

ISSN 1810-9810

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

NATURAL RESOURCES

**№ 1
2022**

Научное издание
SCIENTIFIC EDITION

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

**Навуковы часопіс
«ПРЫРОДНЫЯ РЭСУРСЫ»**

**Выдаецца з 1996 года
Выходзіць 2 разы ў год
Красавік 2022 г.**

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

Галоўны рэдактар
Аляксандр Іванавіч Чайкоўскі

Рэдакцыйная калегія:
І. І. Ліштван (намеснік галоўнага рэдактара),
М. Я. Нікіфараў (намеснік галоўнага рэдактара),
Я. В. Рошчына (вядучы рэдактар журналу),
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: prirod_res@mail.ru

Падпісныя індэксы:
012762 ведамасны
01276 індывідуальны

Камп'ютарная вёрстка Н. І. Кашуба
Падпісана да друку 7 красавіка 2022 г.
Фармат 60×84 1/8. Папера афсетная. Друк лічбавы.
Ум. друк. л. 15,58. Ул.-выд. л. 17,0.
Наклад 66 экз. Заказ 54.
Кошт: індывідуальная падпіска – 22,24 руб.,
ведомасная падпіска – 22,55 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, 220141, г. Мінск

**Scientific Journal
“NATURAL RESOURCES”**
Published since 1996
Issued twice a year
April 2022

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

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

Subscription indices:
012762 departmental
01276 individual

Computer imposition N. I. Kashuba
Signed for publication April 7, 2022
Format 60×84 1/8. Offset paper. Seal digital.
Related press sheet 15.58. Publisher's signatures 17,0.
Circulation 66 copies. Order 54.
Price: individual subscription – 22,24 BYN,
departmental subscription – 22,55 BYN.

Publisher and printing:
Republican Unitary Enterprise
“Publishing house “Belarusian Navuka”.
Certificates by SRPMDPE N1/18 on 08.02.2013,
N2/196 on 04.05.2017, LP N02330/455 on 12.30.2013.
Str. Skorina, 40, 220141, Minsk

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Мельник В. И., Бровка Ю. А., Бондаренко Ю. А., Буяков И. В., Шумская Т. Г. Оценка изменений агроклиматических ресурсов на территории Беларуси в период осеннего сева озимых зерновых культур.	5
Логинов В. Ф., Савич-Шемят О. Г., Хитриков М. А. Изменение биоклиматического потенциала Республики Беларусь.	16

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Корнеев В. Н., Дубенок С. А., Музыкин В. П., Булак И. А. Прогноз речного стока и гидродинамического режима подземных вод для территорий бассейна реки Припять с нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом.	25
Флюрик Е. А., Масехнович А. А. Фитотестирование осадков сточных вод.	38

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ

Плакс Д. П. Ихтиофауна из нижнедевонских (лохковских) отложений Подляско-Брестской впадины (по результатам изучения разреза скважины Ратайчицы 12 к) (на англ. яз.).	44
---	----

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Чайковский А. И., Козулин А. В., Максименков М. В. Проблемы охраны биоразнообразия и устойчивого использования биологических ресурсов республиканского заказника «Споровский».	67
Алехнович А. В., Лещенко А. В., Молотков Д. В. Оценка влияния весеннего лова раков на нерестующие виды рыб.	72
Зеленкевич Н. А., Груммо Д. Г., Роговский Н. М., Тимашкова А. В., Созинов О. В. Интеграция принципов Изумрудной сети в систему и схемы охраны окружающей среды на территории Беларуси.	79
Охременко Ю. И., Гайдученко Е. С. Морфометрические показатели американского сомика <i>Ameiurus nebulosus</i> (Lesueur, 1819) в водоемах юго-западной части Беларуси.	93
Пакуль П. А., Дмитренко М. Г., Кавитова С. Г., Тарантович М. В. Содержание хлорорганических соединений в яйцах черного аиста (<i>Ciconia nigra</i>) в Беларуси.	99
Феськова Е. В., Леонтьев В. Н., Титок В. В., Анощенко Б. Ю. Жирно-кислотный состав липидов семян некоторых представителей семейства Яснотковые (<i>Lamiaceae</i>).	105
Островский А. М. <i>Oxychilus translucidus</i> (Mortillet, 1854) – новый инвазивный вид наземных моллюсков (Mollusca: Gastropoda: Stylommatophora: Zonitidae) в фауне Беларуси.	110
Груммо Д. Г. Ретроспективный анализ динамики природных пожаров на территории Беларуси на основе данных дистанционного зондирования.	112
Карпаева А. Ю. Сезонная динамика видового состава и численности фитопланктона в подогреваемой и не подогреваемой зонах озера Лукомское.	126

CONTENTS

CLIMATE RESOURCES

Melnik V. I., Brovka Yu. A., Bondarenko Yu. A., Buyakov I. V., Shumskaya T. G. Assessment of changes in agro-climatic resources on the territory of Belarus during the autumn sowing of winter grain crops.

Loginov V. F., Savich-Shemet O. G., Hitykau M. A. Changes in the bioclimatic potential of the Republic of Belarus.

WATER RESOURCES

Korneev V. N., Dubianok S. A., Muzykin V. P., Bulak I. A. Forecast of river runoff and hydrodynamic regime of groundwater for the territories of the Pripyat river basin with disturbed hydrological and hydrodynamic regime.

Flyurik E. A., Masekhovich A. A. Phytotesting of sewage sludge.

MINERAL RESOURCES

Plax D. P. Ichthyofauna from the Lower Devonian (Lohkovsky) deposits of the Podlasie-Brest Depression (from the results of the Rataichitsy 12 k borehole section investigation).

BIOLOGICAL RESOURCES

Tchaikovsky A. I., Kozulin A. V., Maksimenkov M. V. Problems of protection and sustainable use of the biological diversity of the Republican reserve "Sporovsky".

Alekhovich A. V., Leshtenko A. V., Molotkov D. V. The impact of spring crayfish fishing on spawning fish species.

Zeliankevich N. A., Grummo D. G., Rahouski M. M., Tsimashkova A. V., Sozinov O. V. Integration of the Emerald Network principles into the system of Territorial Nature Protection of the Republic of Belarus.

Okhremenko Yu. I., Gajduchenko H. S. Morphological parameters of the brown bullhead *Ameiurus nebulosus* (Lesueur, 1819) in the water bodies of the south-west of Belarus.

Pakul P. A., Dmitrenok M. G., Kavtova S. G., Tarantovich M. V. Organochlorine pesticides content in Black Stork (*Ciconia nigra*) eggs in Belarus.

Feskova A. U., Leontiev V. N., Titok V. V., Anoshenko B. Yu. Fatty acid composition of seed lipids of some representatives of the Lamiaceae family.

Ostrovsky A. M. *Oxychilus translucidus* (Mortillet, 1854) – a new invasive land snail species (Mollusca: Gastropoda: Stylommatophora: Zonitidae) in the fauna of Belarus.

Grummo D. G. Retrospective analysis of the natural fires dynamics on the territory of Belarus based on remote sensing data.

Karpaeva A. U. Seasonal dynamics of the species composition and abundance of phytoplankton in the heated and non-heated zones of Lake Lukomskoe.

ЗМЕСТ

КЛІМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

Мельнік В. І., Броўка Ю. А., Бандарэнка Ю. А., Буякоў І. В., Шумская Т. Р. Ацэнка змяненняў агракліматычных рэсурсаў на тэрыторыі Беларусі ў перыяд осенняга севу азімых зернавых культур.

Логінаў У. Ф., Савіч-Шэмет А. Р., Хітрыкаў М. А. Змена біякліматычнага патэнцыялу Рэспублікі Беларусь.

ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

Карнеев У. М., Дубянок С. А., Музыкін В. П., Булак І. А. Прагноз рачнога сцёку і гідрадынамічнага рэжыму падземных вод для тэрыторый басейна ракі Прыпяць з парушаным гідралагічным і гідрадынамічным рэжымам.

Флюрык А. А., Масяхновіч А. А. Фітатэсціраванне ападкаў сцёкавых вод.

МІНЕРАЛЬНА-СЫРАВІННЫЯ РЭСУРСЫ

Плакс Дз. П. Іхтыяфаўна з ніжнедэвонскіх (лохкаўскіх) адкладаў Падляска-Брэсцкай упадзіны (па выніках вывучэння разрэзу свідравіны Ратайчыцы 12 к) (на англ. мове).

БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

Чайкоўскі А. І., Казулін А. В., Максіменкаў М. В. Праблемы аховы біяразнастайнасці і ўстойлівага выкарыстання біялагічных рэсурсаў рэспубліканскага заказніка «Спораўскі».

Аляхновіч А. В., Лешчанка А. В., Малаткоў Д. В. Ацэнка ўплыву вясновай лоўлі ракаў на нерастуючыя віды рыб.

Зелянкевіч Н. А., Груммо Дз. Г., Рагоўскі М. М., Цімашкова А. У., Созінаў А. В. Інтэграцыя прынцыпаў Ізмуднай сеткі ў сістэму і схемы аховы навакольнага асяроддзя на тэрыторыі Беларусі.

Ахрэменка Ю. І., Гайдучэнка А. С. Марфаметрычныя паказчыкі амерыканскага соміка *Ameiurus nebulosus* (Lesueur, 1819) у вадаёмах паўднёва-заходняй часткі Беларусі.

Пакуль П. А., Дзмітронак М. Г., Кавітава С. Г., Тарантовіч М. В. Утрыманне хлорарганічных злучэнняў у яйках чорнага бусла (*Ciconia nigra*) у Беларусі.

Феськова А. У., Лявонцьеў В. М., Ціток У. У., Аношанка Б. Ю. Склад тлустых кіслот ліпідаў сямейства Ясноткавыя (*Lamiaceae*).

Астроўскі А. М. *Oxychilus translucidus* (Mortillet, 1854) – новы інвазіўны від наземных малюскаў (Mollusca: Gastropoda: Stylommatophora: Zonitidae) у фаўне Беларусі.

Грумо Дз. Г. Рэтраспектыўны аналіз дынамікі прыродных пажараў на тэрыторыі Беларусі па дадзеных дыстанцыйнага зандзіравання.

Карпаева А. Ю. Сезонная дынаміка відавoga складу і колькасці фітапланктону ў падаграваемай і не падаграваемай зонах возера Лукомскае.

ISSN 1810-9810 (Print)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
CLIMATIC RESOURCES
КЛІМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 551.583:633.1 (476)

В. И. Мельник¹, Ю. А. Бровка¹, Ю. А. Бондаренко¹, И. В. Буяков¹, Т. Г. Шумская²

*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: v.melnik 2016@mail.ru*

*²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения
и мониторингу окружающей среды, Минск, Беларусь, e-mail: apm_agro@hmc.by*

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ
В ПЕРИОД ОСЕННЕГО СЕВА ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

Аннотация. Впервые оценены пространственно-временные изменения теплообеспеченности (месячной температуры воздуха, сумм температур воздуха, дат перехода температуры воздуха через +5 °С осенью), условий увлажнения (месячных сумм осадков, гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы 0–20 см, повторяемости почвенных засух) периода осеннего сева озимых зерновых культур в условиях изменения климата на территории Беларуси за 1989–2020 гг.

Ключевые слова: изменение климата, теплообеспеченность и влагообеспеченность территории, агроклиматические показатели увлажнения, почвенная засуха

V. I. Melnik¹, Yu. A. Brovka¹, Yu. A. Bondarenko¹, I. V. Buyakov¹, T. G. Shumskaya²

*¹Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: v.melnik 2016@mail.ru*

*²Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring,
Minsk, Belarus, e-mail: apm_agro@hmc.by*

**ASSESSMENT OF CHANGES IN AGRO-CLIMATIC RESOURCES ON THE TERRITORY
OF BELARUS DURING THE AUTUMN SOWING OF WINTER GRAIN CROPS**

Abstract. In this work such indicators as spatial and temporal changes in heat supply (monthly air temperature, sums of air temperatures, dates of air temperature transition through +5 °C in autumn), moisture conditions (monthly precipitation sums, Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC), productive moisture reserves in the topsoil 0–20 cm, drought frequency) during the autumn sowing of winter grain crops under the conditions of climate change on the territory of Belarus for 1989–2020 were evaluated for the first time.

Keywords: climate change, heat supply and moisture supply of the territory, agro-climatic indicators of moisture, soil drought

В. І. Мельнік¹, Ю. А. Броўка¹, Ю. А. Бандарэнка¹, І. В. Буякоў¹, Т. Р. Шумская²

*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: v.melnik 2016@mail.ru*

*²Рэспубліканскі цэнтр па гідраметэаралогіі, кантролі радыеактыўнага забруджвання
і маніторынгу навакольнага асяроддзя, Мінск, Беларусь, e-mail: apm_agro@hmc.by*

**АЦЭНКА ЗМЯНЕННЯЎ АГРАКЛІМАТЫЧНЫХ РЭСУРСАЎ НА ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ
У ПЕРЫЯД ОСЕННЯГА СЕВУ АЗІМЫХ ЗЕРНАВЫХ КУЛЬТУР**

Анатацыя. Упершыню ацэнены прасторава-часавыя змяненні цеплазабяспечанасці (месячнай тэмпературы паветра, сум тэмператур паветра, дат пераходу тэмпературы паветра праз +5 °С восенню), умоў увільгатнення (месячных сум ападкаў, гідратэрмічнага каэфіцыента Селянінава (ГТК), запасаў прадуктыўнай вільгаці ў ворным слаі глебы 0–20 см, паўтаральнасці глебавых засух) перыяду восенняскай сяўбы азімых збожжавых культур ва ўмовах змены клімату на тэрыторыі Беларусі за 1989–2020 гг.

Ключавыя словы: змяненне клімату, цеплазабяспечанасць і вільгацеазабяспечанасць тэрыторыі, агракліматычныя паказчыкі увільгатнення, глебавая засуха

Введение. Изменение климата является одной из важнейших проблем XXI века, охватывающей экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития любой страны, в том числе и Республики Беларусь. Республика Беларусь характеризуется развитым сельским хозяйством, которое является базовой отраслью экономики и вносит значительный вклад в создание ее валового внутреннего продукта. Наблюдаемое в последние несколько десятилетий на территории Беларуси изменение климата, сопровождающееся ростом температуры воздуха, увеличением продолжительности вегетационного периода, ростом повторяемости волн тепла и засух, оказывает существенное влияние на сельское хозяйство [1, 2]. Все это требует учета изменившихся агроклиматических условий при планировании сельскохозяйственных работ и мероприятий и, в частности, уточнения оптимальных сроков сева озимых культур. Для этого необходимо детальное изучение тепло- и влагообеспеченности осеннего периода. Цель исследования – дать оценку изменений теплообеспеченности и условий увлажнения территории Беларуси в период осеннего сева озимых зерновых культур в условиях современного потепления климата в 1989–2020 гг.

Материалы и методы исследований. Исходными данными для выполнения работы являются данные Государственного климатического кадастра, агрометеорологических наблюдений государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. Анализ материалов, построение рисунков, таблиц выполнено с применением программного пакета MS Office Excel. Для анализа пространственных особенностей изменения средних значений температуры и осадков в период потепления климата 1989–2020 гг. по сравнению с предшествующим периодом 1960–1988 гг. использовали разработанный в Институте природопользования НАН Беларуси сеточный архив метеорологических данных государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь с 1945 по 2020 г. Для анализа изменений пространственного распределения ГТК на территории Беларуси использовали созданную в среде MATLAB компьютерную программу.

Результаты и их обсуждение

Оценка изменения температуры воздуха осеннего периода на территории Беларуси в условиях изменения климата. С 1989 г. на территории Беларуси отмечается самый продолжительный период потепления за период инструментальных наблюдений на протяжении последних почти 130 лет (с 1881 года). С 1989 по 2020 г. среднегодовая температура воздуха по Беларуси превысила климатическую норму ВМО (1961–1990 гг.) в среднем на 1,3 °C, в Гомельской области – на 1,4 °C. В самом теплом 2020 г. среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму ВМО на 3,2 °C и составила 9,1 °C. Из 20 самых теплых лет за весь период метеорологических наблюдений 16 лет пришлось на период потепления (1989–2020 гг.) (рис. 1).

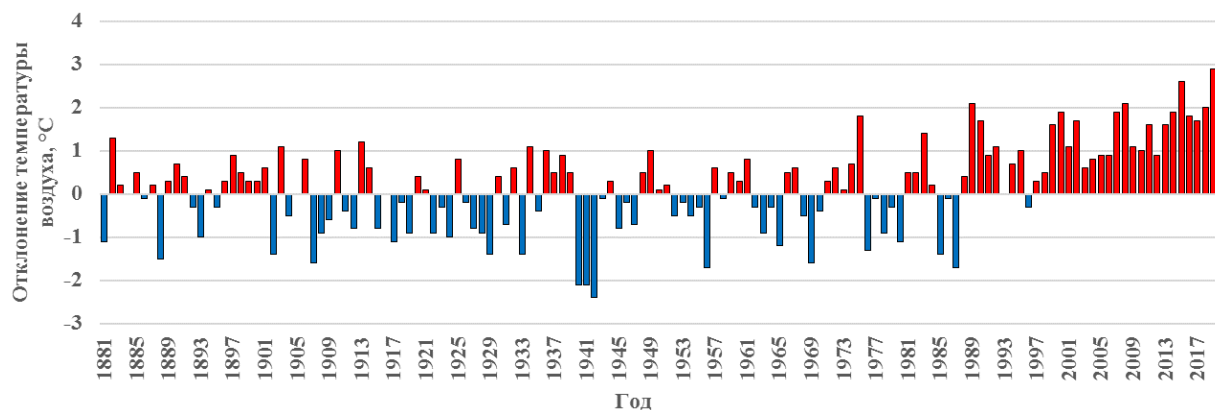


Рис. 1. Отклонения среднегодовой температуры воздуха от климатической нормы 1961–1990 гг. (+5,9 °C) за период инструментальных наблюдений

Потепление климата в Беларуси наблюдалось во все без исключения месяцы года и наиболее выражено в зимне-весенний (январь–апрель), а также в летний (июль–август) и осенний (сентябрь–октябрь) сезоны года (рис. 2).

