidae																
3	<i>Pirata piraticus</i> (Clerck, 1757)	3													1	4
4	<i>Pirata sp.</i>										3			1		4
Сем. Tetragnathidae																
5	<i>Tetragnatha extensa</i> (Linnaeus, 1758)		2										1			3
Отр. Acari																
6	<i>Hydracarina gen. spp.</i>						3	2								5
Класс Crustacea Отр. Isopoda Сем. Asellidae																
7	<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	28	12	1		4	3		2			7	3	9	2	71
Отр. Amphipoda Сем. Corophiidae																
8	<i>Corophium curvispinum</i> Sars, 1895				1			1								2
Сем. Gammaridae																
9	<i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinsky, 1894)							1								1
10	<i>Echinogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1898)				1			1								2
11	<i>Gammarus varsoviensis</i> Jazdzewski, 1975		8			31						4	2	19	2	66
12	<i>Obesogammarus crassus</i> (G. O. Sars, 1894)							1								1
Отр. Mysida Сем. Mysidae																
13	<i>Limnomysis benedeni</i> Czerniavsky, 1882							2								2
Отр. Notostraca Сем. Triopsidae																
14	<i>Lepidurus apus</i> (Linnaeus, 1758)		2							6						8
Класс Insecta Отр. Collembola Сем. Poduridae																
15	<i>Podura aquatica</i> Linnaeus, 1758						9									9

Продолжение таблицы

№ п/п	Таксон	Створы, экз.														Всего, экз.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Сем. Isotomidae																
16	<i>Isotoma viridis</i> Bourlet, 1839						1									1
Отр. Ephemeroptera																
Сем. Baetidae																
17	<i>Centroptilum luteolum</i> (Müller, 1776)					2										2
18	<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1758)			38			16				37					91
19	<i>Cloeon simile</i> Eaton, 1870	7						6	12			7	2	8		42
20	<i>Baetis vernus</i> Curtis, 1834														2	2
Сем. Caenidae																
21	<i>Caenis horaria</i> Linnaeus, 1758	1										3	1	4	13	22
22	<i>Caenis robusta</i> Eaton, 1884			18				1	14	4		2				39
Сем. Heptageniidae																
23	<i>Heptagenia fuscogrisea</i> (Retzius, 1783)					5										5
Сем. Leptophlebiidae																
24	<i>Leptophlebia marginata</i> (Linnaeus, 1767)													1		1
Отр. Trichoptera																
Сем. Hydropsychidae																
25	<i>Hydropsyche pellucidula</i> (Curtis, 1834)	2														2
Сем. Polycentropodidae																
26	<i>Neureclipsis bimaculata</i> (Linnaeus, 1761)	2														2
Сем. Limnephilidae																
27	<i>Anabolia</i> sp.	6	6			27					2	88	74	30		233
28	<i>Chaetopteryx</i> sp.												4	12	1	17
29	<i>Limnephilus flavicornis</i> (Fabricius, 1787)					1					1					2
30	<i>Limnephilus rhombicus</i> (Linnaeus, 1758)	7	33	2			2		21			3	1		4	73
31	<i>Phacopteryx brevipennis</i> (Curtis, 1834)														1	1
Сем. Leptoceridae																
32	<i>Athripsodes aterrimus</i> (Stephens, 1836)	2		1												3
33	<i>Trienodes bicolor</i> (Curtis, 1834)								8			1				9
Сем. Hydroptilidae																
34	<i>Hydroptila</i> sp.		1								4					5
Отр. Odonata																
Сем. Calopterygidae																
35	<i>Calopteryx splendens</i> (Harris, 1782)	2														2
36	<i>Calopteryx virgo</i> Linnaeus, 1758										2	6				8
37	<i>Calopteryx</i> sp.											1				1
Сем. Coenagrionidae																
38	<i>Coenagrion puella</i> (Linnaeus, 1758)	2	1	8					9		2				4	26
39	<i>Coenagrion pulchellum</i> (V. Linden, 1825)						1					1				2
40	<i>Coenagrion</i> sp.			7			2				1	2		1	1	14
41	<i>Erythromma najas</i> (Hansemann, 1823)		1	6			1								2	10
42	<i>Coenagrionidae</i> gen. spp.								2							2
Сем. Platycnemididae																
43	<i>Platycnemis pennipes</i> (Pallas, 1771)	16	2											1	1	20
Сем. Gomphidae																
44	<i>Gomphus flavipes</i> Charpentier, 1825	1														1
Сем. Corduliidae																
45	<i>Cordulia aenea</i> (Linnaeus, 1758)						1				1					2
Сем. Libellulidae																
46	<i>Orthetrum cancellatum</i> (Linnaeus, 1758)						3									3
Отр. Heteroptera																
Сем. Nepidae																
47	<i>Nepa cinerea</i> Linnaeus, 1758	3	1			1										5