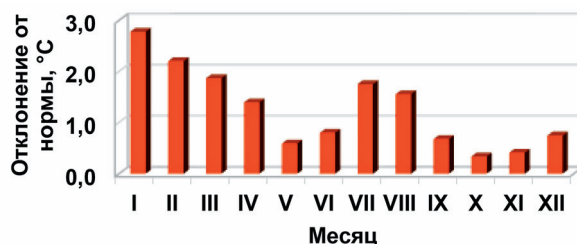


Рис. 2. Отклонение средней месячной температуры воздуха по Беларуси за 1989–2020 гг. от климатической нормы

Исследования показали рост температуры воздуха в осеннее время за период потепления по сравнению с предшествующим периодом, особенно в Витебской области. Для анализа пространственных особенностей изменения средних значений температуры и осадков в период потепления климата (1989–2020 гг.) по сравнению с периодом до потепления (1960–1988 гг.) использовали разработанный в Институте природопользования НАН Беларуси сеточный архив метеорологических данных государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь с 1945 по 2020 г. [3]. Пространственные особенности изменения месячных температур осеннего периода на территории Беларуси за периоды до и после потепления представлены на рис. 3.

Анализ показал, что средняя температура воздуха в период 1989–2020 гг. статистически значимо (5 %-ный уровень ошибки по критерию Стьюдента) растет в сентябре. Статистически

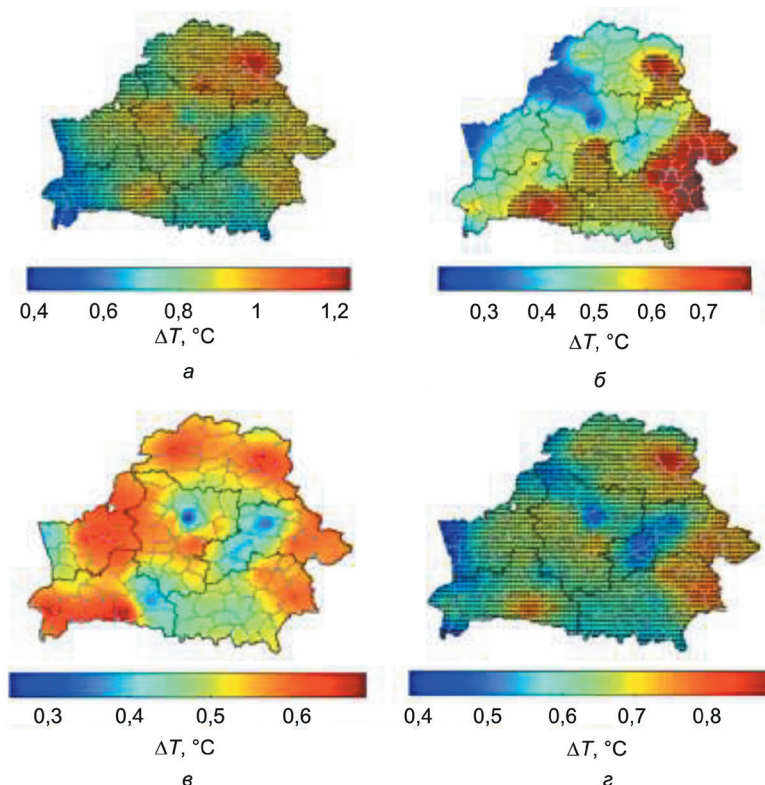


Рис. 3. Разность месячных температур осеннего периода на территории Беларуси до потепления (1960–1988 гг.) и в период потепления (1989–2020 гг.): а – сентябрь, б – октябрь, в – ноябрь, г – сентябрь–ноябрь
Точками показаны статистически значимые различия, уровень значимости 0,05

значимое увеличение температуры воздуха в сентябре отмечается во всех регионах, а наибольшие значения разности температур (0,9–1,1 °C) – в северо-западной части Беларуси. В октябре наиболее значимы разности температур (0,5–0,7 °C) в центральных и восточных регионах страны. В ноябре на большей части территории Беларуси увеличение температуры воздуха за период потепления составляет 0,5–0,6 °C. В целом за осенний период (сентябрь–ноябрь) увеличение температуры статистически значимо во всех регионах и изменяется от 0,4–0,5 °C в отдельных пунктах западной части республики до 0,6–0,8 °C в центральной и восточной части страны.

Указанные пространственно-временные особенности отклонения температуры показывают повышение температуры воздуха в осенний период во всех областях в каждый из месяцев. Как видно из рис. 3, рост температуры воздуха неравномерен по территории, и это важно учитывать при расчетах оптимальных сроков сева озимых зерновых культур осенью. Интенсивный рост температуры воздуха осенью при недостаточном увлажнении оказывает негативное влияние на условия развития озимых зерновых культур, особенно в южных регионах.

Оценка изменения теплообеспеченности территории Беларуси в осенний период по суммам температур в условиях потепления климата. Сумма температур, как показатель уровня теплообеспеченности растений за определенный период на конкретной территории, широко используется в агрометеорологии. В данной работе при подсчете сумм активных температур воздуха использовали период с первого сентября до даты перехода температуры воздуха через +5 °C осенью. Этот период включает в себя начало сева озимых зерновых культур, их вегетацию и прекращение вегетации. Для оценки изменения агроклиматических ресурсов по условиям теплообеспеченности территории Республики Беларусь в период осеннего сева озимых зерновых культур использованы периоды 1960–1988 гг. (до потепления) и 1989–2020 гг. (современный период потепления). На большей части территории Беларуси переход среднесуточной температуры воздуха через +5 °C осенью в условиях изменения климата происходит в период с 23 по 31 октября, в южных и западных районах Брестской области – с 1 по 6 ноября. Сроки перехода среднесуточной температуры воздуха через +5 °C осенью за период потепления незначительно сместились на более поздние. В большинстве пунктов наблюдений в условиях изменения климата переход среднесуточной температуры воздуха через +5 °C отмечается на 1–3 дня позже сроков, характерных для предшествующего потеплению периода, в Могилевской области – на 3–5 дней. Только в Гродненской области сдвиг дат перехода осенью на более поздние сроки менее заметный (табл. 1).

Таблица 1. Изменения дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха осенью через +5 °C на территории Беларуси по пунктам наблюдений

Пункт наблюдений	Период, гг.	
	1989–2020	1960–1988
Витебская область		
Верхнедвинск	24 X	24 X
Полоцк	25 X	23 X
Шарковщина	25 X	24 X
Витебск	25 X	21 X
Лепель	23 X	23 X
Минская область		
Вилейка	25 X	25 X
Борисов	26 X	24 X
Минск	26 X	25 X
Марьина Горка	27 X	24 X
Гродненская область		
Лида	30 X	29 X
Гродно	31 X	01 XI
Новогрудок	24 X	24 X
Волковыск	30 X	30 X

Окончание табл. 1

Пункт наблюдений	Период, гг.	
	1989–2020	1960–1988
<i>Могилевская область</i>		
Горки	22 X	19 X
Могилев	25 X	20 X
Славгород	26 X	21 X
Бобруйск	27 X	23 X
<i>Брестская область</i>		
Барановичи	29 X	27 X
Пружаны	01 XI	31 X
Пинск	03 XI	02 XI
Брест	06 XI	03 XI
<i>Гомельская область</i>		
Жлобин	27 X	25 X
Гомель	28 X	25 X
Василевичи	29 X	29 X
Житковичи	29 X	29 X
Брагин	29 X	26 X

В среднем по административным областям дата перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ в период потепления изменяется от 24 октября в Витебской области до 1 ноября в Брестской области.

Самые ранние даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ осенью в условиях современного потепления климата приходятся на первую декаду октября. Но такое наблюдается не часто. С начала 2000-х годов увеличилась повторяемость лет, когда среднесуточная температура воздуха в ноябре продолжительное время удерживается выше $+5^{\circ}\text{C}$, и сроки перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ осенью смещались на ноябрь. При этом самые поздние даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ в теплые осенние периоды приходятся на 19–26 ноября.

Сумма активных температур выше $+5^{\circ}\text{C}$ за период с 1 сентября до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ в 1989–2020 гг. в среднем составляет от 468–493 $^{\circ}\text{C}$ в Городокском, Поставском, Докшицком, Лепельском и Оршанском районах Витебской области, а также в Горецком районе Могилевской области до 500–600 $^{\circ}\text{C}$ на большей части территории Беларуси. В крайних южных и юго-западных районах республики сумм активных температур выше $+5^{\circ}\text{C}$ накапливается больше 605–645 $^{\circ}\text{C}$ (Брест – 690 $^{\circ}\text{C}$).

Таблица 2. Изменение сумм температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в осенний период (сентябрь–ноябрь) на территории Беларуси

Область	Период, гг.		Разность
	1989–2020	1960–1988	
Витебская	497	455	42
Минская	539	504	35
Гродненская	562	528	34
Могилевская	517	469	48
Брестская	613	560	53
Гомельская	590	546	44

В разрезе областей сумма активных температур выше $+5^{\circ}\text{C}$ за период с 1 сентября до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ в условиях современного потепления климата составляет в среднем от 497 $^{\circ}\text{C}$ в Витебской области, 517 $^{\circ}\text{C}$ в Могилевской области, до 590 и 613 $^{\circ}\text{C}$ в Гомельской и Брестской областях соответственно. Больших различий в приросте термических ресурсов между регионами не отмечено – 34–53 $^{\circ}\text{C}$. Самые холодные

периоды осенней вегетации в условиях изменения климата наблюдались в 1992-м, 1993-м и 2002-м годах. В указанные годы с 1 сентября до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ активных температур выше $+5^{\circ}\text{C}$ накапливалось всего от 325–330 $^{\circ}\text{C}$ в ряде районов Витебской и на севере Могилевской областей, до 430–470 $^{\circ}\text{C}$ в южной части Беларуси [4]. Наиболее теплая погода в период осенней вегетации наблюдалась в 2020-м, а также в 2019-м и 2018-м годах. Максимальная сумма активных температур выше $+5^{\circ}\text{C}$ за период с 1 сентября до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ накопилась в 2020-м году и на большей территории Беларуси составила 750–850 $^{\circ}\text{C}$, в южных районах страны – 880–900 $^{\circ}\text{C}$, в Бресте – около 950 $^{\circ}\text{C}$. Это в основном на 250–300 $^{\circ}\text{C}$ больше средних многолетних показателей для периода потепления климата (табл. 2).

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что в условиях изменения климата (1989–2020 гг.) теплообеспеченность растений осенью улучшилась. Прирост тепла обусловлен в большей степени повышением температурного режима, а в отдельных областях (Могилевская) и увеличением продолжительности осенней вегетации.

Оценка увлажнения осеннего периода территории Беларуси в условиях изменения климата по осадкам. Анализ количества осадков за период 1989–2020 гг. показывает, что их количество в целом по стране увеличилось на 3–4 % по сравнению с климатической нормой (1961–1990 гг.) (рис. 4).

Отмечается тенденция к уменьшению количества осадков в отдельные месяцы теплого периода года (июнь, август, ноябрь) и к увеличению в мае, июле, сентябре и октябре. В остальные месяцы года количество осадков оказалось выше или около нормы 1961–1990 гг. (рис. 5). Наибольший рост количества осадков за период изменения климата отмечен в феврале (28 %), наибольшее уменьшение суммы осадков отмечено в июне (8 %), августе (14 %).

В сравнении с периодом до потепления климата в большинстве областей (кроме Витебской) наблюдается четкая тенденция к уменьшению количества осадков в последний летний месяц – в среднем по областям на 4–9 мм или 9–10 %. Увеличение количества осадков происходит главным образом в октябре, в сентябре – колебания незначительные. На рис. 6 представлено пространственное распределение разностей месячных значений осадков осеннего периода на территории Беларуси до потепления (1960–1988 гг.) и в период потепления климата (1989–2020 гг.). Приведенные значения изменения количества осадков в августе необходимы для оценки условий начала сева озимых зерновых культур.

Как следует из рис. 6, в августе отмечается рост количества осадков на севере Беларуси и их уменьшение на большей части территории, статистически значимое в северной части Гомельской области, в южных и восточных районах Могилевской области. В сентябре наблюдаются статистически незначимые изменения среднего количества осадков, противоположные по знаку в северной и южной частях Беларуси. В октябре увеличение суммы осадков наблюдается во всех областях, наиболее значимо оно в восточной части Беларуси. В целом за август–октябрь среднее количество осадков за период потепления превышает среднее количество осад-

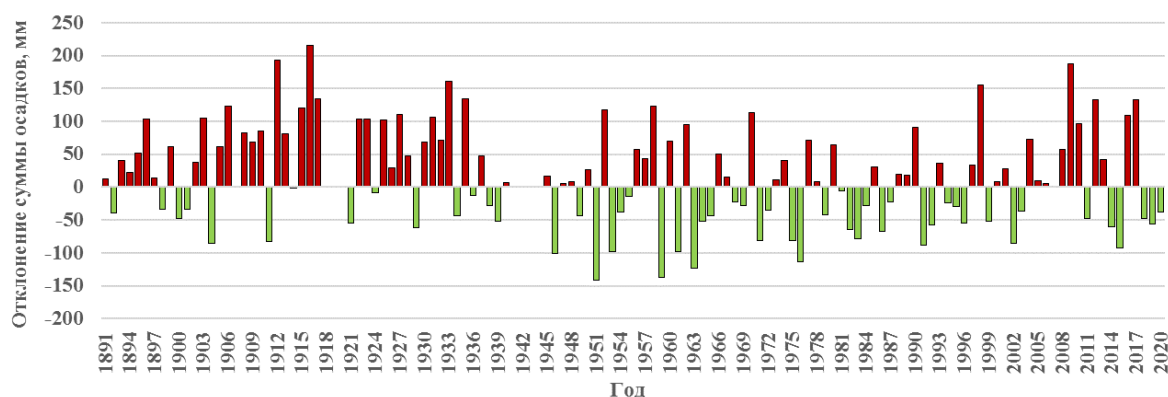


Рис. 4. Отклонение годовых сумм осадков (мм) от климатической нормы 1961–1990 гг. (632 мм) за период инструментальных наблюдений

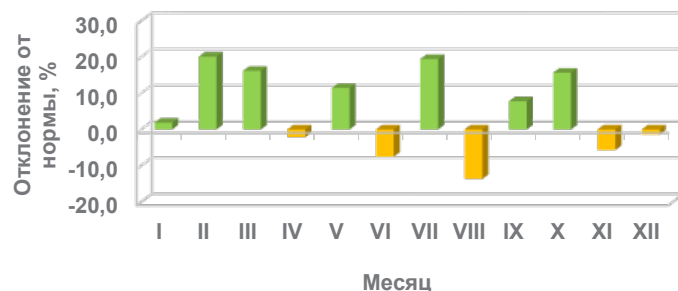


Рис. 5. Отклонение месячных сумм осадков (%) за 1989–2020 гг. на территории Беларуси от климатической нормы

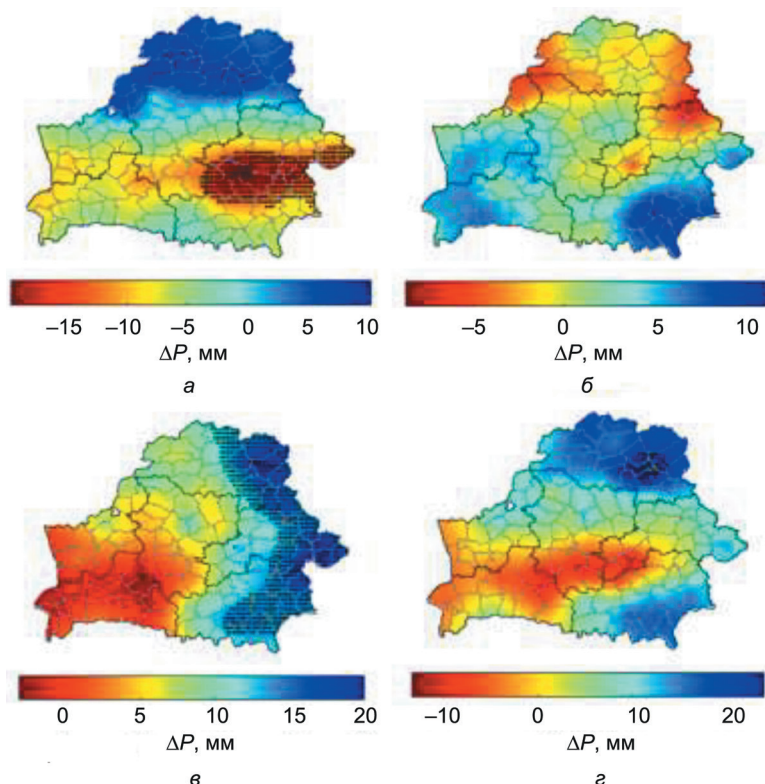


Рис. 6. Разность месячных значений осадков осеннего периода на территории Беларуси до потепления (1960–1988 гг.) и период потепления климата (1989–2020 гг.): а – август, б – сентябрь, в – октябрь, г – август–октябрь. Точками показаны статистически значимые различия, уровень значимости 0,05

ков за 1960–1988 гг. на большей части территории Беларуси за исключением Брестской области. Наиболее значимо изменение осадков за 1989–2020 гг. в Витебской области. Самые влажные периоды осенней вегетации на многих пунктах наблюдений отмечались в 1990-м, 1992-м и 2017-м годах, преимущественно в северной части республики – в 1997-м, 1998-м и 2009-м годах. Количество выпавших осадков за сентябрь–октябрь по данным ряда наблюдательных пунктов в указанные годы достигало 180–230 мм, в северо-западной части Беларуси – 240–260 мм (Верхнедвинск – 291 мм) при средней многолетней величине около 100–140 мм.

Самые засушливые периоды осенней вегетации наблюдались в 2000-м, 2005-м и 2014-м годах. В эти годы в большинстве наблюдательных пунктов количество выпавших осадков за период сентябрь–октябрь не превышало 20–55 мм, в Бресте, Пинске, Бобруйске, Слуцке и Ошмянах в самый сухой год количество осадков уменьшалось до 17–19 мм.

Оценка увлажнения территории по ГТК. В данной работе для оценки увлажнения территории, наряду с количеством осадков, использовали гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК).

Справочно. Гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову (ГТК) – это отношение суммы осадков за определенный период (обычно месяц и более) к сумме температур воздуха выше 10 °С за тот же период, уменьшенной в 10 раз. По ГТК характеризуют следующие условия увлажнения территории: больше 1,6 – влажные, от 1,6 до 1,3 – оптимальные, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливые, от 1,0 до 0,7 – засушливые, от 0,7 до 0,4 – очень засушливые, от 0,4 до 0,2 – сухие, от 0,2 и меньше – очень сухие [5].

Пространственное распределение ГТК в августе–сентябре в период современного потепления климата (1989–2020 гг.) и в предыдущий период (1960–1988 гг.) представлено на рис. 7.

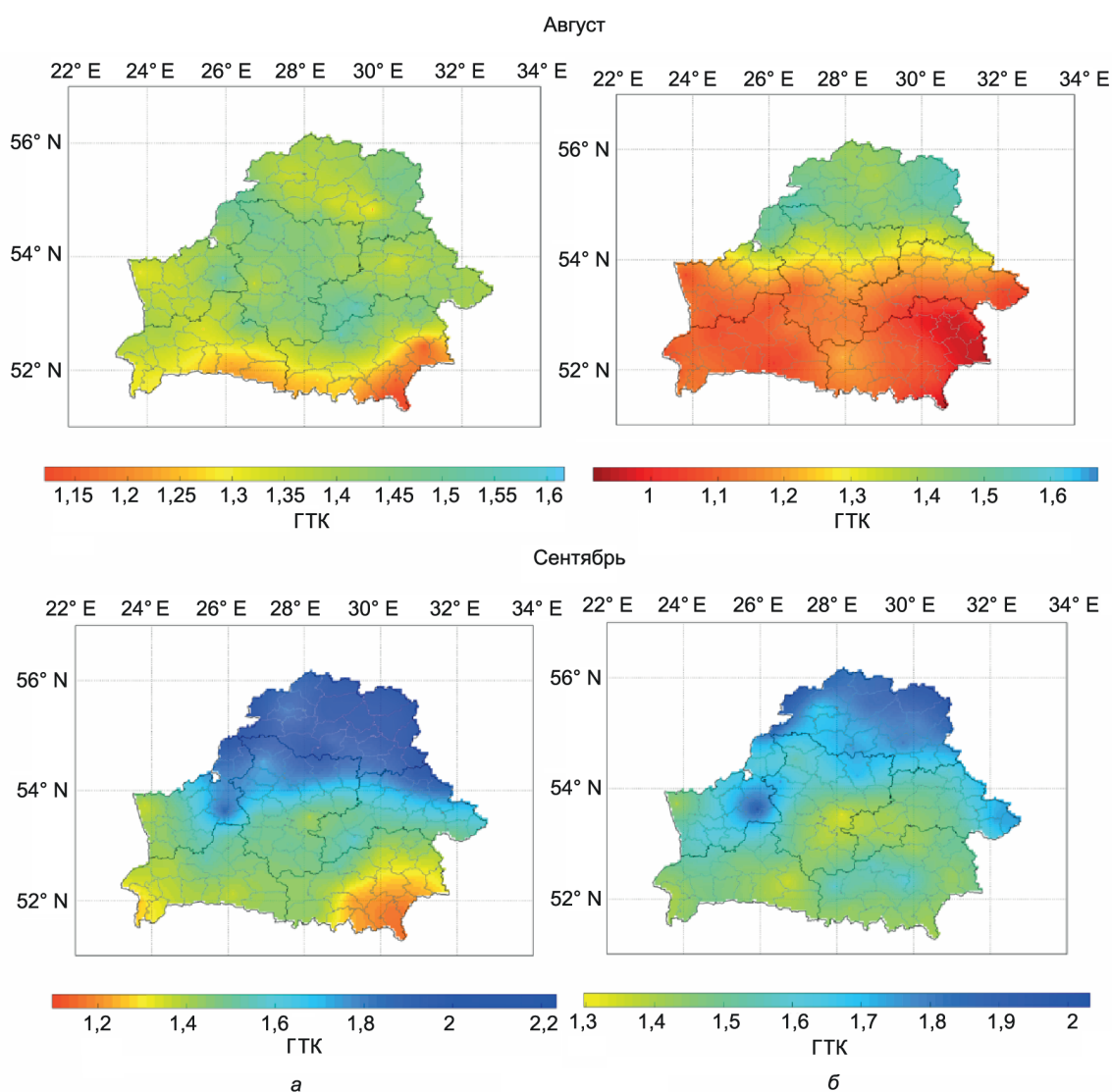


Рис. 7. Пространственное изменение гидротермического коэффициента на территории Беларуси в 1960–1988 гг. (а) и 1989–2020 гг. (б)

В августе в период 1989–2020 гг. наблюдается уменьшение ГТК на большей части территории (южнее 54° с. ш.): формируются слабозасушливые, а на юго-востоке (в районе Гомеля) засушливые (ГТК = 0,9–1) условия. В сентябре в период потепления климата преимущественно для северной части и отдельных западных и восточных районов страны сохраняется избыточное увлажнение, однако площадь его распространения и значения ГТК уменьшаются. Увеличение увлажнения до оптимальных значений характерно для крайнего юго-запада и юго-восточной части Гомельской области; в период 1960–1988 гг. на этой территории отмечались слабозасушливые условия.

Оценка повторяемости почвенных засух в период осеннего сева озимых культур в условиях изменения климата. Повторяемость почвенных засух на территории Беларуси по пунктам наблюдений в осенний период приведена в табл. 3. Началом почвенной засухи в соответствии с установленными критериями считались запасы продуктивной влаги 10 мм и менее в слое 0–20 см [6]. Этот критерий был взят за основу при расчетах повторяемости и продолжительности почвенных засух.

Таблица 3. Повторяемость почвенных засух в слое 0–20 см по административным областям (по факту наличия засухи на 30 % и более метеостанций области, хотя бы в одну декаду)

Область	Месяц			
	август	сентябрь	октябрь	ноябрь
Брестская	60,0	30,0	3,3	0,0
Витебская	26,7	6,7	0,0	0,0
Гомельская	66,7	36,7	10,0	3,3
Гродненская	50,0	23,3	6,7	0,0
Минская	53,3	16,7	0,0	0,0
Могилевская	50,0	13,3	6,7	0,0

Продолжительность почвенных засух. Нередко во время вегетации растений почвенная засуха в пахотном слое может удерживаться на протяжении трех декад подряд и более. Такая засуха считается опасным агрометеорологическим явлением. Почвенная засуха продолжительностью три декады и более условно названа сильной засухой [6]. Наибольшая повторяемость сильных засух наблюдается в Брестской и Гомельской областях в июне и августе, что объясняется в первую очередь существенным уменьшением осадков в эти месяцы за период потепления. Повторяемость (%) лет с почвенной засухой продолжительностью месяц и более в осенний период по пунктам гидрометеорологических наблюдений приведена в табл. 4.

Таблица 4. Повторяемость (%) лет с почвенной засухой продолжительностью месяц и более по пунктам наблюдений

Пункт наблюдений	Период			
	август	сентябрь	октябрь	сентябрь–октябрь
Езерище	3,3	0,0	0,0	0,0
Верхнедвинск	0,0	0,0	0,0	0,0
Полоцк	6,7	0,0	0,0	0,0
Шарковщина	3,3	0,0	0,0	0,0
Витебск	0,0	0,0	0,0	0,0
Лынтупы	6,7	0,0	0,0	0,0
Докшицы	0,0	0,0	0,0	0,0
Лепель	3,3	0,0	0,0	0,0
Сенно	6,7	0,0	0,0	0,0
Орша	3,3	0,0	0,0	0,0
Вилейка	6,7	3,3	0,0	3,3
Борисов	0,0	0,0	0,0	0,0
Воложин	3,3	0,0	0,0	0,0
Минск	3,3	0,0	0,0	0,0
Березино	6,7	6,7	0,0	6,7
Марьина Горка	6,7	3,3	0,0	3,3
Столбцы	0,0	6,7	0,0	6,7
Слуцк	10,0	3,3	0,0	3,3
Ошмяны	0,0	0,0	0,0	0,0
Лида	3,3	6,7	0,0	3,3
Гродно	3,3	0,0	3,3	0,0
Щучин	6,7	0,0	0,0	0,0
Новогрудок	0,0	0,0	0,0	0,0

Окончание табл. 4

Пункт наблюдений	Период			
	август	сентябрь	октябрь	сентябрь–октябрь
Волковыск	10,0	6,7	3,3	13,3
Горки	6,7	0,0	0,0	0,0
Могилев	0,0	3,3	0,0	3,3
Кличев	0,0	0,0	0,0	0,0
Костюковичи	6,7	0,0	0,0	0,0
Бобруйск	3,3	10,0	0,0	10,0
Барановичи	10,0	3,3	0,0	3,3
Ганцевичи	6,7	3,3	3,3	6,7
Ивацевичи	10,0	3,3	0,0	3,3
Пружаны	10,0	0,0	0,0	0,0
Высокое	16,7	3,3	0,0	3,3
Полесская	10,0	0,0	0,0	3,3
Дрогичин	6,7	13,3	0,0	13,3
Пинск	3,3	6,7	0,0	6,7
Брест	10,0	3,3	6,7	10,0
Жлобин	10,0	3,3	0,0	3,3
Октябрь	26,7	3,3	0,0	6,7
Гомель	13,3	3,3	0,0	6,7
Василевичи	16,7	3,3	0,0	6,7
Житковичи	6,7	3,3	0,0	3,3
Мозырь	10,0	3,3	0,0	3,3
Лельчицы	0,0	0,0	0,0	0,0

Как видно из табл. 4, повторяемость сильных почвенных засух за осенний период (сентябрь–октябрь) наблюдается в южных регионах и в большинстве пунктов наблюдений составляет 3,3–6,7 %. Лишь в отдельных пунктах наблюдений (Брест, Бобруйск, Дрогичин, Волковыск) повторяемость почвенных засух увеличивается до 10–13 %. Последние исследования показали тенденцию к увеличению повторяемости сильных почвенных засух в осенний период в период потепления климата по сравнению с предшествующим периодом в Брестской и Гомельской областях в первую очередь на легких песчаных и супесчаных почвах.

Указанные примеры показывают, что начало сева и последующая вегетация озимых зерновых культур в осенний период проходит в целом при достаточном почвенном увлажнении за исключением отдельных лет, когда сроки посева могут задерживаться из-за отсутствия продуктивной влаги в пахотном слое почвы.

Выводы. 1. Результаты настоящего исследования показали, что в условиях изменения климата теплообеспеченность растений осенью улучшилась. Прирост тепла в большей степени обусловлен повышением температурного режима, а в отдельных областях (Могилевская) и увеличением продолжительности осенней вегетации. Сроки перехода средней суточной температуры воздуха через +5 °C осенью за период потепления климата (1989–2020 гг.) сместились на более поздние. В сравнении с периодом до потепления (1960–1988 гг.) сумма активных температур выше +5 °C осенью увеличилась. Рост температуры воздуха неравномерен по территории Беларуси и это важно учитывать при расчетах оптимальных сроков сева озимых зерновых культур осенью.

2. Проведенное исследование количества осадков за период август–октябрь показало, что в сравнении с периодом до потепления в большинстве областей (кроме Витебской) наблюдается тенденция уменьшения количества осадков в последнем летнем месяце – в среднем по областям на 9–14 мм или 12–18 %. В большинстве наблюдательных пунктов уменьшение количества осадков составляет около 10–20 мм. За период сентябрь–октябрь количество осадков, напротив, несколько увеличилось. По данным большинства пунктов наблюдений в условиях изменения климата за сентябрь–октябрь осадков выпадает на 5–10 мм больше, в отдельных

северо-восточных, восточных и юго-восточных районах республики – на 15–20 мм больше. При этом следует отметить, что увеличение количества осадков произошло главным образом в октябре, в сентябре колебания незначительные.

3. В августе в период 1989–2020 гг. наблюдается уменьшение ГТК. На большей части территории (южнее 54° с. ш.) формируются слабозасушливые, а на юго-востоке (в районе Гомеля) засушливые (ГТК = 0,9–1) условия. В сентябре в период потепления климата преимущественно для северной части и отдельных западных и восточных районов страны сохраняется избыточное увлажнение, однако площадь его распространения и значения ГТК уменьшаются. Увеличение увлажнения до оптимальных значений характерно для крайнего юго-запада и юго-восточной части Гомельской области; в период 1960–1988 гг. на этой территории отмечались слабозасушливые условия.

4. В сентябре ко времени сева озимых зерновых культур в условиях потепления климата на песчаных и супесчаных почвах, подстилаемых моренным суглинком, средние многолетние запасы продуктивной влаги вполне удовлетворительные, однако часто, особенно в южных областях, в сентябре случаются почвенные засухи различной интенсивности. В октябре влагообеспеченность озимых зерновых культур на основных массивах хорошая, вместе с тем хотя бы один раз в 5–10 лет в южной части Беларуси недостаток почвенной влаги отмечается и в октябре. Повторяемость сильных почвенных засух в октябре незначительная, и в отдельных южных районах на легких почвах составляет 3,3–6,7 %.

5. В целом следует отметить улучшение агрометеорологических условий осеннего периода для сева и последующего роста и развития озимых зерновых культур. Вызвано это прежде всего ростом температур и увеличением количества осадков за сентябрь–октябрь. Начало сева и последующая вегетация озимых зерновых культур в осенний период проходит в целом при достаточном почвенном увлажнении за исключением отдельных лет, когда сроки посева могут задерживаться из-за отсутствия продуктивной влаги в пахотном слое почвы.

6. Полученные результаты исследования в дальнейшем будут использованы при определении оптимальных сроков сева озимых зерновых культур, а также могут быть использованы в организациях Министерства сельского хозяйства и продовольствия при планировании сельскохозяйственных работ и мероприятий с учетом изменения климатических и агроклиматических ресурсов.

Благодарности. Настоящая работа выполнена в рамках Плана научных исследований и разработок общегосударственного, отраслевого назначения, направленных на научно-техническое обеспечение деятельности Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь на 2021 год.

Список использованных источников

1. Мельник, В. И. Основные результаты мониторинга изменения климата на территории Республики Беларусь / Фитосанитарная ситуация в Беларуси в условиях изменения климата / В. И. Мельник; Ин-т защиты растений; под ред. С. В. Сороки, Е. А. Якимович. – Минск: Колорград, 2019. – С. 5–13.
2. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник: 2-е изд. доп. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
3. Лысенко, С. А. Сеточный архив метеорологических данных для Республики Беларусь и возможности его применения для исследования пространственно-временных особенностей изменений климата / С. А. Лысенко, В. Д. Чернышев, В. В. Коляда // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 17–27.
4. Научно-прикладной справочник по агроклиматическим ресурсам Республики Беларусь на основе современных изменений климата за 1989–2018 годы; под ред. И. С. Данилович, В. И. Мельника // Отчет: Оценка влияния изменения климата на агроклиматические ресурсы территории Беларуси, разработка и реализация мероприятий по адаптации к изменению климата (заключит.). Договор с Минприроды № 56/3/1.10/2020, №115Б-2020 от 23.06.2020 г.; рук. И. С. Данилович; исполн.: В. И. Мельник [и др.]. – Минск, 2020. – 331 с.
5. Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР // Госком. СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды Бел. респ. управления по гидрометеорологии и контролю природной среды. Гидрометеорологический центр; под ред. М. А. Гольберга, В. И. Мельника. – Минск, 1985. – 451 с.
6. Пространственно-временные изменения почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 15–21.

Поступила 24.01.2022

В. Ф. Логинов, О. Г. Савич-Шемер, М. А. Хитриков*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: savichoks@yandex.ru***ИЗМЕНЕНИЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. Выполнены статистические расчеты эквивалентно-эффективной температуры, индекса суровости погоды для 49 метеостанций территории Беларуси за период инструментальных наблюдений 1966–2019 гг. Индекс суровости погоды позволил охарактеризовать степень влияния изменчивых погодных условий на функциональное состояние организма. Комфортные условия погоды отмечаются лишь в летний период, в зимний – их характер раздражающий или острый. Выявлены изменения биоклиматических показателей территории республики в связи с изменениями атлантической мультideкадной осцилляции.

Ключевые слова: биоклимат, биоклиматический показатель, комфортные условия, индекс суровости погоды, атлантическая мультideкадная осцилляция

V. F. Loginov, O. G. Savich-Shemet, M. A. Hitykau*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: savichoks@yandex.ru***CHANGES IN THE BIOCLIMATIC POTENTIAL OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. The article presents statistical calculations of equivalent-effective temperature, weather severity index for 49 weather stations in Belarus for the period of instrumental observations 1966–2019. The weather severity index allowed us to characterize the degree of influence of variable weather conditions on the functional state of the body. Comfortable weather conditions are noted only in summer, in winter their nature is exasperating or acute. Changes in bioclimatic indicators of the territory of the republic in connection with changes in the Atlantic multidecadal oscillation were revealed.

Keywords: bioclimate, bioclimatic indicator, comfortable conditions, weather severity index, atlantic multi-decadal oscillation

У. Ф. Логінаў, А. Р. Савіч-Шэмет, М. А. Хітрыкаў*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: savichoks@yandex.ru***ЗМЕНА БІАКЛІМАТЫЧНАГА ПАТЭНЦЫЯЛУ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ**

Анатацыя. Выкананы статыстычныя разлікі эквівалентна-эфектыўнай тэмпературы, індэкса суровасці надвор'я для 49 метэастанцый тэрыторыі Беларусі за перыяд інструментальных назіранняў 1966–2019 гг. Індэкс суровасці надвор'я дазваляе ахарактарызаваць ступень уплыву зменлівых умоў надвор'я на функцыянальны стан арганізма. Камфортныя ўмовы надвор'я адзначаюцца толькі ў летні перыяд, у зімовы перыяд іх характар раздражняльны ці востры. Выяўлены змяненні біякліматычных паказчыкаў тэрыторыі рэспублікі ў сувязі са зменамі атлантычнай мульты-дэкаднай асцыляцыі.

Ключавыя словы: біяклімат, біякліматычны паказчык, камфортныя ўмовы, індэкс суровасці надвор'я, атлантычная мультыдэкадная асцыляцыя

Введение. Среди природных ресурсов любой территории особое место занимают климатические ресурсы, играющие главенствующую роль в пространственной организации отдыха населения. При оценке климата как рекреационного ресурса необходимо выявить степень его благоприятного воздействия на здоровье человека. Очевидно, что значение климатических ресурсов велико не только при организации санаторно-курортного лечения, но и при организации всех других видов рекреационной деятельности.