Продолжение таблицы

№ п/п	Таксон	Створы, экз.														Всего, экз.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Сем. Naucoridae																
48	<i>Ilyocoris cimicoides</i> (Linnaeus, 1758)			4	2	3	5	1	5		3	1			4	28
Сем. Pleidae																
49	<i>Plea minutissima</i> Leach, 1817	2		1					4						1	8
Сем. Corixidae																
50	<i>Cymatia coleoptrata</i> (Fabricius, 1777)						4		7							11
51	<i>Sigara falleni</i> (Fieber, 1848)		1									1				2
52	<i>Sigara striata</i> (Linnaeus, 1758)									1						1
Сем. Gerridae																
53	<i>Gerris lacustris</i> (Linnaeus, 1758)					1										1
Отр. Coleoptera																
Сем. Halipidae																
54	<i>Haliphus fluviatilis</i> Aubé, 1836	1							1	5						7
55	<i>Haliphus fulvus</i> (Fabricius, 1801)			5				4								9
56	<i>Haliphus</i> sp.		1													1
57	<i>Peltodytes caesus</i> (Duftschmid, 1805)		1													1
Сем. Noteridae																
58	<i>Noterus</i> sp.			1											1	2
Сем. Dytiscidae																
59	<i>Hygrotus inaequalis</i> (Fabricius, 1777)		1													1
60	<i>Hygrotus versicolor</i> (Schaller, 1783)						1									1
61	<i>Hyphydrus ovatus</i> (Linnaeus, 1761)							1								1
62	<i>Ilybius fuliginosus</i> (Fabricius, 1792)														1	1
63	<i>Laccophilus hyalinus</i> (De Geer, 1774)	12	4			3				4			1		8	32
64	<i>Laccophilus minutus</i> (Linnaeus, 1758)										3			1		4
65	<i>Copelatus haemorrhoidalis</i> (Fabricius, 1787)						1									1
66	<i>Rhantus suturalis</i> (MacLeay, 1825)						1			1	1		1			4
67	<i>Graphoderes bilineatus</i> (De Geer, 1774)						1									1
68	<i>Dytiscidae</i> gen. spp.	1						2			2					5
Сем. Hydrophilidae																
69	<i>Anacaena lutescens</i> (Stephens, 1829)	1												1		2
70	<i>Cymbiodyta marginella</i> (Fabricius, 1792)				2											2
71	<i>Enochrus affinis</i> (Thunberg, 1794)										2					2
72	<i>Enochrus coarctatus</i> (Gredler, 1863)											3				3
73	<i>Enochrus ochropterus</i> (Marsham, 1802)													1		1
74	<i>Helophares obscurus</i> (Muller, 1776)		1	7	3		4				1		1	5		22
75	<i>Hydrobius fuscipes</i> (Linnaeus, 1758)	1			3	1						8	4	7		24
76	<i>Hydrochara caraboides</i> (Linnaeus, 1758)													1		1
77	<i>Laccobius</i> sp.											3				3
78	<i>Hydrophilidae</i> gen. spp.			12				3			2					17
Сем. Helophoridae																
79	<i>Helophorus minutus</i> Fabricius, 1775				1					1						2
Сем. Hydrochidae																
80	<i>Hydrochus elongatus</i> (Schaller, 1783)	1			1											2
81	<i>Hydrochus ignicollis</i> Motschulsky, 1860											1				1
Сем. Dryopidae																
82	<i>Dryops griseus</i> (Erichson, 1847)	1			2								1			4
Сем. Chrysomelidae																
83	<i>Donacia</i> sp.		1										1			2
Сем. Scirtidae																
84	<i>Scirtidae</i> gen. spp.			2					7							9

Окончание таблицы

№ п/п	Таксон	Створы*, экз.														Всего, экз.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Отр. Diptera																
85	<i>Ceratopogonidae gen. spp.</i>		1				1	1	2	1	2			1	2	11
86	<i>Chironomidae gen. spp.</i>	52	11	34	26	2	3	14	7	8	42	67	3	12	11	292
87	<i>Culicidae gen. spp.</i>								1							1
88	<i>Simuliidae gen. spp.</i>				51			7								58
89	<i>Tabanidae gen. spp.</i>										1				2	3
90	<i>Tipulidae gen. spp.</i>			1												1
Отр. Lepidoptera Сем. Crambidae																
91	<i>Cataclysta lemnata</i> (Linnaeus, 1758)											2				2
92	<i>Parapoynx stratiotata</i> (Linnaeus, 1758)														1	1

*Створы указаны в тексте.