Биологическое значение среды обитания отмечалось еще в трудах основоположника классической медицины Гиппократ (460–377 г. до н. э.), исследовавшего воздействие климата на человека и давшего объяснение этому воздействию. Сохранились и сочинения греческого врача Диокла из Кариста по биометеорологии (IV в. до н. э.), где он разделяет год на шесть периодов, в течение каждого из которых должен меняться образ жизни. В средние века знания древних греков, римлян, арабов в области биоклиматологии попадают в Среднюю Европу, благодаря странствующим монахам. В начале XVI в. Теофраст фон Гогенгейм, более известный под именем Парацельс (1493–1541), приводит в своих трудах основные биоклиматические параметры, влияющие на здоровье человека и определенные заболевания. С его именем связывают начало климатических и метеорологических исследований с точки зрения медицины. Впервые определил и доказал связь между смертностью населения и климатическими условиями не-

мецкий медик К. В. Гуфеланд (личный врач И. В. Гете). В России положил начало научным исследованиям в области медицинской метеорологии и климатологии А. И. Воейков.

Методы и методика исследований. При выборе методов исследования биоклиматических ресурсов Беларуси используются оценочные методики, разработанные для других территорий: Л. Б. Башалханова, Л. П. Сорокина (Дискомфортность климата Иркутской области, 1991), Е. А. Григорьева (Оценка дискомфорта климата Еврейской автономной области, 2003), В. И. Русанова (Биоклимат Западно-Сибирской равнины, 2004), И. В. Архиповой, О. В. Ловцкой (Медико-географическая оценка климатической комфортности на территории Алтайского края, 2005), Ю. П. Переведенцева (Характеристика биоклимата Республики Татарстан, 2009) и др. В настоящее время известны и применяются для расчетов около 30 биометеорологических показателей (индексов). Биоклиматические показатели разработаны применительно к человеку и характеризуют связь климата с его тепловым состоянием, здоровьем, особенностями рекреации и санитарно-гигиенической оценкой в естественных условиях.

Информационной базой работы послужили ряды многолетних метеорологических наблюдений за температурой атмосферного воздуха, относительной влажностью, скоростью ветра и продолжительностью солнечного сияния на метеорологических станциях Беларуси.

Расчеты эффективной и эквивалентно-эффективной температуры, индекса суровости погоды для территории Беларуси выполнены для суточных значений температуры атмосферного воздуха, влажности и скорости ветра по данным инструментальных наблюдений на 49 метеорологических станциях за периоды:

1966–2019 гг.: Барановичи, Брагин, Брест, Василевичи, Верхнедвинск, Витебск, Гомель, Горки, Гродно, Лида, Марына Горка, Минск, Могилев, Новогрудок, Пинск, Полоцк, Шарковщина;

1977–2019 гг.: Березино, Бобруйск, Борисов, Вилейка, Волковыск, Воложин, Высокое, Ганцевичи, Докшицы, Езерище, Житковичи, Жлобин, Ивацевичи, Кличев, Костюковичи, Лельчицы, Лепель, Лынтупы, Мозырь, оз. Нарочь, Октябрь, Орша, Ошмяны, Полесская, Пружаны, Сенно, Славгород, Слуцк, Столбцы, Толочин, Чечерск;

1979–2019 гг.: Березинский заповедник;

2008–2019 гг.: Мстиславль;

1982–2019 гг.: Колодищи.

Цель данной работы – геоэкологическая интегральная оценка изменений климатической комфортности территории Беларуси на основе параметризации и анализа биоклиматической составляющей ее природно-ресурсного потенциала с использованием интегральных биоклиматических показателей (индексов) в условиях современного изменения климата.

Для достижения поставленной задачи было необходимо решить следующие задачи: выполнить расчет биоклиматических индексов (эффективной и эквивалентно-эффективной температуры, индекса суровости погоды) по данным метеорологических наблюдений на 49 метеорологических станциях Беларуси за период инструментальных наблюдений; проанализировать пространственное распределение биоклиматических индексов по территории Беларуси; провести картирование территории Беларуси и определить зоны комфорта; выполнить анализ климатических ресурсов, включающий особенности пространственно-временного распределения комфортности.

Из многочисленных подходов к оценке комфортного состояния человека при воздействии на него комплекса метеорологических показателей наиболее часто используется эффективная (ЭТ) и эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ). ЭТ представляет собой температуру неподвижного воздуха, насыщенного водяным паром, в котором человек испытывает субъективно такое же ощущение комфорта, как и в среде, для которой определяется эффективная температура. Расчет эффективной температуры производится по формуле:

$$ЭТ = t - 0,4(t - 10) \left(1 - \frac{f}{100} \right), \quad (1)$$

где ЭТ – эффективная температура; t – температура воздуха, °C; f – относительная влажность, %.

Теплоощущения человека с зависимости от значений ЭТ по данным [4] представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Теплоощущения человека в зависимости от значений ЭТ

Интервал значений ЭТ	Более 30	24...30	18...24	12...18	6...12
Ощущение	Очень жарко	Жарко	Тепло	Умеренно тепло	Умеренно
Нагрузка	Сильная	Умеренная	Комфортно	Комфортно	Комфортно
Интервал значений ЭТ	0...6	-12...0	-12...-24	-24...-30	Менее -30
Ощущение	Прохладно	Холодно	Очень холодно	Крайне холодно	Крайне холодно
Нагрузка	Комфортно	Умеренная	Сильная угроза обморожения	Очень сильная угроза обморожения	Чрезвычайно высокая вероятность замерзания

Эквивалентно-эффективная температура учитывает комплексное влияние на человека температуры, влажности воздуха и скорости ветра [2]. Этот показатель характеризует теплоощущения одетого человека, а зона комфорта по значениям определяется как совокупность метеорологических условий, в которых человек получает субъективно хорошее теплоощущение, удерживает нормальный теплообмен, сохраняет нормальную температуру тела и не выделяет пота [4].

В условиях умеренных широт, в том числе для территории Беларуси для совместной оценки воздействия t , f и v используется ЭЭТ, предложенная Б. А. Айзенштатом [1]:

$$\text{ЭЭТ} = t[1 - 0,003(100 - f)] - 0,358v^{0,59}[(36,6 - t) + 0,622(v - 1)] + [(0,0015v + 0,008)(36,6 - t) - 0,0167](100 - f) \quad (2)$$

В табл. 2 приведены категории теплоощущений, комфортности, границы зоны охлаждения и перегрева ЭЭТ в условиях умеренных широт.

Т а б л и ц а 2. Категории теплоощущения в градусах ЭЭТ в условиях умеренных широт

Категория теплоощущения	ЭЭТ раздетого человека	ЭЭТ одетого человека
Комфортно	17,3–21,7	16,7–20,6
Зона охлаждения	Ниже 17,3	Ниже 16,7
Зона перегрева	Выше 21,7	Выше 20,6

Для биоклиматической оценки холодного периода также существуют методы оценки суровости погоды. Отмечено, что тепловое состояние человека в холодный период года в основном определяется низкой температурой воздуха и скоростью ветра, которые влияют на охлаждение незащищенных частей тела, и на органы дыхания [1]. В приморских районах дополнительную холодовую нагрузку может вызывать относительная влажность воздуха.

Для этих целей наиболее часто используется метод Бодмана, который позволяет определять в баллах индекс суровости погоды по формуле:

$$S = (1 - 0,04t)(1 + 0,27v), \quad (3)$$

где S – индекс суровости погоды, балл; t – температура воздуха, °C; v – скорость ветра, м/с.

Согласно шкале Бодмана при $S < 1$ зима несуровая, мягкая; 1–2 – зима малосуровая; 2–3 – умеренно суровая; 3–4 – суровая; 5–6 – жестко суровая; 6 – крайне суровая.

Для расчета корреляционной функции полей показателей биоклимата $r(L)$ выполнен расчет коэффициентов корреляции:

$$r = \frac{\sum (x_a - \bar{x})(x_b - \bar{x}) + n\bar{x}^2}{\sqrt{\left[\sum (x_a - \bar{x})^2 + n\bar{x}^2\right] \left[\sum (x_b - \bar{x})^2 + n\bar{x}^2\right]}}, \quad (5)$$

где x_a и x_b – значения показателя в точках a и b ; $\bar{x}$ – среднее значение на данной станции за период осреднения.

В рамках данного исследования оценены изменения значений биоклиматических показателей за период 1966–2019 гг. В связи с особенностями изменения атлантической мультideкадной осцилляции (Atlantic multidecadal oscillation – AMO), одного из проявлений естественной изменчивости в системе океан–атмосфера, характерный масштаб которого определяется скоростью меридиональной океанической циркуляции в Северной Атлантике выделены три периода (фазы) в изменении AMO (рис. 1): 1966–1976 гг. – период отрицательных значений индекса AMO; 1977–2000 гг. – период отрицательных значений индекса AMO возрастающей ветви; 2001–2019 гг. – период положительных значений индекса AMO.

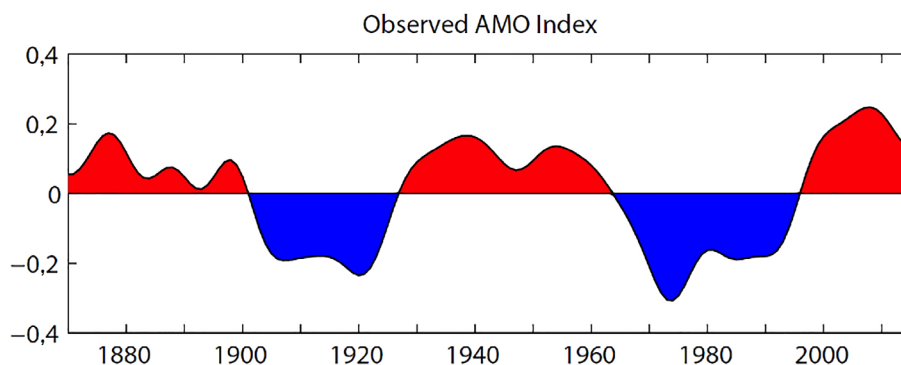


Рис. 1. Изменчивость AMO за период 1870–2015 гг.

AMO влияет на различные климатические характеристики: температуру воздуха и сток рек в Европейском и Северо-Американском регионах, количество и интенсивность тропических циклонов в Атлантике, параметры среднеширотных циклонов и антициклонов в Атлантико-Европейском регионе. Главным механизмом, посредством которого AMO влияет на климатические характеристики прилегающих к Северной Атлантике регионов, является атмосферная реакция на термические аномалии в океане, приводящая к смещению центров действия атмосферы, изменению интенсивности и преобладающего направления распространения атмосферных циклонов и антициклонов. Ранее проведенными исследованиями показано, что AMO определяет существенную долю низкочастотной изменчивости температуры в Европе [5].

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования пространственной статистической структуры полей средних многолетних значений ЭТ, ЭЭТ по Айзенштату, индекса суровости на территории Республики Беларусь представлены на рис. 2. Наибольшим разбросом значений характеризуется ЭЭТ по Айзенштату, минимальным – индекс суровости.

По значениям ЭТ в многолетнем осреднении территория Беларуси практически полностью находится в категории «умеренно» по ощущениям и «комфортно» по нагрузке, за исключением метеостанций Езерище и Горки, где, если взять за основу классификацию, приведенную в табл. 1 [2, 4], «прохладно» по ощущениям и «комфортно» по нагрузке. Среднемноголетнее значение эффективной температуры изменяется от 5,83 на востоке республики (метеостанция Горки) до 8,17 на юго-западе (метеостанция Брест).

Минимальным среднемноголетним значением ЭЭТ по Айзенштату характеризуется метеостанция Горки (–12,83), максимальным – метеостанция оз. Нарочь (–2,15). Минимальным среднемноголетним значением индекса суровости характеризуется метеостанция оз. Нарочь (1,04), максимальным – метеостанция Горки (1,59).

Пространственное распределение ЭТ отличается выраженной широтной зональностью, тогда как распределение ЭЭТ и индекса суровости погоды определяется локальными особенностями (см. рис. 2). Распределение ветровой нагрузки по территории республики оказывает существенное влияние на биоклиматические характеристики и по индексу суровости погоды наиболее комфортной определена центральная, западная (с учетом оз. Нарочь), юго-западная и юго-восточная части республики, тогда как по показателю ЭТ к таковым традиционно относится юг Беларуси, включая станцию Брест.

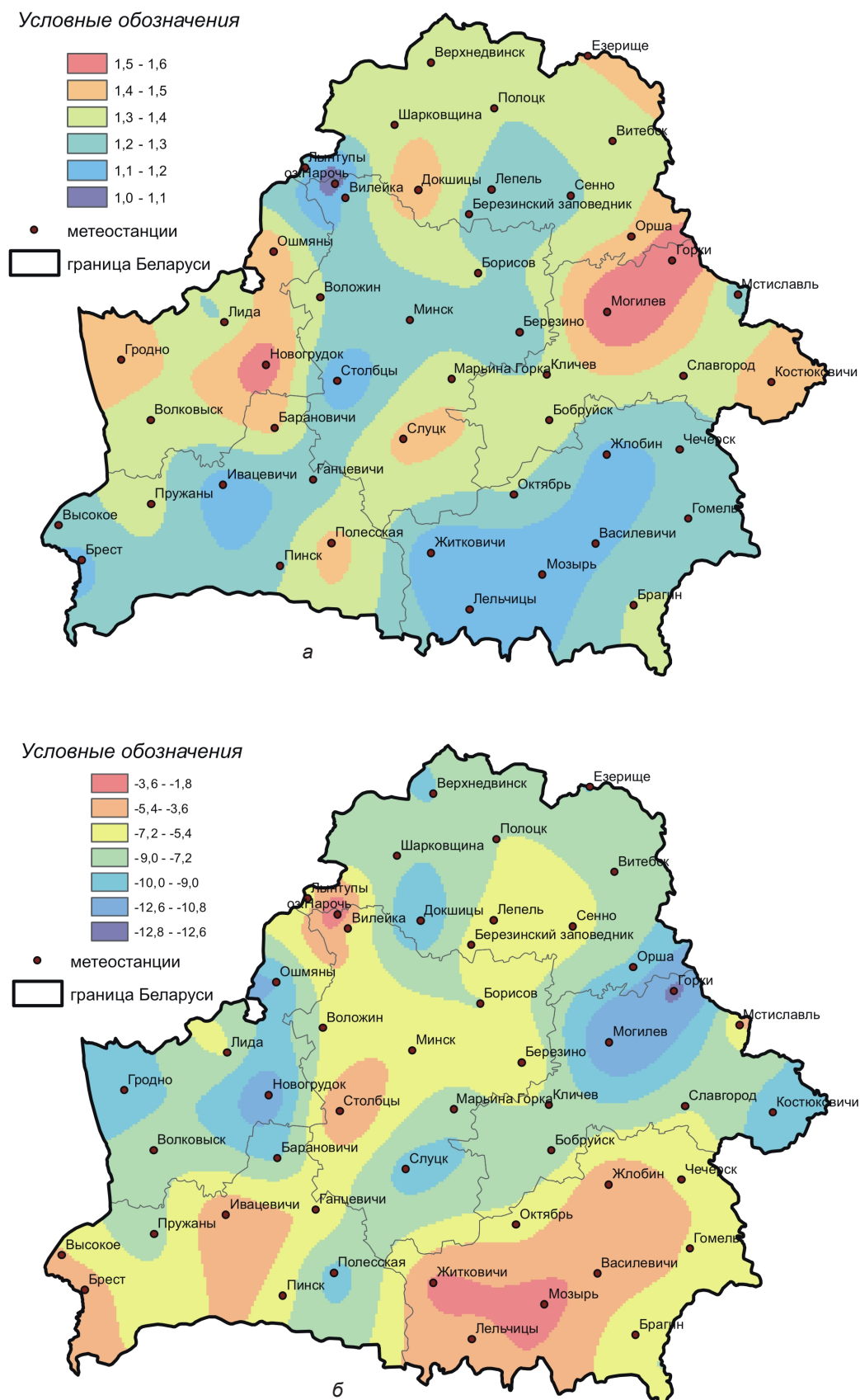


Рис. 2. Пространственное распределение биоклиматических показателей на территории Беларуси:
а – индекс суровости погоды, б – ЭТТ по Айзенштату

Согласно результатам ранее выполненных исследований ЭЭТ (по Миссенарду) за период 1966–2020 гг. территория Беларуси к настоящему времени относится к области холодной погоды, где средние значения ЭЭТ по Миссенарду не опускаются ниже -12°C . В течение теплого периода года территория Беларуси располагается в пределах области прохладной погоды, причем средние значения индекса не поднимаются выше 16°C [3].

Результаты расчетов ЭЭТ по 49 станциям Республики Беларусь в климатическом осреднении показали, что ЭЭТ имеет хорошо выраженный годовой ход: в январе наблюдаются наименьшие значения от $-22,45$ (Горки) до $-10,98$ (оз. Нарочь), а в июле – наибольшие, которые на территории республики изменяются от $10,66$ (Ошмяны) до $14,15$ (Мозырь). При этом в холодный период разброс значений ЭЭТ заметно больше, чем в теплый: среднеквадратическое отклонение изменяется от $2,01$ в январе до $0,85$ в июле месяце. Эта сглаженная картина получена осреднением за период инструментальных наблюдений. Если взять за основу классификации теплоощущения человека критерии, предложенные [3, 4], то умеренно тепло в многолетнем осреднении на территории Республики Беларусь бывает только в июле и отмечается на 33 станциях из 49.

Расчеты ЭЭТ по суточным данным позволили выявить минимальные значения ЭЭТ, рассчитанные по минимально наблюдаемым значениям исходных данных (табл. 3). Так, в январе минимальное значение ЭТ составило: $-25,93$ в Горках, $-25,63$ на оз. Нарочь и $-21,51$ в Бресте; минимальное значение ЭЭТ по Айзенштату составило: $-97,19$ в Горках, $-61,96$ на оз. Нарочь и $-58,84$ в Бресте; минимальное значение индекса суровости составило: $-0,39$ в Горках, $-0,11$ на оз. Нарочь и $-0,32$ в Бресте. Максимальное значение ЭТ в июле составило: $24,82$ в Горках, $26,37$ на оз. Нарочь и $25,30$ в Бресте, максимальное значение ЭЭТ по Айзенштату составило: $23,23$ в Горках, $24,52$ на оз. Нарочь и $23,47$ в Бресте; максимальное значение индекса суровости составило: $9,35$ в Горках, $4,38$ на оз. Нарочь и $5,11$ в Бресте.

Т а б л и ц а 3. Минимальные и максимальные значения биоклиматических индексов

Станция	Min				Max			
	ЭТ	ЭЭТ по Миссенарду	ЭЭТ по Айзенштату	индекс суровости	ЭТ	ЭЭТ по Миссенарду	ЭЭТ по Айзенштату	индекс суровости
Горки	$-25,93$	$-52,65$	$-97,19$	$-0,39$	$24,82$	$22,99$	$23,23$	$9,35$
оз. Нарочь	$-25,63$	$-44,07$	$-61,96$	$-0,11$	$26,37$	$24,70$	$24,52$	$4,38$
Брест	$-21,51$	$-43,75$	$-58,84$	$-0,32$	$25,30$	$23,17$	$23,47$	$5,11$

Повторяемость значений ЭЭТ, соответствующих различным интервалам степени тепловой чувствительности человека, представленной в [3, 4], приведена в табл. 4. Расчеты выполнены для метеостанций с максимальным периодом наблюдений.

Т а б л и ц а 4. Повторяемость различных значений ЭЭТ за период инструментальных наблюдений, %

Станция	18...24	12...18	6...12	0...6	-6...0	-6...-12	-12...-18	-18...-24	Менее -24
Барановичи	1,18	10,75	18,33	15,07	13,01	15,25	14,83	7,10	4,47
Брест	2,36	14,51	19,28	15,28	14,41	17,72	10,52	4,22	1,70
Василевичи	2,98	15,73	18,62	13,64	13,48	16,54	11,00	5,45	2,56
Верхнедвинск	0,77	9,74	18,30	14,89	12,69	16,71	14,71	7,25	4,96
Горки	0,82	9,66	17,10	14,46	10,97	12,55	16,27	9,65	8,52
Минск	2,01	13,21	18,54	14,09	12,93	16,85	12,51	6,46	3,40
оз. Нарочь	2,42	14,58	20,52	15,97	17,36	16,62	7,74	3,30	1,47
Пинск	2,25	13,47	19,03	14,89	13,39	16,66	11,52	5,58	3,22

Как видно из табл. 4 уровень комфорта человека в районе оз. Нарочь, Пинска, Бреста Василевичей определяется как «умеренно тепло или прохладно» в $32,5$ – $35,11$ % времени, тогда как на метеостанциях Барановичи, Горки, Верхнедвинск – в $26,77$ – $29,08$ % времени.

Рассчитывались также ежедневные значения индекса суровости погоды по Бодману для месяцев с октября по апрель для каждой из станций на территории республики за период наблюдений. Индекс суровости максимального значения достигает в январе в Горках (табл. 5) и сравнительно равномерно распределяется по территории республики. На станции Горки отмечены «крайне суровые» зимы, тогда как для оз. Нарочь максимально возможной является «суровая» зима. В среднемноголетнем разрезе для станции Горки характерны «умеренно суровые» зимы, для оз. Нарочь зимы «малосуровые».

Т а б л и ц а 5. Среднемноголетние и максимальные значения индекса суровости

Станция	Январь	Февраль	Март	Апрель	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Среднемноголетние за период наблюдений							
Горки	2,80	2,67	2,21	1,51	1,55	2,11	2,54
оз. Нарочь	1,63	1,60	1,35	1,01	1,07	1,33	1,50
Максимально наблюдаемые за период							
Горки	9,35	8,38	6,48	3,74	4,12	4,76	6,81
оз. Нарочь	4,38	3,78	3,28	2,19	3,25	3,18	4,30

Особый интерес представляет исследование изменений биоклиматического потенциала с фазами атлантического мультидекадного колебания. Результаты расчетов биоклиматических показателей по фазам АМО для метеостанций с максимальным периодом инструментальных наблюдений представлены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6. Биоклиматические показатели (среднемноголетние) по периодам АМО

Станция	Период, г.	Показатель			Станция	Период, г.	Показатель		
		ЭТ	ЭЭТ	S			ЭТ	ЭЭТ	S
Барановичи	1966–1976	6,60	–4,37	1,60	Лида	1966–1976	6,39	–4,19	1,53
	1977–2000	6,71	–3,53	1,46		1977–2000	6,74	–2,70	1,35
	2001–2019	7,82	–1,00	1,25		2001–2019	7,77	0,13	1,12
Брагин	1966–1976	6,89	–2,79	1,44	Марьина Горка	1966–1976	6,03	–4,88	1,63
	1977–2000	6,91	–2,28	1,37		1977–2000	6,44	–3,37	1,41
	2001–2019	7,98	0,79	1,11		2001–2019	7,54	–0,55	1,18
Брест	1966–1976	7,67	–1,37	1,27	Минск	1966–1976	6,03	–3,74	1,44
	1977–2000	7,91	–0,52	1,20		1977–2000	6,44	–2,43	1,30
	2001–2019	8,87	1,18	1,08		2001–2019	7,47	0,70	1,07
Василевичи	1966–1976	6,95	–1,94	1,33	Могилев	1966–1976	5,86	–4,88	1,63
	1977–2000	7,00	–0,91	1,19		1977–2000	5,85	–5,29	1,64
	2001–2019	7,98	1,30	1,05		2001–2019	6,86	–3,33	1,47
Верхнедвинск	1966–1976	5,55	–4,44	1,51	Новогрудок	1966–1976	5,90	–5,36	1,69
	1977–2000	5,91	–4,07	1,45		1977–2000	6,14	–4,85	1,63
	2001–2019	6,85	–1,79	1,26		2001–2019	6,86	–3,33	1,47
Витебск	1966–1976	5,40	–5,73	1,70	Пинск	1966–1976	6,90	–4,07	1,63
	1977–2000	5,97	–3,37	1,41		1977–2000	7,41	–1,51	1,30
	2001–2019	7,09	–0,08	1,13		2001–2019	8,56	1,22	1,05
Гомель	1966–1976	6,63	–3,77	1,56	Полоцк	1966–1976	5,56	–4,32	1,48
	1977–2000	7,07	–1,82	1,29		1977–2000	5,97	–3,24	1,36
	2001–2019	8,20	1,30	1,05		2001–2019	6,97	–0,26	1,14
Горки	1966–1976	5,31	–6,05	1,73	Шарковщина	1966–1976	5,68	–5,17	1,66
	1977–2000	5,51	–5,32	1,61		1977–2000	6,13	–3,46	1,40
	2001–2019	6,54	–3,72	1,48		2001–2019	7,11	–0,57	1,16
Гродно	1966–1976	6,78	–3,55	1,53					
	1977–2000	6,89	–3,47	1,52					
	2001–2019	7,89	–1,61	1,35					

Как видно из табл. 6, выявлен рост ЭТ и ЭЭТ и снижение индекса суровости погоды по всей территории Беларуси для выделенных периодов, что количественно (%) представлено в табл. 7.

Таблица 7. Изменение биоклиматических показателей по территории Беларуси для трех фаз АМО, %

Станция	Изменение	Показатель			Станция	Изменение	Показатель		
		ЭТ	ЭЭТ	S			ЭТ	ЭЭТ	S
Барановичи	1977-2000/1966-1976	1,7	19,2	8,8	Лида	вторая фаза/первая фаза	5,5	35,6	11,8
	2001-2019/1977-2000	16,5	71,7	14,4		третья фаза/вторая фаза	15,3	104,8	17,0
	2001-2019/1966-1976	18,5	77,1	21,9		третья фаза/первая фаза	21,6	103,1	26,8
Брагин	вторая фаза/первая фаза	0,3	18,3	4,9	Марьина Горка	вторая фаза/первая фаза	6,8	30,9	13,5
	третья фаза/вторая фаза	15,5	134,6	19,0		третья фаза/вторая фаза	17,1	83,7	16,3
	третья фаза/первая фаза	15,8	128,3	22,9		третья фаза/первая фаза	25,0	88,7	27,6
Брест	вторая фаза/первая фаза	3,1	62,0	5,5	Минск	вторая фаза/первая фаза	6,8	35,0	9,7
	третья фаза/вторая фаза	12,1	326,9	10,0		третья фаза/вторая фаза	16,0	128,8	17,7
	третья фаза/первая фаза	15,6	186,1	15,0		третья фаза/первая фаза	23,9	118,7	25,7
Василевичи	вторая фаза/первая фаза	0,7	53,1	10,5	Могилев	вторая фаза/первая фаза	0,2	8,4	0,6
	третья фаза/вторая фаза	14,0	242,9	11,8		третья фаза/вторая фаза	17,3	37,1	10,4
	третья фаза/первая фаза	14,8	167,0	21,1		третья фаза/первая фаза	17,1	31,8	9,8
Верхнедвинск	вторая фаза/первая фаза	6,5	8,3	4,0	Новогрудок	вторая фаза/первая фаза	4,1	9,5	3,6
	третья фаза/вторая фаза	15,9	56,0	13,1		третья фаза/вторая фаза	11,7	31,3	9,8
	третья фаза/первая фаза	23,4	59,7	16,6		третья фаза/первая фаза	16,3	37,9	13,0
Витебск	вторая фаза/первая фаза	10,6	41,2	17,1	Пинск	вторая фаза/первая фаза	7,4	62,9	20,2
	третья фаза/вторая фаза	18,8	97,6	19,9		третья фаза/вторая фаза	15,5	180,8	19,2
	третья фаза/первая фаза	31,3	98,6	33,5		третья фаза/первая фаза	24,1	130,0	35,6
Гомель	вторая фаза/первая фаза	6,6	51,7	17,3	Полоцк	вторая фаза/первая фаза	7,4	25,0	8,1
	третья фаза/вторая фаза	16,0	171,4	18,6		третья фаза/вторая фаза	16,8	92,0	16,2
	третья фаза/первая фаза	23,7	134,5	32,7		третья фаза/первая фаза	25,4	94,0	23,0
Горки	вторая фаза/первая фаза	3,8	12,1	6,9	Шарковщина	вторая фаза/первая фаза	7,9	33,1	15,7
	третья фаза/вторая фаза	18,7	30,1	8,1		третья фаза/вторая фаза	16,0	83,5	17,1
	третья фаза/первая фаза	23,2	38,5	14,5		третья фаза/первая фаза	25,2	89,0	30,1
Гродно	вторая фаза/первая фаза	1,6	2,3	0,7					
	третья фаза/вторая фаза	14,5	53,6	11,2					
	третья фаза/первая фаза	16,4	54,6	11,8					

Примечание. Серым цветом отмечено снижение показателя; без фона – рост показателя.

Как видно из табл. 7 максимальный рост ЭТ отмечается в третьей фазе АМО по отношению к показателю в первой фазе. Он изменяется от 14,8 (Василевичи) до 31,3 % (Витебск), в среднем 21,3 %; рост ЭТ в третьей фазе по отношению ко второй составил также близкие значения от 11,7 (Новогрудок) до 18,8 % (Витебск). Показатели ЭТ второй фазы относительно первой также выявляют незначительный рост от 0,3 (Брагин) до 10,6 % (Витебск).

Биоклиматический показатель ЭЭТ показал более значительный рост, достигающий 326,9 %, но не выявил закономерности более быстрого прироста показателя в третьей фазе АМО по отношению к показателю в первой фазе, что объясняется влиянием локальных факторов – увеличением скорости ветра за весь период исследования. Наименьшим ростом ЭЭТ (до 100 %) в обеих фазах АМО характеризуются 10 метеостанций из 17: Барановичи, Верхнедвинск, Витебск, Горки, Гродно, Марьина Горка, Могилев, Новогрудок, Полоцк, Шарковщина.

Индекс суровости погоды показал стабильное снижение в третьей фазе АМО по отношению к индексу в первой и второй фазах с максимальными значениями по отношению к первой фазе. Так, снижение в третьей фазе АМО по отношению ко второй составило от 8,1 (Горки) до 19,9 % (Витебск), тогда как снижение индекса суровости погоды в третьей фазе по отношению к первой уже отмечено на уровне от 9,8 (Могилев) до 35,6 % (Пинск).

Выводы. На основе фактических метеорологических данных по 49 метеостанциям Республики Беларусь выполнен расчет биоклиматических показателей – эффективной, эквивалентно-эффективной температуры, индекса суровости погоды за максимальный период инструментальных наблюдений 1966–2019 гг. Пространственное распределение эффективной температуры отличается выраженной широтной зональностью, тогда как распределение эквивалентно-эффективной температуры и индекса суровости погоды определяется локальными особенностями ветровой нагрузки. ЭЭТ имеет хорошо выраженный годовой ход, при этом в холодный период разброс значений ЭЭТ заметно больше, чем в теплый: среднеквадратическое отклонение изменяется от 2,01 в январе до 0,85 в июле месяце.

Под влиянием атлантической мультideкадной осцилляции биоклиматические показатели изменяются следующим образом:

максимальный рост ЭТ выявлен в третьей фазе АМО по отношению к показателю в первой фазе и составляет от 14,8 (Василевичи) до 31,3 % (Витебск); рост ЭТ в третьей фазе по отношению ко второй составил также близкие значения от 11,7 (Новогрудок) до 18,8 % (Витебск);

ЭЭТ показала рост, достигающий 326,9 %, но не выявлены закономерности повсеместного более быстрого прироста показателя в третьей фазе АМО по отношению к показателю в первой фазе, что объясняется, вероятно, влиянием локальных факторов – увеличением скорости ветра за весь период исследования;

индекс суровости погоды выявил стабильное снижение в третьей фазе АМО по отношению к индексу в первой и второй фазах с максимальными значениями по отношению к первой фазе: снижение в третьей фазе АМО по отношению ко второй составило от 8,1 (Горки) до 19,9 % (Витебск), снижение индекса суровости погоды в третьей фазе по отношению к первой составило от 9,8 (Могилев) до 35,6 % (Пинск).

Полученные результаты позволяют говорить о том, что в среднем суровость погоды снижалась; это особенно выражалось в третьей фазе АМО, когда комфортность погодно-климатических условий для человека в Беларуси выросла.

Список использованных источников

1. Айзенштат, Б. А. Методы расчета некоторых биоклиматических показателей / Б. А. Айзенштат // Метеорология и гидрология. – 1964. – № 12. – С. 9–16.
2. Бокша, В. Г. Медицинская климатология и климатотерапия / В. Г. Бокша, Б. В. Богуцкий. – Киев: Здоровье, 1980. – 262 с.
3. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования // В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
4. Характеристика биоклимата Республики Татарстан / Ю. П. Переведенцев [и др.] // Ученые записки Казан. гос. ун-та. – 2009. – Т. 151. – Кн. 3. – С. 239–246.
5. Полонский, А. Б. Развитие теории циркуляции мирового океана для решения климатических задач / А. Б. Полонский // Современные проблемы динамики океана и атмосферы: сб. ст., к 100-летию проф. П. С. Линейкина. – М., 2010. – С. 227–249.

Поступила 28.02 2022

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
WATER RESOURCES
ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 504.4

В. Н. Корнеев¹, С. А. Дубенок², В. П. Музыкин¹, И. А. Булак¹

¹Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Минск, Беларусь, e-mail: kvn@cricuwr.by, mtm59minsk@gmail.com, i_bulak@tut.by

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: dsnega@list.ru

**ПРОГНОЗ РЕЧНОГО СТОКА И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД
 ДЛЯ ТЕРРИТОРИЙ БАСЕЙНА РЕКИ ПРИПЯТЬ С НАРУШЕННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ
 И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ**

Аннотация. Проведены исследования взаимодействия поверхностных и подземных вод в условиях изменяющегося климата для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим режимом поверхностных вод и гидродинамическим режимом подземных вод в бассейне реки Припять. На основании проведенных экспериментальных исследований, гидрологических, гидрогеологических и статистических расчетов установлены закономерности взаимодействия поверхностных и подземных вод в местах интенсивного водоотбора для ключевых объектов исследований. Разработаны прогнозные карты речного стока и гидродинамического режима подземных вод для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти.

Ключевые слова: поверхностные воды, подземные воды, изменение климата, гидрологический режим, гидродинамический режим, водопользование, мониторинг

V. N. Korneev¹, S. A. Dubianok², V. P. Muzykin¹, I. A. Bulak¹

¹Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus, e-mail: kvn@cricuwr.by, mtm59minsk@gmail.com, i_bulak@tut.by

²Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: dsnega@list.ru

**FORECAST OF RIVER RUNOFF AND HYDRODYNAMIC REGIME OF GROUNDWATER FOR THE TERRITORIES
 OF THE PRIPYAT RIVER BASIN WITH DISTURBED HYDROLOGICAL AND HYDRODYNAMIC REGIME**

Abstract. The research has been carried out to identify the interaction between surface water and groundwater in a changing climate for the territories with the most disturbed hydrological regime of surface water and hydrodynamic regime of groundwater in the Pripyat river basin. On the basis of experimental studies, hydrological, hydrogeological and statistical calculations the regularities of the interaction between surface water and groundwater in the places of intensive water withdrawal for the key objects of research have been established. Forecast maps of river flow and hydrodynamic regime of groundwater have been developed for the territories with the most disturbed hydrological and hydrodynamic regime in the Pripyat river basin.

Keywords: surface water, groundwater, climate change, hydrological regime, hydrodynamic regime, water use, monitoring

У. М. Карнееў¹, С. А. Дубянок², В. П. Музыкін¹, І. А. Булак¹

¹Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь, e-mail: kvn@cricuwr.by, mtm59minsk@gmail.com, i_bulak@tut.by

²Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: dsnega@list.ru

**ПРАГНОЗ РАЧНОГА СЦЁКУ І ГІДРАДЫНАМІЧНАГА РЭЖЫМУ ПАДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ТЭРЫТОРЫЙ
 БАСЕЙНА РАКІ ПРЫПЯЦЬ З ПАРУШАНЫМ ГІДРАЛАГІЧНЫМ І ГІДРАДЫНАМІЧНЫМ РЭЖЫМАМ**

Анатацыя. Праведзены даследаванні ўзаемаўплыву паверхневых і падземных вод ва ўмовах зменлівага клімату для тэрыторый з найбольш парушаным гідралагічным рэжымам паверхневых вод і гідрадынамічным рэжымам падземных вод у басейне ракі Прыпяць. На падставе праведзеных эксперыментальных даследаванняў, гідралагічных, гідрагеалагічных і статыстычных разлікаў устаноўлены заканамернасці ўзаемаўплыву паверхневых і падземных вод у месцах інтэнсіўнага водаадбору для ключавых аб'ектаў даследаванняў. Распрацаваны прагнозныя карты рачнога сцёку і гідрадынамічнага рэжыму падземных вод для тэрыторый з найбольш парушаным гідралагічным і гідрадынамічным рэжымам у басейне Прыпяці.

Ключавыя словы: паверхневыя воды, падземныя воды, змяненне клімату, гідралагічны рэжым, гідрадынамічны рэжым, водакарыстанне, маніторынг

Введение. Поверхностные и подземные воды представляют собой единую природную систему, функционирование которой зависит от совокупности природных и антропогенных факторов. Актуальность исследований обусловлена необходимостью оценки изменения гидрологического режима поверхностных водных объектов за счет интенсивной добычи подземных вод на их водосборах, а также и решение обратной задачи, связанной с изменением гидрогеологического режима подземных вод за счет изменения гидрологического режима поверхностных вод, главным образом обусловленного изменением климата.