***Chelicorophium curvispinum* Sars, 1895.** Материал: 1 – р. Горынь (н. п. Хорск, Столинский р-н), 11.05.2022 – 1 экз.; 2 – р. Припять (н. п. Черничи, Житковичский р-н), 12.05.2022 – 1 экз.

***Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894).** Материал: 1 – р. Припять (н. п. Черничи, Житковичский р-н), 12.05.2022 – 1 экз.

***Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1898).** Материал: 1 – р. Горынь (н. п. Хорск, Столинский р-н), 11.05.2022 – 1 экз.; 2 – р. Припять (н. п. Черничи, Житковичский р-н), 12.05.2022 – 1 экз.

***Obesogammarus crassus* (Sars 1894).** Материал: 1 – р. Припять (н. п. Черничи, Житковичский р-н), 12.05.2022 – 1 экз.

***Limnomysis benedeni* Czerniavsky, 1882.** Материал: 1 – р. Припять (н. п. Черничи, Житковичский р-н), 12.05.2022 – 1 экз.

Охраняемыми видами в Беларуси оказались: жесткокрылый – *Graphoderes bilineatus* (De Geer, 1774), двуполосный подводень и стрекоза – *Gomphus flavipes* Charpentier, 1825, дедка желтоногий.

***Graphoderes bilineatus* (De Geer, 1774)** (сем. Dytiscidae) имеет категорию охраны III в Беларуси. Международный охранный статус: охраняется в Европе (Приложение II Бернской конвенции); включен в Красный список МСОП (VU, ver. 2.3, 1996). Из сопредельных стран вид известен в Польше, Украине, России (до Западной Сибири) [3, 4]. Предпочитает стоячие водоемы, часто сильно заросшие водной растительностью, особенно старицы равнинных рек. Материал: р. Ствига (н. п. Озераны, Житковичский р-н), 11.05.2022 – 1 ♂.

***Gomphus flavipes* Charpentier, 1825** является слабоизученным видом, требующим внимания (DD категория охраны) национального природоохранного статуса. Вид охраняется в ряде европейских стран – Люксембурге (категория охраны CR), Великобритании (категория охраны V, охраняется с 1818 г.), Латвии. Распространение: Евразия, кроме тропических районов и крайнего севера [5]. Личинки обитают в проточных водоемах на глинистом и глинисто-песчаном грунте. Материал: р. Ясельда (н. п. Кудричи, Пинский р-н), 10.05.2021 – 1 экз. лич.

Охраняемыми и включенными в Красные списки ряда стран Европы оказались 11 видов: *Physa fontinalis* (Linnaeus, 1761); *Segmentina nitida* (O. F. Müller, 1774); *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758); *Calopteryx splendens* (Harris, 1782); *Platycnemis pennipes* (Pallas, 1771); *Gomphus flavipes* (Charpentier, 1825); *Orthetrum cancellatum* (Linnaeus, 1758); *Plea minutissima* (Leach, 1817); *Cymatia coleoptrata* (Fabricius, 1777); *Haliphus fulvus* (Fabricius, 1801); *Graphoderes bilineatus* (De Geer, 1774) [6–11].

Заключение. Проведенные исследования позволили выявить в реках республиканского ландшафтного заказника «Средняя Припять» 121 НОТ (низший определяемый таксон), относящиеся к 3 типам беспозвоночных: Mollusca – 21; Annelida – 8 и Arthropoda – 92 видов и форм. Выявлены 8 чужеродных видов: *Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer, 1828); *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771); *Chelicorophium curvispinum* (Sars, 1895); *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894); *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1898); *Obesogammarus crassus* (Sars 1894); *Obesogammarus crassus* (G. O. Sars, 1894) и *Limnomysis benedeni* (Czerniavsky, 1882).

Фауна изученных водных беспозвоночных животных в водотоках республиканского ландшафтного заказника «Средняя Припять» относительно богата и представлена редкими и охраняемыми видами животных не только в Беларуси, но и в Европе. Среди выявленных животных также обнаружены охраняемые в Беларуси виды: *Graphoderes bilineatus* (De Geer, 1774) и *Gomphus flavipes* (Charpentier, 1825). Изученные реки обладают высоким биологическим разнообразием нативных водных беспозвоночных животных, а также являются регионом-акцептором чужеродных видов.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ) в рамках научно-исследовательской работы «Оценить экологическое качество (экологический статус) речных экосистем и провести сравнительный анализ их состояния на основе биотических индексов с использованием индикаторных групп гидробионтов (макрозообентос) на особо охраняемых природных территориях в условиях Беларуси и Узбекистана» (Договор № Б21УЗБГ-027).

Список использованных источников

1. Семенченко, В. П. Проблема чужеродных видов в фауне и флоре Беларуси / В. П. Семенченко, А. В. Пугачевский // Наука и инновации. – 2006. – Т. 10, № 44. – С. 15–20.
2. Баканов, А. И. Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем / А. И. Баканов // Мониторинг биоразнообразия. – М., 1997. – С. 278–282.
3. Зайцев, Ф. А. Плавунцовые и вертячки. Фауна СССР / Ф. А. Зайцев // Насекомые жесткокрылые. – М.-Л.: АН СССР, – 1953. – Т. 4. – 376 с.
4. Кирейчук, А. Г. Семейство Dytiscidae (Плавунцы) (имаго, куколки) / А. Г. Кирейчук // Определитель пресноводных беспозвоночных России / А. Г. Кирейчук. – СПб.: Наука, – 2001. – Т. 5. – С. 79–369.
5. Попова, А. Н. Отряд стрекозы Odonata / А. Н. Попова // Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – С. 266–288.
6. Beran, L. Mollusca (měkkýši) / L. Beran, L. Jurříčková, M. Horsák // Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Farač J., Král D., Škorpík M. (eds.). – Praha, 2005. – P. 69–74.
7. Boukal, M. Haliplidae (plavčícoviti) / M. Boukal // Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Farač J., Král D., Škorpík M. (eds.). – Praha, 2005. – P. 412–413.
8. Hájek, J. Dytiscidae (potapníkoviti) / J. Hájek, J. Štátný // Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Farač J., Král D., Škorpík M. (eds.). – Praha, 2005. – P. 414–416.
9. Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera / G. Kjærstad [et al.] // The Norwegian Red List for Species. – Artstabanen, 2010. – P. 227–240.
10. Coleoptera / F. Ødegaard [et al.] // The Norwegian Red List for Species. – Artstabanen, 2010. – P. 257–290.
11. Sneli, J.-A. Mollusca / J.-A. Sneli, J. Eventsen, P. Johanessen // The Norwegian Red List for Species. – Artstabanen, 2010. – P. 387–390.

Поступила 17.01.2023

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

ISSN 1810-9810 (Print)

УДК 504.06

Д. В. Мелех*Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»,
Минск, Беларусь, e-mail: melekhdima@gmail.com***УЧЕТ И МЕРЫ ПО СОКРАЩЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ
С ЦЕЛЬЮ ПОДДЕРЖАНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ**

Аннотация. Республика Беларусь является одной из сторон приложения I к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН) и выполняет обязательства по предотвращению изменения климата и сокращению выбросов парниковых газов (ПГ), принимая меры по снижению выбросов ПГ и проводя ежегодные инвентаризации выбросов и поглощений ПГ на национальном уровне. Национальные меры по сокращению выбросов ПГ представляют собой ряд республиканских и отраслевых мер, направленных на устойчивое развитие отдельных отраслей и экономики страны в целом. Однако показатели по снижению выбросов ПГ не относятся к индикаторам выполнения, указанных республиканских и отраслевых мер, что обусловлено отсутствием отчетности по прямым и косвенным выбросам ПГ отдельными субъектами хозяйствования. Таким образом, отчетность по количественной оценке прямых и косвенных выбросов ПГ непосредственно субъектами хозяйствования послужит индикатором устойчивого развития и экологического равновесия, который применяется в мировой практике, об этом свидетельствует, что белорусские производители все чаще сталкиваются с необходимостью проведения оценок выбросов от производственной деятельности, что вызвано требованиями, предъявляемыми при экспорте продукции.