В связи с тем что процессы движения подземных вод протекают значительно медленнее, чем для поверхностных вод, они изучаются обычно раздельно. Вместе с тем особенно для малых водотоков очень важна оценка взаимного влияния поверхностных и подземных вод. Для детальной и достоверной оценки данного фактора необходимы детальные наблюдения за качественными и количественными характеристиками поверхностных и подземных вод в пределах всего водосборного бассейна за достаточно большой временной период. При их отсутствии наиболее приемлемым решением в данной ситуации является использование математических моделей взаимовлияния поверхностных и подземных вод, основанных на уравнениях математической физики движения воды в системах водотоков [1, 2] и подземной геофильтрации [3, 4], а также на полуэмпирических и расчетных зависимостях к ним.

При наличии данных режимных наблюдений для характеристики взаимовлияния поверхностных и подземных вод могут быть использованы статистические методы обработки результатов наблюдений. Тем самым оценка сокращения речного стока при отборе подземных вод и изменения гидрогеологического режима подземных вод (верхнего водоносного горизонта) при изменении речного стока могут выполняться с использованием численных методов решения систем уравнения математической физики и аналитических методов, основанных уже на использовании эмпирических, полуэмпирических и регрессионных зависимостей.

Использование единых моделей поверхностных и подземных вод, основанных на полученных статистических закономерностях их взаимовлияния, является одним из наиболее перспективных направлений при обосновании рационального использования водных ресурсов и повышения водообеспеченности водосборов.

Методическая часть. Объектом исследования взаимовлияния поверхностных и подземных вод в пределах основных речных бассейнов Республики Беларусь выбран бассейн реки Припять в связи с наличием территорий с интенсивным водоотбором подземных вод и существованием на этих территориях поверхностных водных объектов, на которые может быть оказано значимое влияние данного водоотбора.

Установление зависимостей взаимовлияния поверхностных и подземных вод в бассейне Припяти основано на оценке тенденций изменения речного стока и гидродинамического режима по данным мониторинга поверхностных и подземных вод за период 1989–2020 гг., а также экспериментальных исследований, проведенных в 2021 г.

Анализ статистической оценки изменения речного стока и уровней воды в поверхностных водных объектах показал устойчивую тенденцию уменьшения речного стока и снижения уровней воды в бассейне Припяти по большинству из рассматриваемых водных объектов во все периоды года, за исключением весеннего и начала лета.

В среднем по бассейну Припяти в среднемесечном разрезе максимальное уменьшение речного стока в период летне-осенней межени (в августе) составляет 22 % со снижением уровней воды в среднем на 17 см. Наиболее уязвимыми поверхностными водными объектами в части изменения стока и уровней воды в данном бассейне являются: сама р. Припять, а также реки Уборть, Горынь, Бобрик, Ясельда, Птичь, Оресса. Уменьшение речного стока рек Припять, Уборть, Горынь обусловлено в том числе снижением объема стока, поступающего с территории Украины.

Исходя из целевой направленности изучения гидродинамического режима подземных вод в бассейне Припяти и оценки взаимовлияния поверхностных и подземных вод, в качестве ключевых объектов исследований приняты следующие.

1. Для исследований условий взаимовлияния поверхностных и подземных вод, относящихся к гидродинамическому типу интенсивно дренированных территорий, – участок расположения группового водозабора подземных вод «Лучежевичи» в Мозырском районе (рис. 1). В зоне влияния рассматриваемого участка расположены следующие поверхностные водные объекты: реки Тур, Припять, Нетечь и мелиоративный канал.

2. Для исследований условий взаимовлияния поверхностных и подземных вод, относящихся к гидродинамическому типу умеренно дренированных территорий, – участок расположения карьера на месторождении «Микашевичи» в Лунинецком районе (рис. 2). В зоне влияния рассматриваемого участка расположены следующие поверхностные водные объекты: реки Лань, Припять, Глухая Лань, Волхва, каналы Ситницкий, Микашевичский, Пангалосовский, Главный.

Расчетные гидрологические характеристики минимального и годового стока в створах ключевых объектов исследований поверхностных вод в бассейне Припяти, определенные с использованием ТКП 45-3.04-168-2009 [5], приведены в таблице.

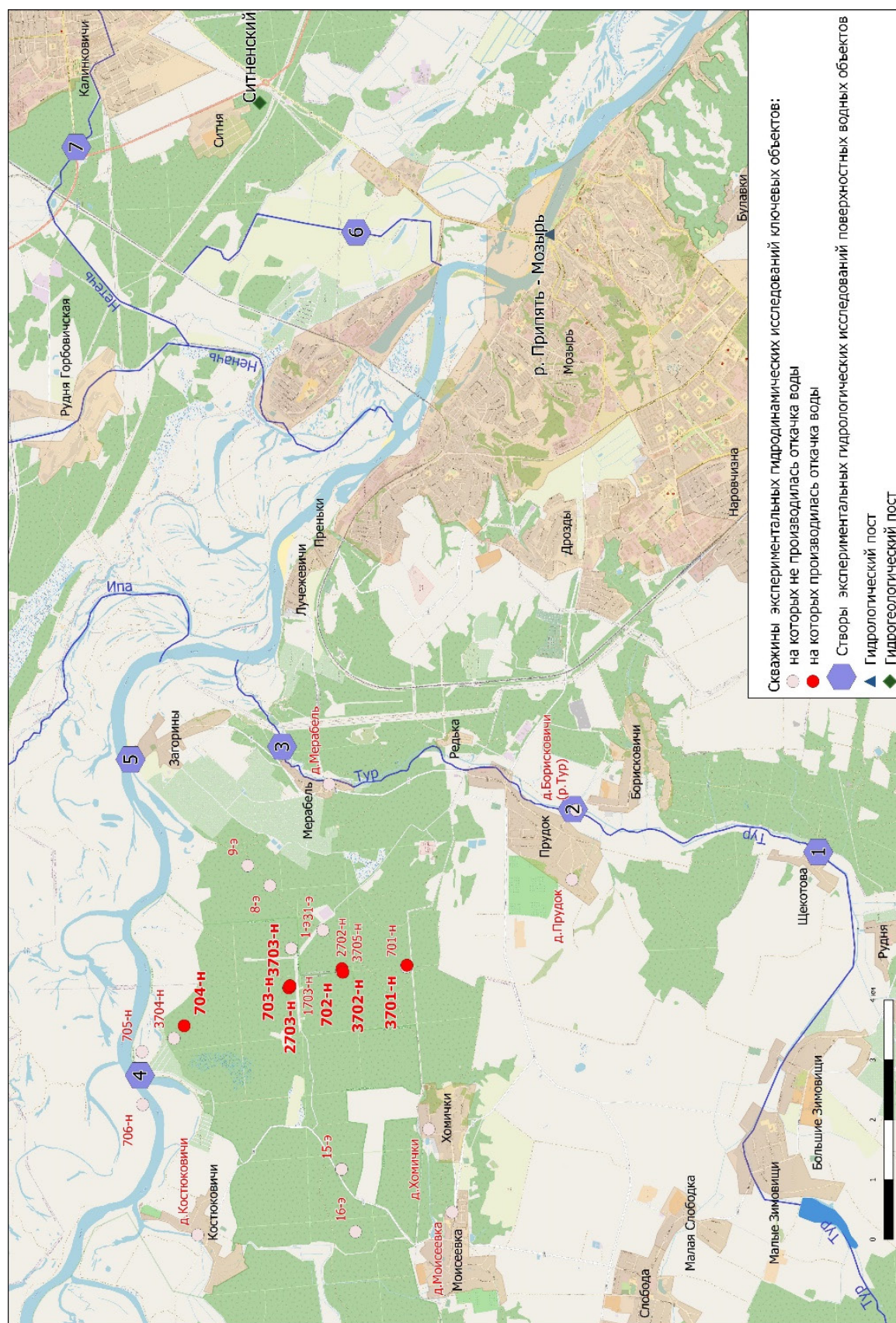
Закономерности взаимовлияния поверхностных и подземных вод для ключевых объектов исследований в бассейне Припяти определены с использованием корреляционного анализа и метода построения разностных кривых [6]. При этом для характеристики этих закономерностей рассчитаны кривые линейной регрессии при выполнении условий высокой корреляции и при величине достоверности аппроксимации $R^2 > 0,5$.

На основе полученных данных осуществлено построение прогнозных карт изменения речного стока и гидродинамического режима подземных вод в бассейне Припяти в пределах территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом. Прогнозные расчеты проведены с использованием результатов прогноза изменения климата и речного стока для бассейна Припяти, выполненного в 2016–2017 гг. и представленного в монографии [7]. Прогноз изменения климата (в части изменения температуры воздуха и осадков) и речного стока до 2035 г. представлен в 2013 г. в рамках пятого доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) в мультимодельном ансамбле из четырех сценариев (RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6) [8], а также карт-схем, разработанных МГЭИК с использованием глобальных климатических моделей и представленных в приложении к указанному докладу, – в атласе глобальных и региональных климатических прогнозов [9].

В 2021 г. выполнено уточнение прогноза речного стока в бассейне Припяти с использованием мультимодельного ансамбля уже из пяти сценариев (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5), представленных в опубликованном в 2021 г. проекте шестого доклада МГЭИК по изменению климата [10]. По информации шестого доклада, температура воздуха до 2040 г. для наиболее неблагоприятного сценария SSP5-8.5 может увеличиться еще на 0,5 °С. При этом на территории Беларуси годовое количество осадков может измениться незначительно: суммарно за год может уменьшиться на 5 % (в отличие 2 %, согласно пятому докладу).

Общая характеристика закономерностей взаимовлияния поверхностных и подземных вод и степени влияния эксплуатации водозабора на речной сток. По результатам проведенных исследований выявлены следующие статистически значимые закономерности в местах интенсивного водоотбора в бассейне Припяти: для водозабора подземных вод «Лучежевичи» по уровням подземных вод, наблюдаемых в скважине № 149, с уровнями воды в р. Припяти на гидрологическом посту в г. Мозыре (рис. 3); для участка расположения карьера на месторождении «Микашевичи» – по уровням подземных вод, наблюдаемых в скважине № 103 Синкевичского гидрогеологического поста и уровнями в р. Лань у н. п. Мокрово (рис. 4).

Анализ корреляционных зависимостей между уровнями подземных вод на участке расположения карьера на месторождении «Микашевичи» по данным локального мониторинга в четырех скважинах и уровнями воды в р. Лань у н. п. Мокрово показал слабые корреляционные зависимости ввиду нарушенного гидрогеологического режима подземных вод в этих скважинах. Слабая корреляционная зависимость также наблюдается между уровнями подземных вод и уровнями воды в р. Свиновод у н. п. Симоники (фоновый ключевой объект) в связи со значительной удаленностью наблюдательной скважины гидрогеологического поста от гидрологического поста на р. Свиновод.



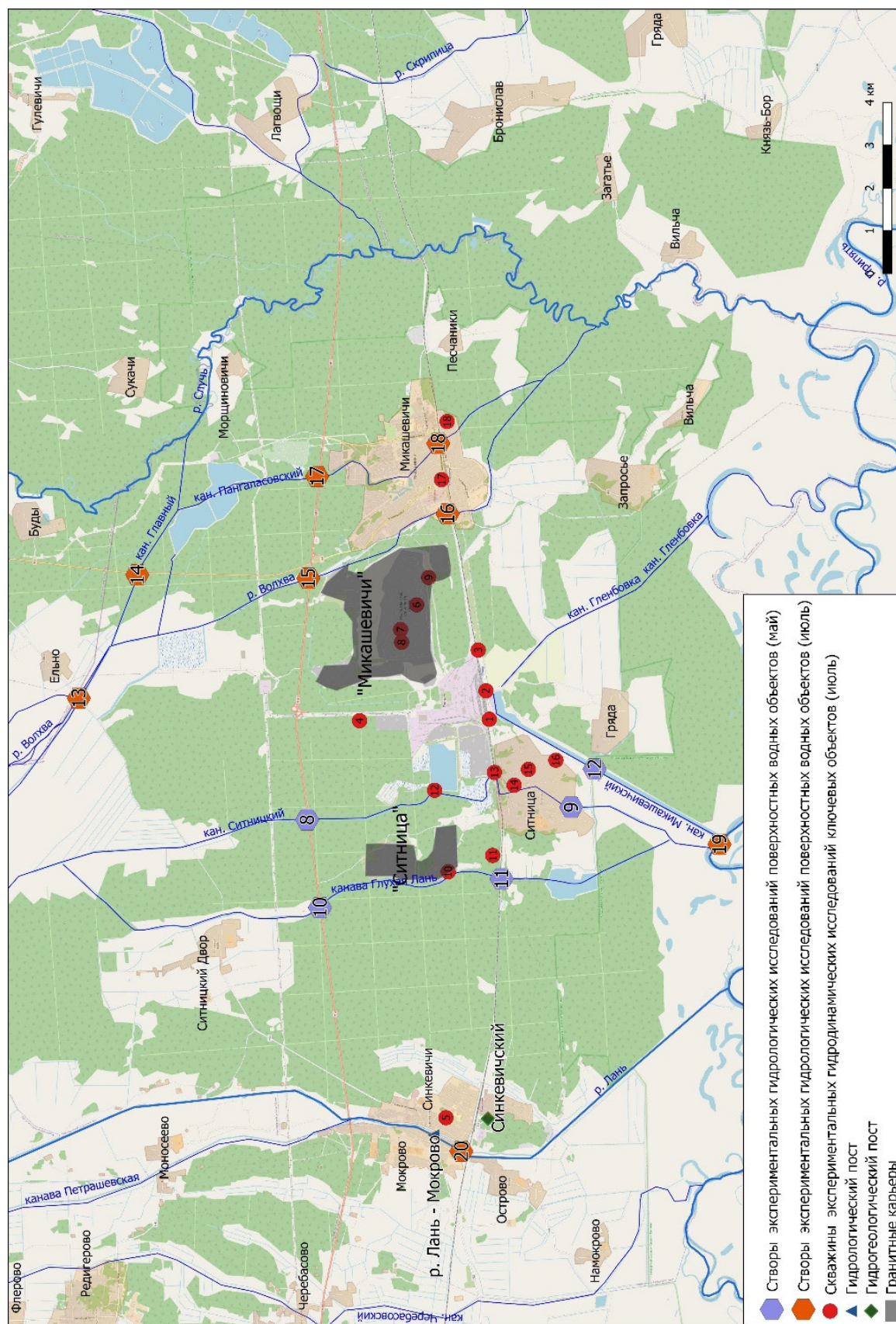


Рис. 2. Схема размещения створов экспериментальных исследований поверхностных и подземных водных объектов в районе расположения карьера на месторождении «Микшевичи»

**Гидрологические характеристики минимального и годового стока
в створах ключевых объектов исследований поверхностных вод в бассейне Припяти**

Река, створ	Расчетные расходы воды			Измеренный в меженный период 2021 г. расход воды, м³/с
	$Q_{\min} - 75\% \text{ ВП}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\min} - 95\% \text{ ВП}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{г.г.}} - 50\% \text{ ВП}, \text{ м}^3/\text{с}$	
01_река Тур – Щекотова	0,180	0,097	0,513	0,471
02_река Тур – Борисковичи	0,243	0,132	0,695	0,197
03_река Тур – Мерабель	0,278	0,151	0,795	0,145
04_река Припять – Дубрава (дачи)	139,1	86,0	375,8	122,2
05_река Припять – Загораны	139,1	86,1	376,0	122,1
06_канал Мелиоративный – Пхов	0,0036	0,0015	0,0227	с.р.
07_река Нетечь – М10	0,092	0,050	0,264	0,082
08_канал Ситницкий – М10	0,0169	0,0076	0,102	0,046
09_канал Ситницкий – Ситница	0,0317	0,0146	0,187	0,232
10_река Глухая Лань – М10	0,042	0,023	0,121	0,076
11_река Глухая Лань – Ситница	0,070	0,038	0,199	0,005
12_канал Микашевичский – Ситница	0,0029	0,0011	0,0163	с.р.
канал Главный – Ельно	0,264	0,141	1,263	0,145
канал Главный – Р23	0,27	0,144	1,29	0,044
река Волхва – М10	0,0225	0,0112	0,119	с.р.
река Волхва – Микашевичи	0,0266	0,0134	0,14	с.р.
канал Панголосовский – М10	0,0047	0,0023	0,0265	с.р.
канал Панголосовский – Микашевичи	0,008	0,0039	0,0438	с.р.
река Припять – канал Микашевичский	94,9	58,7	256,5	67,3
река Лань – Мокрово	2,2	1,03	8,68	0,683

П р и м е ч а н и е. ВП – вероятность превышения. * с.р. – сухое русло.

Оценка степени влияния эксплуатации водозабора на речной сток выполнена с использованием коэффициента потери меженного речного стока при отборе подземных вод, которые определяются по следующей формуле [11]:

$$K_{\text{пмрс}} = \frac{\Delta Q_{\text{спс}}}{Q_{\min \text{ см. } 95\% \text{ ВП}}}, \quad (1)$$

где $\Delta Q_{\text{спс}}$ – сокращение стока при добыче подземных вод (за минусом возможного сокращения речного стока, обусловленного изменением климата), м³/с; $Q_{\min \text{ см. } 95\% \text{ ВП}}$ – минимальный средне-месячный расход воды 95 %-ной вероятности превышения (обеспеченности) в поверхностном водном объекте в районе добычи подземных вод, определяемый с использованием ТКП 45-3.04-168-2009 [5].

Потери (сокращение) речного стока при добыче подземных вод определены по разнице указанных гидрологических характеристик расходов воды за период летне-осенней межени с 1989

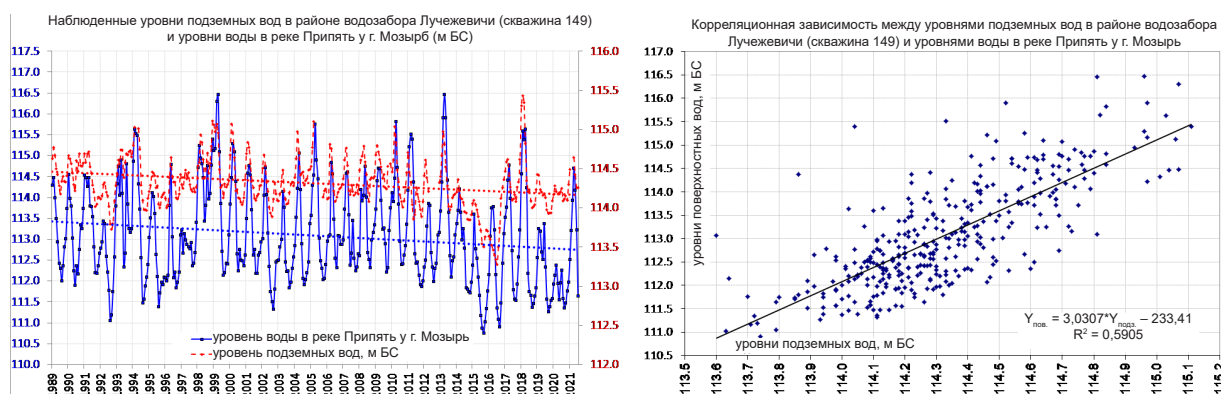


Рис. 3. Наблюдаемые уровни подземных вод по скважине № 149 Ситненского гидрогеологического поста и уровни воды в р. Припяти у г. Мозыря с корреляционными зависимостями между ними

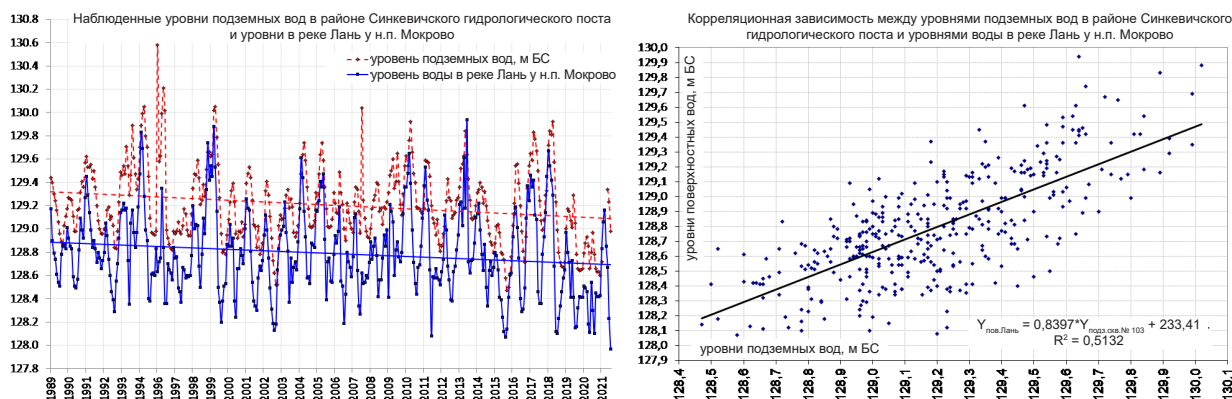


Рис. 4. Наблюдаемые уровни подземных вод в скважине № 103 Синкевичского гидрогеологического поста и уровни воды в р. Лань у н. п. Мокрово с корреляционной зависимостью между ними

по 2004 г. с аналогичным значением за период с 2005 по 2020 г., соответствующий периоду добычи подземных вод на участке расположения карьера на месторождении «Микашевичи» (рис. 5). При этом вычитается доля изменения стока, определяемая изменением климата, по среднему значению указанной величины, которая найдена для гидрологических постов в бассейне рек, расположенных на территории, с отсутствием интенсивной добычи подземных вод. Указанная доля (в %) определялась как соотношение относительного изменения речного стока к относительному изменению количества осадков.

По величине значения коэффициента потери меженного речного стока при добыче подземных вод $K_{п.м.р.с}$ можно судить о степени влияния на меженный сток и выявлять участки рек, подверженные влиянию: если этот коэффициент меньше 0,25 – потери незначительные, больше 0,25 и меньше 1 – потери значительные, больше 1 – потери стока полные [11,12].

Коэффициент потери меженного речного стока при добыче подземных вод на участке расположения карьера на месторождении «Микашевичи» составил 0,214. Это показывает, что потери речного стока в р. Лань к створу у н. п. Мокрово (река относится к средним рекам) могут быть близкими к границе диапазона, соответствующей значительным потерям, особенно с учетом снижения речного стока в связи с изменением климата. Аналогичный коэффициент для Припяти в районе добычи подземных вод в районе водозабора «Лучежевичи» за период с 1989 по 2020 г. с использованием трендов (водозабор функционирует весь указанный период) оценивается в 0,026, что характеризует как незначительное влияние добычи подземных вод на речной сток.

Предварительно можно сделать заключение, что для водотоков, у которых минимальный среднемесячный расход воды 95 %-ной вероятности превышения (обеспеченности) больше, чем среднегодовой расход воды при добыче подземных вод – потери речного стока, обусловленные указанным водоотбором, будут незначительными или не очень значительными. При этом объем годового речного стока при очень низкой водности (95 %-ной ВП) должен быть, как минимум, в четыре раза больше, чем годовой объем водоотбора подземных вод, что в основном характеризует средние и большие реки.

Однако для малых рек влияние водоотбора подземных вод на речной сток может быть значительным и очень значительным (р. Глухая Лань по материалам экспериментальных гидрологических исследований). Данный вывод подтвердили экспериментальные исследования, проведенные в наиболее репрезентативный для оценки взаимовлияния поверхностных и подземных вод меженный период 2021 г. В ходе гидрологических исследований водных объектов, представляющих собой малые реки и каналы, в зоне влияния водоотбора подземных вод речной сток зафиксирован существенно ниже расчетного показателя, характерного для данных гидрологических условий сезона, а в некоторых водных объектах (р. Волхва, каналы Микашевичский и Панголосовский) наблюдалось полное отсутствие (потеря) стока.

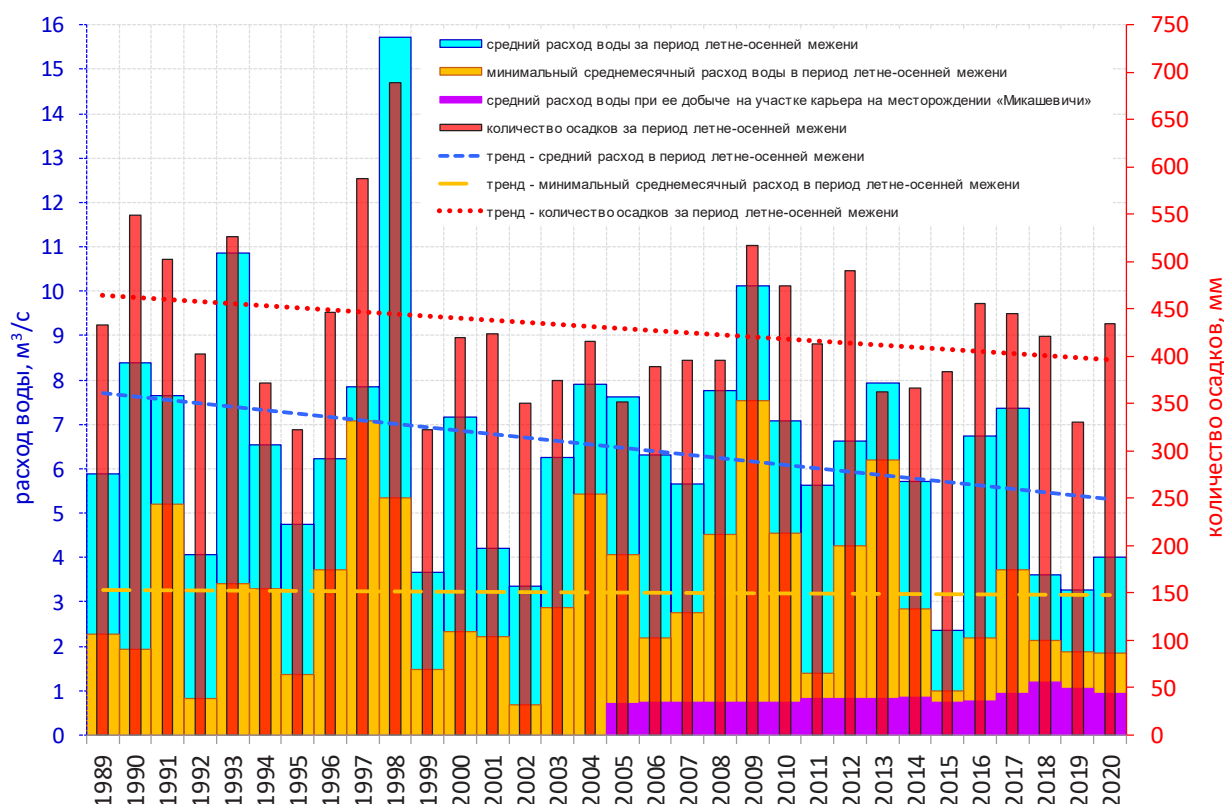


Рис. 5. Средние и минимальные среднемесячные расходы воды за период летне-осенней межени в Лань у н. п. Мокрово, количество осадков за данный период по ближайшей метеорологической станции у г. Житковичи и средние расходы воды при ее добыче на участке расположения карьера на месторождении «Микашевичи»

Результаты прогноза речного стока и гидродинамического режима подземных вод для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти с учетом взаимовлияния поверхностных и подземных вод. Результаты прогноза речного стока, выполненного с использованием базовых данных, представленных в монографии [7], с учетом уточнения по зависимостям «осадки–сток» для гидрологических постов, расположенных в районе территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти, приведены на рис. 6.

При этом согласно проведенным расчетам, максимальное сезонное снижение речного стока в летний период на участках гидрологических постов на период до 2035 г. по отношению к периоду с 1989 по 2020 г. может составить (%): р. Припять, н. п. Черничи (г. Туров) – на 22,4; р. Припять, г. Мозырь – на 20,2; р. Цна, н. п. Дятловичи – на 26,2; р. Лань, н. п. Мокрово – на 24,3; р. Случь, н. п. Ленин – на 14,3; р. Птичь, н. п. Лучицы – на 23,2; р. Уборть, н. п. Краснобережье – на 24,6.

Максимальное прогнозируемое снижение поверхностного стока на двух ключевых объектах (участок расположения группового водозабора подземных вод «Лучежевичи» в Мозырском районе и участок расположения карьера на месторождении «Микашевичи» в Лунинецком районе) может составить 22 %.

Прогноз изменения режима уровней грунтовых (УГВ) и напорных (УНВ) вод на исследуемой территории на период до 2035 г. выполнен с использованием коэффициента относительного положения уровней УГВ (УНВ), который определяется по следующей формуле [13]:

$$K_{от} = \frac{H_i - H_{ср.мн}}{H_{max} - H_{min}}, \quad (2)$$

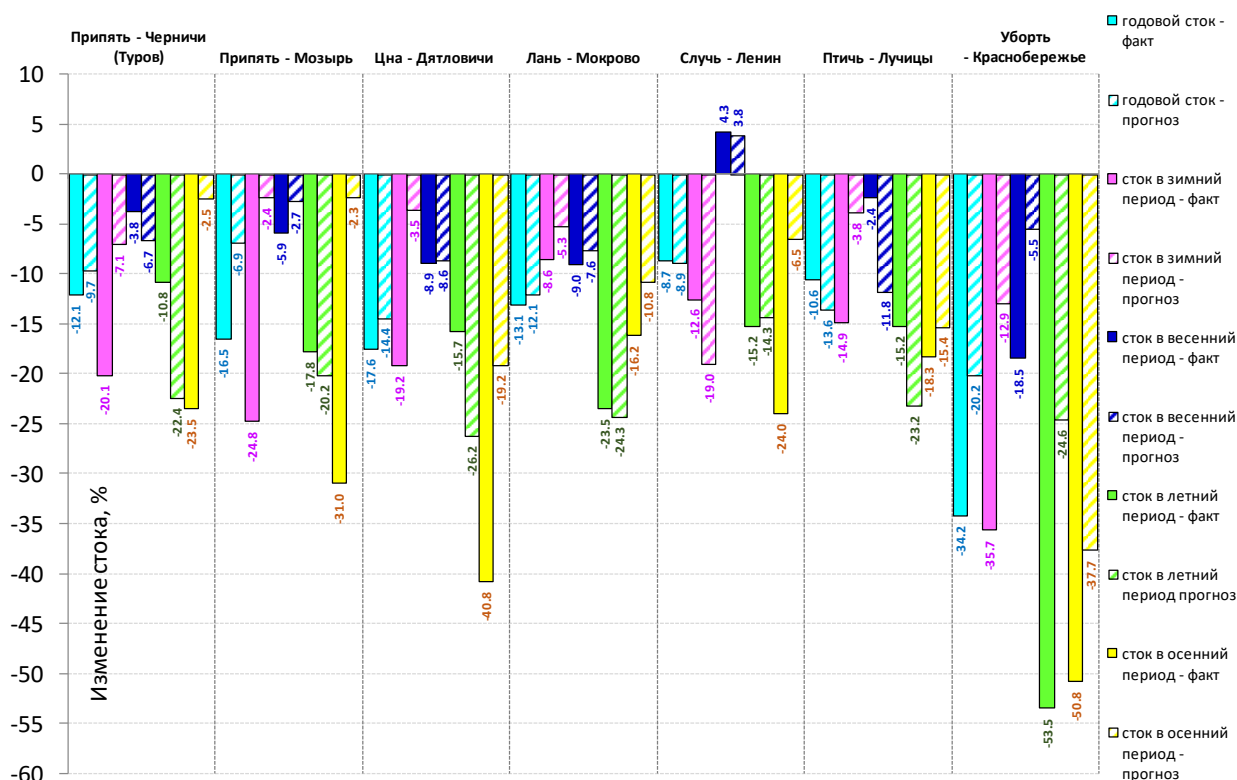


Рис. 6. Результаты фактического изменения речного стока за период с 1989 по 2020 г. и прогноза речного стока до 2035 г. для гидрологических постов, релевантных к территориям с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти

где H_i – средняя глубина залегания УГВ (УНВ) за период прослеживаемых изменений (весна, лето) на участке, м; $H_{\text{ср.мн}}$ – среднееголетняя норма глубины залегания УГВ (УНВ) за период наблюдений 1989–2020 гг., м; $H_{\text{min}}, H_{\text{max}}$ – минимальная и максимальная глубина залегания УГВ (УНВ) за период весна или лето, м.

Расчеты указанного коэффициента выполнены для участков гидрогеологических постов в весенний (февраль–апрель) и летний (июнь–август) периоды на протяжении времени наблюдений за 2013–2020 гг. Данный коэффициент показывает, какую часть общих колебаний УГВ (УНВ) составляет в этот период превышение над среднееголетней нормой УГВ (УНВ).

При $K_{\text{от}} = 0$ глубина залегания УГВ (УНВ) в период наблюдений 2013–2020 гг. находилась на отметке среднееголетней нормы, если $K_{\text{от}} > 0$, то соответственно данная расчетная часть общих колебаний УГВ (УНВ) в этот период была больше среднееголетней нормы, при $K_{\text{от}} < 0$, наоборот, меньше среднееголетней нормы.

Прогнозирование изменения гидродинамического режима грунтовых и напорных вод на исследуемой территории осуществлено в следующем порядке.

1. Для прогноза использованы временные ряды наблюдений Синкевичского, Ситненского, Симоничско-Рудненского и других гидрогеологических постов, расположенных в данной части бассейна Припяти. Статистическая обработка данных наблюдений показала, что в хронологических графиках изменений уровней грунтовых (УГВ) и напорных (УНВ) вод существуют многолетние ритмы спадов и подъемов средней продолжительностью 14 лет. Подобные хронологические ритмы спадов и подъемов уровней воды установлены и для р. Припяти. В настоящее время на участках гидрогеологических постов и р. Припяти в данной части ее бассейна осуществляется общий спад среднемесячных уровней воды, начавшийся в 2013 г.

2. УГВ и УНВ в 2013–2020 гг. на участках характеризовались режимом преимущественно на уровне и ниже среднееголетних норм, что соответствует фазе водного режима, близкой к ма-

ловодной. Расчетные коэффициенты относительного положения уровней УГВ (УНВ) в пределах территории составили в весенний (февраль–апрель) 4–19 %, реже 20–30 %, а в летний (июнь–август) от 5 до –31 % периоды. Коэффициент относительного положения уровней УГВ (УНВ) показывает, какая часть среднемесячных колебаний УГВ (или УНВ в %) в конкретный период наблюдений на участке превышает среднемноголетнюю норму.

3. Пользуясь графиками связи минимального уровня подземных вод в летний период ($H_{\text{лет. min}}$) с максимальным уровнем подземных вод в весенний период ($H_{\text{вес. max}}$) для периода спада УГВ и УНВ, начавшегося в 2013 г., осуществлено удлинение рядов наблюдений для гидрогеологических постов с использованием методов, рекомендуемых в работах [13–15]. Удлинение проведено на шесть лет, до 2026 г. включительно – ориентировочного окончания 14-летнего ритма спада УГВ и УНВ, начавшегося в 2013 г.