Ключевые слова: расчет выбросов, сокращение выбросов, прямые выбросы, косвенные выбросы, парниковые газы, изменение климата, устойчивое развитие

D. V. Melekh*The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise "Ecology", Minsk, Belarus, e-mail: melekhdima@gmail.com***ACCOUNTING AND REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS
TO SUPPORT THE GLOBAL AND REGIONAL ENVIRONMENTAL BALANCE**

Abstract. The Republic of Belarus is one of the parties to Annex I to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and fulfills its obligations to prevent climate change and reduce greenhouse gas (GHG) emissions by taking measures to reduce GHG emissions and conducting annual inventories of emissions and removals GHG at the national level. National policies on GHG emissions reduction are a series of republican and sectoral measures aimed at the sustainable development of individual industries and the country's economy as a whole. However, GHG emission reduction indicators do not relate to indicators of implementation of these national and sectoral measures, which is due to lack of reporting on direct and indirect GHG emissions by individual economic entities. Thus, the reporting on the quantitative assessment of direct and indirect GHG emissions directly by economic entities will serve as an indicator of sustainable development and ecological balance, which is used in world practice, this is evidenced by the fact that Belarusian manufacturers are increasingly faced with the need to conduct such assessments of emissions from production activities, which is caused by the requirements for exporting products.

Keywords: emissions calculation, emissions reduction, direct emission, indirect emissions, greenhouse gases, climate change, sustainable development

Дз. У. Мелех*Рэспубліканскае навукова-даследчае ўнітарнае прадпрыемства «Бел НІЦ «Экалогія»,
Мінск, Беларусь, e-mail: melekhdima@gmail.com***УЛІК І МЕРЫ ПА СКАРАЧЭННІ ВЫКІДАЎ ПАРНІКАВЫХ ГАЗАЎ
З МЭТАЙ ПАДТРЫМКІ ГЛАБАЛЬНАГА І РЕГІЯНАЛЬНАГА ЭКАЛАГІЧНАГА РАЎНАВАГА**

Аннатацыя. Рэспубліка Беларусь з'яўляецца адным з бакоў дадатку I да Рамачнай канвенцыі Арганізацыі Аб'яднаных Нацый аб змяненні клімату (РКЗК ААН) і выконвае абавязацельствы па прадухіленні змянення клімату і скарачэнні выкідаў парніковых газаў (ПГ), прымаючы меры па зніжэнню выкідаў ПГ і праводзячы штогадовыя інвентарызацыі ПГ на нацыянальным узроўні. Нацыянальныя меры па скарачэнні выкідаў ПГ уяўляюць сабой шэраг рэспубліканскіх і галіновых мер, накіраваных на ўстойлівае развіццё асобных галін і эканомікі краіны ў цэлым. Аднак паказчыкі па зніжэнню выкідаў ПГ не адносяцца да індыхатараў выканання, названых рэспубліканскіх і галіновых мер, што абу-

моўлена адсутнасцю справаздачнасці па прамых і ўскосных выкідах ПГ асобнымі суб'ектамі гаспадарання. Такім чынам, справаздачнасць па колькаснай ацэнцы прамых і ўскосных выкідаў ПГ непасрэдна суб'ектамі гаспадарання паслужыць індикатарам устойлівага развіцця і экалагічнай раўнавагі, які прымяняецца ў сусветнай практыцы, аб гэтым сведчыць тое, што беларускія вытворцы ўсё часцей сутыкаюцца з неабходнасцю правядзення такіх ацэнак выкідаў ад вытворчай дзейнасці, што выклікана патрабаваннямі, якія прад'яўляюцца пры экспарце прадукцыі.

Ключавыя словы: разлік выкідаў, скарачэнне выкідаў, прамыя выкіды, ускосныя выкіды, парніковыя газы, змена клімату, устойлівае развіццё

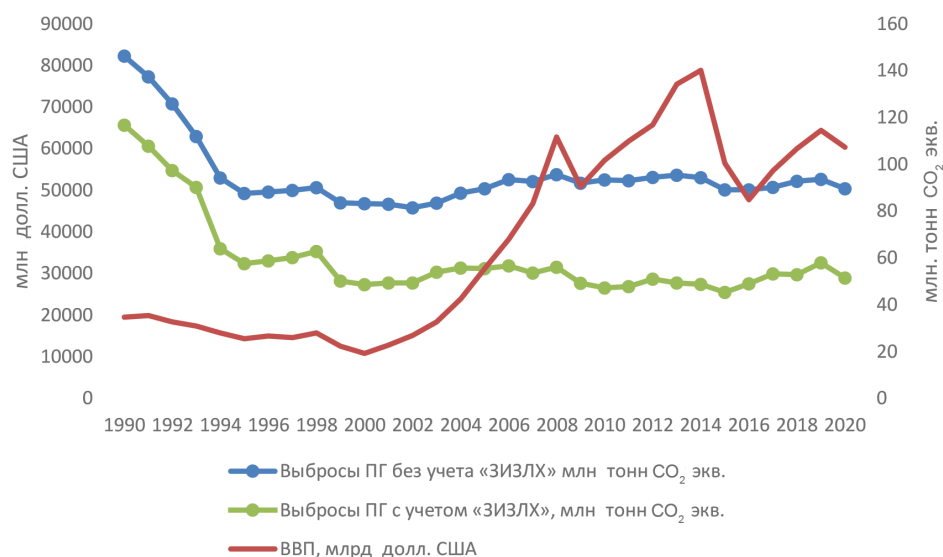
Введение. Беларусь в 2000 г. присоединилась к Рамочной конвенции об изменении климата Организации Объединенных Наций (РКИК ООН) [1] и тем самым приняла на себя ряд обязательств, среди которых снижение антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ). Необходимость снижения антропогенных выбросов ПГ обусловила проведение их учета, так как невозможно управлять тем, что не измеряется. Республика Беларусь, как сторона РКИК ООН, включенная в Приложение I, ежегодно выполняет инвентаризацию антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ [2].

К инвентаризируемым ПГ относятся пять отдельных газов (CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6 и NF_3) и две группы газов (HFCs и PFCs). Из них CO_2 , CH_4 и N_2O могут выделяться как в результате естественных природных процессов, так и в результате антропогенной деятельности. Углерод чаще всего встречается в атмосфере в окисленном виде, в качестве углекислого газа (CO_2) и участвует в круговороте веществ в природе. Антропогенным источником выбросов CO_2 являются: сжигание ископаемого топлива, вырубка леса и неэнергетические производственные процессы (например, производство цемента). Метан в основном образуется в результате анаэробного разложения органических веществ. К антропогенным источникам выбросов CH_4 относятся: разложение твердых коммунальных отходов, производство и распределение природного газа и нефти, сельскохозяйственные процессы (такие как кишечная ферментация у животных и разложение животных отходов), также метан встречается как побочный продукт добычи угля и неполного сгорания ископаемого топлива. Источниками выбросов закиси азота (N_2O) являются сельскохозяйственные почвы, особенно производство азотфиксирующих культур и кормов, использование синтетических и навозных удобрений, мобильное сжигание ископаемого топлива, производство азотной кислоты, очистка сточных вод и сжигание отходов. HFCs (ГФУ или гидрофторуглероды) в основном используются в качестве замены озоноразрушающих веществ. PFCs, SF_6 и NF_3 преимущественно выделяются в результате промышленных процессов, включая выплавку алюминия, производство полупроводников, передачу и распределение электроэнергии, а также литье магния. Таким образом, источники выбросов ПГ охватывают различные сферы деятельности человека, а инвентаризация антропогенных выбросов и поглощений ПГ осуществляется по следующим секторам: энергетика; промышленные процессы и использование продуктов; сельское хозяйство; землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство (ЗИЗЛХ); отходы [3].

Цель – обоснование необходимости проведения учета и сокращения выбросов и поглощений ПГ непосредственно объектами хозяйственной деятельности с целью поддержания глобального и регионального экологического равновесия. Задачи – анализ законодательства в части лучшей мировой практики регулирования выбросов ПГ, а также описание ситуации в Республике Беларусь.

Основная часть. Динамика ВВП [4] и выбросов ПГ [5] в Республике Беларусь в период 1990–2020 гг. представлена на рисунке, где наблюдается в период 1990–1995 гг. резкое сжигание уровня выбросов, обусловленное главным образом снижением ВВП, а также замещением в энергетической промышленности потребления мазута природным газом, потребление которого приводит к меньшим выбросам ПГ в сравнении с потреблением других видов ископаемого топлива. Начиная с 2000 г. исчезает прямая зависимость выбросов ПГ от ВВП и наблюдается интенсивный рост экономики при весьма незначительном увеличении уровня выбросов ПГ, что объясняется принятием ряда республиканских и отраслевых мер, направленных на устойчивое развитие отдельных отраслей и экономики страны с целом.

Для более полного выполнения положений РКИК ООН Конференцией сторон, как руководящим органом конвенции, были приняты Киотский протокол [6] и Парижское соглашение [7], которые предусматривают возможность использовать рыночные механизмы смягчения последствий изменения климата. Одним из эффективных механизмов климатической политики по сокращению выбросов ПГ является углеродный рынок или система торговли выбросами (СТВ). [8]. В настоящее время в ряде стран созданы национальные и региональные СТВ, которые со временем, вероятно, будут гармонизированы между собой, поскольку СТВ Европейского союза (ЕС) активно копируется в основных регионах мировой экономики, в том числе в Китае и России. ЕС запустил СТВ (EU ETS) в 2005 г. в качестве ключевого элемента своей стратегии по сокращению выбросов углерода. В настоящее время



Динамика ВВП и выбросов ПГ в Республике Беларусь в период 1990–2020 гг.

EU ETS – это крупнейший в мире углеродный рынок. Идея, лежащая в основе работы СТВ, заключается в предоставлении возможности компаниям, которым необходимо производить дополнительные объемы выбросов, покупать сертификаты на эти выбросы на рынке компаний, сокращающих выбросы и имеющих неизрасходованные сертификаты. Торговая схема создает условия для эффективного распределения квот на выбросы углерода, которые в свою очередь ежегодно сокращаются, что вынуждает экономику декарбонизироваться [9].

Европейский парламент 10.03.2021 г. большинством голосов поддержал введение «углеродного» налога (так называемого механизма пограничной углеродной корректировки (carbon border adjustment mechanism – CBAM)), который защитит европейские компании от дешевого импорта из стран, не занимающихся декарбонизацией экономики, и стимулировать другие страны к декарбонизации собственной экономики, как предусматривает Парижское соглашение. Введение самого углеродного налога запланировано не позднее 01.01.2023 г., при этом до 31.12.2025 г. механизм пограничной углеродной корректировки (CBAM) будет применяться только путем ежеквартального предоставления европейским импортером в уполномоченный европейский орган отчета о ввезенных товарах, выбросах при их производстве, углеродном платеже, подлежащем уплате в стране происхождения товара. Значит до указанной даты углеродный налог не уплачивается, фактически уплата углеродного налога запланирована с 01.01.2026 г. [10].

Сложность для белорусских экспортеров заключается в отсутствии практики оценки прямых и косвенных выбросов ПГ в результате хозяйственной деятельности отдельных организаций страны, из-за отсутствия внутреннего углеродного рынка и неучастия в рыночных механизмах Киотского протокола, так как поправка к Киотскому протоколу, определяющая установленное количество ПГ для Республики Беларусь, не была ратифицирована необходимым количеством сторон Киотского протокола (145 ратификаций) [11].

С целью минимизации рисков для экономики Беларуси, связанных с планируемым внедрением Европейским союзом трансграничного углеродного регулирования, утвержден специальный план, который предусматривает заинтересованными предприятиями расчет углеродоемкости продукции и утверждение мероприятий по ее снижению [12]. Расчет углеродоемкости продукции представляет собой количественную оценку прямых и косвенных выбросов ПГ при производстве этой продукции за конкретный отчетный период [13]. Количественная оценка прямых и косвенных выбросов ПГ выполняется в разрезе по типам источников, таких как косвенные выбросы, ассоциированные с потреблением энергоресурсов [14], сжигание топлива, летучие выбросы, транспортировка сырья, промышленные процессы, обращение с отходами и сточные воды.

В редакции Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» от 31.12.2021 г. № 142-З Статья 57 «Регулирование воздействия на климат» дополнена формулировками о мероприятиях по сокращению выбросов ПГ как о мероприятиях по предотвращению изменения климата, которые должны реализовываться при осуществлении любой хозяйственной и иной деятельности, что подразумевает количественные оценки прямых и косвенных выбросов ПГ с целью учета их сокращений [15].

Учет и сокращение выбросов ПГ являются мерами выполнения показателей по решению одной из задач цели устойчивого развития 13 «Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями», что говорит о применении оценок выбросов ПГ в качестве индикаторов устойчивого развития, а сокращение и учет выбросов ПГ необходимы для поддержания глобального и экологического равновесия.

Заключение. Рассмотрены международные обязательства Республики Беларусь по учету и сокращению выбросов ПГ в рамках РКИК ООН, а также классификация учитываемых ПГ по наименованиям источников выбросов. Выполнение обязательств по сокращению выбросов ПГ происходит благодаря результативной реализации национальной политики, направленной на устойчивое развитие отдельных отраслей и экономики страны в целом, о чем свидетельствует проводимая на национальном уровне ежегодная инвентаризация выбросов и поглощений ПГ. Для усиления выполнения положений РКИК ООН в мировой практике используются рыночные механизмы смягчения последствий изменения климата, которые требуют проведения количественной оценки прямых и косвенных выбросов ПГ отдельными субъектами хозяйственной деятельности. В Беларуси проведение таких оценок осложняется отсутствием подобного опыта на предприятиях, однако в стране уже принимаются соответствующие нормативно-правовые документы, регламентирующие проведение отдельными субъектами хозяйственной деятельности количественных оценок прямых и косвенных выбросов ПГ, которые послужат индикаторами устойчивого развития, а также сокращения выбросов ПГ для глобального и регионального экологического равновесия.

Список использованных источников

1. Об одобрении Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 10 апр. 2000 г., № 177. – Режим доступа: https://etalonline.by/document/?regnum=p30000177&q_id=2118916. – Дата доступа: 22.04.2022.
2. О реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 9 марта 2021 г., № 137 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22100137>. – Дата доступа: 22.04.2022.
3. Мелех, Д. В. Парниковые газы: мониторинг, отчетность и верификация // Родная природа. – 2021. – № 3 (84). – С. 14–15. <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2021/09/6-Мелех-Д.В.-Парниковые-газы-мониторинг-отчетность-и-верификация.pdf>. – Дата доступа: 22.04.2022.
4. Валовый внутренний продукт Беларуси 1990–2020 // Всемирный банк.
5. Государственный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов Республики Беларусь 1990–2020 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022>. – Дата доступа: 22.04.2022.
6. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата: Вебсайт секретариата РКИК ООН. – Режим доступа: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kprus.pdf>. – Дата доступа: 22.04.2022.
7. Парижское соглашение к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата: Вебсайт секретариата РКИК ООН. – Режим доступа: https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf. – Дата доступа: 22.04.2022.
8. Потеряйко, А. Ю. Тяжелая промышленность ЕС будет получать льготы на выбросы CO₂ до 2030 года / А. Ю. Потеряйко // Информ. агентство REGNUM. – Режим доступа: <https://regnum.ru/news/polit/3213924.html>. – Дата доступа: 22.04.2022.
9. Лисоволик, Я. Д. Системы торговли выбросами парниковых газов: основные направления развития / Я. Д. Лисоволик // Междунар. дискус. клуб «Валдай». – Режим доступа: <https://ru.valdaiclub.com/a/highlights/sistemy-torgovli-vybrosami-parnikovyykh-gazov/>. – Дата доступа: 22.04.2022.
10. Постановление Европейского парламента и Совета о создании механизма корректировки углеродных границ [Электронный ресурс], Брюссель, 14 июля 2021 г. / COM (2021) 564 final / 2021/0214 (COD). – Режим доступа: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/carbon_border_adjustment_mechanism_0.pdf. – Дата доступа: 22.04.2022.
11. Лаевская, Е. В. Состояние и перспективы формирования климатического законодательства Республики Беларусь / Е. В. Лаевская // Право в современном белорусском обществе: сб. науч. тр. / Нац. центр законодательства и правовых исследований Респ. Беларусь; редкол.: Н. А. Карпович (гл. ред.) [и др.]. – Минск: СтройМедиаПроект, 2016. – Вып. 11. – С. 362–371. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/202072>. – Дата доступа: 22.04.2022.
12. План мероприятий по минимизации рисков для экономики Беларуси, связанных с планируемым внедрением Европейским союзом трансграничного углеродного регулирования, утвержд. 20 июля 2021 г., № 06/214-452, 214-516/454.
13. Международный стандарт ISO 14067:2018. Парниковые газы. – Углеродный след продукции. – Требования и руководящие указания по количественному определению и предоставлению информации.
14. Мелех, Д. В. Выбросы парниковых газов при производстве электрической и тепловой энергии / Д. В. Мелех, И. П. Наркевич // Тр. БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2020. – № 2 (335). – С. 205–213.
15. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-XII. – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=v19201982>. – Дата доступа: 22.04.2022.

Поступила 11.05.2022