4. С использованием вычисленных коэффициентов относительного положения уровней на участках гидрогеологических постов осуществлено распределение удлинённых рядов наблюдений за 2013–2026 гг. в обратном порядке. В полученные выборки внесены дополнительные поправки в размере коэффициентов прогнозного максимального сезонного изменения стока

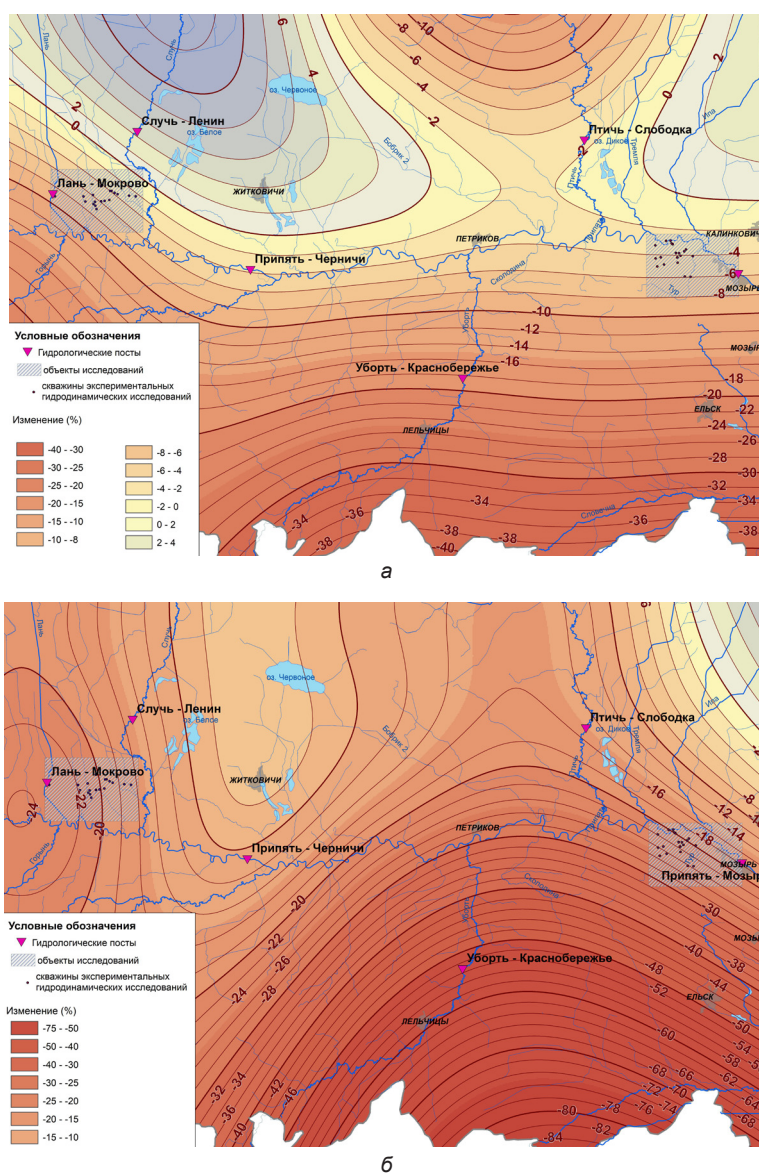


Рис. 7. Прогнозные карты до 2035 г. речного стока в весенний период (а) и в летний период (б) для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти

рек в летне-осенний период (представленные выше по тексту настоящей статьи). Полученные ряды значений выборок приняты в качестве прогнозных временных рядов (предикторов) на 2027–2035 гг.

5. Правомерность внесения дополнительных поправок для УГВ и УНВ на основе коэффициентов прогнозного максимального сезонного изменения стока рек определяется наличием прямой пропорциональной связи расхода подземного стока с изменением уровней подземных вод, поскольку расход является функцией от изменения УГВ (УНВ): $Q_i = f(\Delta H_i)$.

6. С использованием прогнозных временных рядов осуществлено построение прогнозных графиков связи $H_{\text{лет.min}}$ с $H_{\text{вес.max}}$ на период 2027–2035 гг. и коэффициентов относительного положения уровней УГВ (УНВ), возможных на расчетных участках гидрогеологических рядов в весенний и летний периоды.

На основании проведенных экспериментальных исследований, гидрологических, гидрогеологических и статистических расчетов разработаны прогнозные карты речного стока и гидродинамического режима подземных вод для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в данной части бассейна Припяти (рис. 7 и 8).

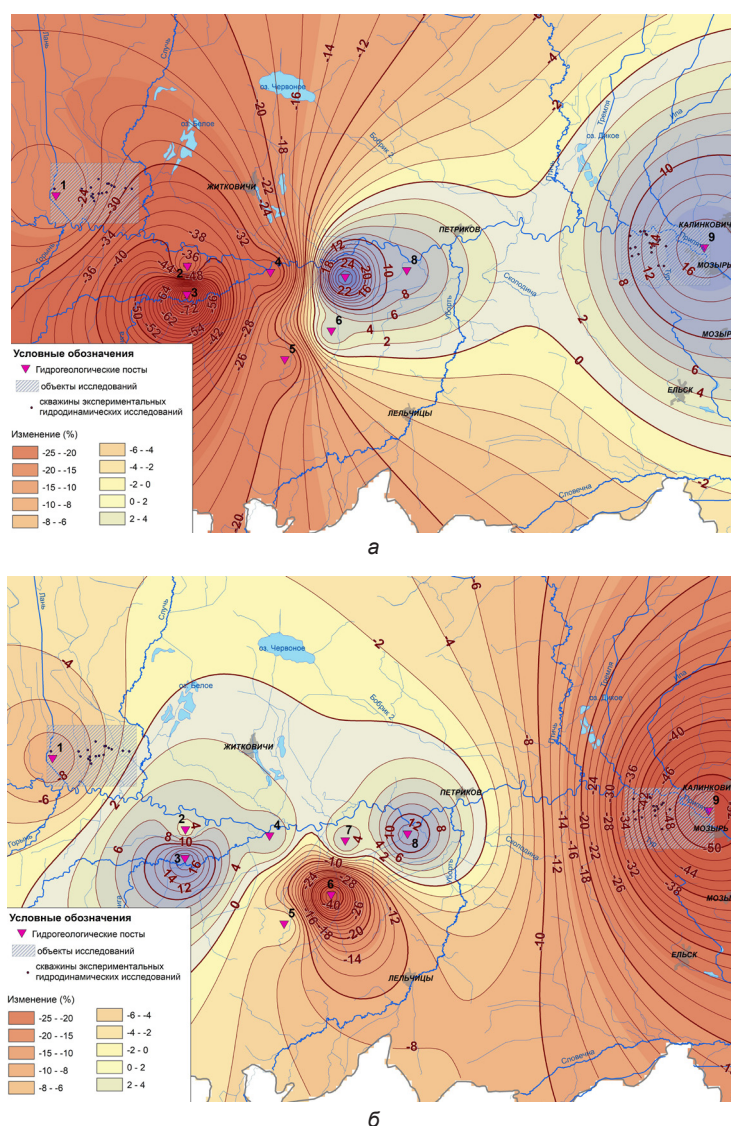


Рис. 8. Прогнозные карты на период до 2035 г. гидродинамического режима подземных вод по отклонению прогнозных коэффициентов относительного положения их максимальных уровней в весенний период (а) и минимальных уровней в летний период (б) подземных вод для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти

На картах рис. 8 отражено распределение прогнозных расчетных данных об изменении гидродинамического режима УГВ и УНВ на участках гидравлической связи с поверхностными водами в весенний (февраль–апрель) и летний (июнь–август) периоды до 2035 г. по отклонению прогнозных коэффициентов относительного положения максимальных уровней подземных вод. Величины прогнозных коэффициентов относительного положения уровней подземных вод определены как разность коэффициентов прогнозного и современного относительного положения уровней подземных вод. Использование коэффициента относительного положения уровней на карте дает представление о направленности режима подземных вод, т.е. о тенденциях в изменении их уровней, а также общее представление об условиях водности года в исследуемом периоде.

Заключение. Результаты прогноза речного стока и гидродинамического режима подземных вод с учетом их взаимовлияния поверхностных и подземных вод позволили для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне реки Припять разработать рекомендации по рациональному использованию и охране поверхностных и подземных вод, а также сформулировать научно-обоснованные предложения по оптимизации систем мониторинга поверхностных и подземных вод по количественным параметрам в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь.

В качестве основного рекомендуемого мероприятия по поддержанию стока поверхностных водных объектов в зоне влияния месторождений строительного камня Микашевичи и Ситницкое предложено размещение резервного водохранилища в районе слияния канала Главный и р. Волхвы с его наполнением водами карьерного водоотлива на месторождении Микашевичи и Ситницкое. Дополнительное обводнение р. Волхвы и канала Панголосовского может осуществляться путем организации попусков из резервного водохранилища в маловодные и в очень маловодные периоды.

Оптимизация сети мониторинга поверхностных и подземных вод основана на предложениях по оборудованию нового гидрогеологического поста на р. Припяти непосредственно ниже выпуска в реку канала Микашевичский для изучения режима грунтовых вод и взаимовлияния с поверхностными водами р. Припяти в районе воздействия карьеров РУПП «Гранит».

Благодарности. Результаты исследований получены в 2021 г. в рамках выполнения задания «Исследование взаимовлияния поверхностных и подземных вод в условиях изменяющегося климата» Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда», 2021–2025 гг.

Список использованных источников

1. Система физико-математических моделей гидрологических процессов и опыт ее применения к задачам формирования речного стока / Л. С. Кучмент [и др.] // Водные ресурсы. – 1988. – № 5. – С. 24–26.
2. Рогонович, В. П. Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков / В. П. Рогонович. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 263 с.
3. Лукнер, Л. Моделирование геофильтрации / Л. Лукнер, В. М. Шестаков. – М., 1976. – 407 с.
4. Климентов, П. П. Динамика подземных вод / П. П. Климентов, В. М. Кононов. – М., 1973. – 440 с.
5. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения: ТКП 45-3.04-168-2009. – Введ. 01.07.2010. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 55 с.
6. Рождественский, А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
7. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест: Альтернатива, 2017. – 228 с.
8. Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Резюме для политиков. – Женева: МГЭИК, 2013. – 28 с. // Материалы МГЭИК. Электронный ресурс. – Режим доступа: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf. – Дата доступа: 04.02.2022.
9. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. (на английском языке). – Женева: МГЭИК, 2021. – 3949 с. // Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>. – Дата доступа: 04.02.2022.
10. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. (на английском языке). – Женева: МГЭИК, 2021. – 3949 с. // Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>. – Дата доступа: 04.02.2022.

11. *Черепанский, М. М.* Теоретические основы гидрогеологических прогнозов влияния подземных вод на речной сток / М. М. Черепанский. – М.: НИИ–Природа, 2005. – 260 с.
12. *Черепанский, М. М.* Региональные оценки сокращения речного стока при отборе подземных вод / М. М. Черепанский. – М.: НИИ–Природа, 2006. – 156 с.
13. *Ковалевский, В. С.* Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод / В. С. Ковалевский. – М.: Недра, 1973. – 152 с.
14. Применение методов математической статистики для анализа и прогноза режима уровня подземных вод (методические указания). – М.: ВСЕГИНГЕО, 1967. – 107 с.
15. *Зальцберг, Э. А.* Статистические методы прогноза естественного режима уровня грунтовых вод / Э. А. Зальцберг. – М.: Недра, 1976. – 100 с.

Поступила 07.02.2022

Е. А. Флюрик, А. А. Масехнович*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: FlurikE@mail.ru, al.masekhnovich@mail.ru***ФИТОТЕСТИРОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

Аннотация. Дана оценка возможности использования иловых осадков сточных вод (ОСВ), взятых из иловой камеры Минской очистной станции, в качестве нетрадиционного органоминерального удобрения. Необходимость учитывать степень опасности загрязнения ОСВ тяжелыми металлами является важным аспектом при выборе способа его использования. Для оценки уровня загрязненности иловых осадков использовали биологическую экспресс-диагностику – фитотестирование. В качестве тест-объектов выбраны однодольное растение ячмень и двудольное – кресс-салат. Определены основные показатели роста и развития растений: всхожесть семян, длина наземной части и биомасса растения, длина и развитость корневой системы. Полученные результаты указывают на некоторое угнетающее действие от использования не обработанных иловых осадков на важнейшие показатели роста и развития растения. Однако результаты элементного анализа золы иловых ОСВ и наземной части тест-объектов, выращенных на почве с дозами осадков 4 и 8 т ОСВ/га, показали, что накопления тяжелых металлов в биомассе тест-объектов не происходит. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования ОСВ в процессе сельскохозяйственной деятельности. Предполагаемый результат разработки – органоминеральная почвосмесь на основе иловых ОСВ.

Ключевые слова: осадки сточных вод, фитотестирование, токсичность, элементный состав, органоминеральное удобрение

A. A. Flyurik, A. A. Masekhnovich*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus,
e-mail: FlurikE@mail.ru, al.masekhnovich@mail.ru***PHYTOTESTING OF SEWAGE SLUDGE**

Abstract. The article assesses the possibility of using sewage sludge from the sludge chamber of the Minsk wastewater treatment plant as an unconventional organomineral fertilizer. It is necessary to take into account the degree of contamination of sewage sludge for their further effective use. To assess the level of contamination of silt sediments, we used biological rapid diagnostics-phytotesting. The monocotyledonous plant *Hordeum vulgare* and the dicotyledonous plant *Lepidium sativum* were selected as test objects. The main indicators of plant growth and development were determined: germinating capacity, the length of the ground part of the plant and its biomass, the length and development of the root system. Germinating capacity in the experimental samples decreased by an average of 20 % compared to the control sample. Indicators such as the length and development of the plant's root system and its biomass are suppressed when using sewage sludge as fertilizer. The results obtained may be related to exposure to toxic substances contained in sewage sludge. Sewage sludge contains heavy metals such as Mn (0,58 %), Fe (13,74 %), Cu (1,27 %), Zn (3,22 %), As (0,08 %). However, the results of the elemental analysis of the ash of sewage sludge and the ground part of the test objects grown on the soil with precipitation doses of 4 and 8 t / ha showed that the accumulation of heavy metals in the biomass of the test objects does not occur. At doses of 4 and 8 t/ha of sewage sludge, there is a slight accumulation of zinc and copper in the ground part of the watercress; the accumulation of heavy metals in the biomass of barley is not observed.

Keywords: sewage sludge, phytotesting, toxicity, elemental composition, organomineral fertilizer

А. А. Флюрик, А. А. Масехнович*Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,
e-mail: FlurikE@mail.ru, al.masekhnovich@mail.ru***ФІТАТЭСЦІРАВАННЕ АПАДКАЎ СЦЁКАВЫХ ВОД**

Анатацыя. Дадзена ацэнка магчымасці выкарыстання глеістых ападкаў сцёкавых вод (АСВ), узятых з глеістай камеры Мінскай ачышчальнай станцыі, у якасці нетрадыцыйнага арганамінеральнага ўгнаення. Неабходнасць улічваць ступень небяспекі забруджвання АСВ цяжкімі металамі з'яўляецца важным аспектам пры выбары спосабу яго выкарыстання. Для ацэнкі ўзроўню забруджанасці глеістых ападкаў выкарыстоўвалі біялагічную экспрэс-дыягностыку – фітатэсціраванне. У якасці тэст-аб'ектаў выбраны: аднадольная расліна ячмень і двухдольная – крэс-салата. Вызначаны асноўныя паказчыкі росту і развіцця раслін: усходжасць насення, даўжыня наземнай часткі і біямаса расліны, даўжыня і развіццё каранёвай сістэмы. Атрыманыя вынікі паказваюць на некаторае прыгнятальнае дзеянне ад выкарыстання не апрацаваных глеістых ападкаў на найважнейшыя паказчыкі росту і развіцця расліны. Аднак вынікі элементнага аналізу попелу глеістых АСВ і наземнай часткі тэст-аб'ектаў, вырашчаных на глебе з дозамі ападкаў 4 і 8 т АСВ/га, паказалі, што назапашвання цяжкіх металаў у біямасе тэст-аб'ектаў не адбываецца. Атрыманыя дадзеныя сведчаць аб магчымасці выкарыстання АСВ у працэсе сельскагаспадарчай дзейнасці. Меркаваны вынік распрацоўкі – арганамінеральная глебасумесь на аснове глеістых АСВ.

Ключавыя словы: ападкі сцёкавых вод, фітатэсціраванне, таксічнасць, элементны склад, арганамінеральнае ўгнаенне

Введение. Поиск методов утилизации образующихся на очистных сооружениях осадков сточных вод (ОСВ) коммунальных и промышленных производств не теряет своей актуальности, а в последние годы приобретает статус глобальной эколого-биотехнологической задачи. До сих пор один из самых распространенных методов утилизации ОСВ – это их складирование (депонирование) [1, 2]. Однако объем, образующихся ОСВ огромен, поэтому дальнейшая переработка с целью получения безопасного и полезного продукта является важной задачей.

В настоящее время в литературе можно встретить различные технологические решения по утилизации ОСВ, например, в работах [2, 3] предложено их использовать в строительной и дорожно-строительной отраслях, в [1, 4, 5] – для сельскохозяйственных нужд (вермокомпостирование или в качестве удобрения), в [1, 6] – описан способ сжигания ОСВ, что позволяет уменьшить объем осадка в 12 раз и использовать его в дальнейшем в качестве топлива или удобрения.

ОСВ – это многокомпонентная система, характеризующаяся комплексным содержанием биогенных макро- и микроэлементов, которые необходимы для роста и развития растения и повышения плодородия почв. Высокая удобрительная ценность осадков обуславливает возможность их использования как в чистом виде, так и в качестве улучшающих добавок к традиционным органическим удобрениям (различным видам навоза, компостов и др.). Актуальным также является добавление ОСВ к подстилочному навозу для компенсации потерь азота при его хранении [7].

В связи с высокой стоимостью минеральных азотных и фосфорных удобрений в почву поступает недостаточное количество макроэлементов, что приводит к их деградации [8]. Поэтому использование ОСВ в качестве нетрадиционного органоминерального удобрения является весьма актуальным и перспективным методом их утилизации. Согласно литературным данным [9–12], применение ОСВ в качестве удобрения способствует повышению урожайности многолетних трав, ячменя, овса, озимой пшеницы. Особенно актуально, как показали исследования, внесение ОСВ под кормовые культуры [8].

Однако ОСВ – это один из основных загрязнителей окружающей среды [1, 13]. Осадки заражены яйцами гельминтов и патогенными микроорганизмами, в них могут содержаться тяжелые металлы (ТМ), избыточное количество нитратов, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, оказывающие негативное влияние на организм человека и окружающую среду. Опасность представляют также газы, выделяющиеся из осадков, превышающие в несколько раз предельно допустимые концентрации (ПДК) и имеющие сильный, неприятный запах [14]. Из-за высокого содержания ТМ в ОСВ чаще всего их относят к IV классу опасности (малоопасный). Поэтому применение ОСВ в качестве удобрений требует обязательного постоянного контроля их химической и биологической безопасности [15].

Возрастающее разнообразие загрязняющих веществ и их источников обусловило активное внедрение методов фитотестирования в экологическое почвоведение. В условиях, когда загрязнение окружающей среды приобретает комплексный характер, количественные показатели содержания загрязняющих веществ, такие как ПДК, предельно допустимый уровень (ПДУ), не могут охватить многообразия поллютантов и оценить экологический риск для исследуемых объектов. Общее экотоксикологическое состояние почвенных экосистем можно оценить интегральными методами биотестирования, в частности по реакции высших растений [16].

Основу метода фитотестирования составляет способность растений реагировать на изменение условий среды, что позволяет оценивать токсичность или биоактивность различных веществ. Чувствительность растений к внешним воздействиям проявляется в изменении биохимических реакций и отражается в морфологических параметрах роста и развития. Принцип метода фитотестирования заключается в регистрации данных параметров у растительных организмов, развивающихся в испытуемых пробах по сравнению с контрольными вариантами, не содержащими тестируемых веществ. Фитотест информативен, высокочувствителен и характеризуется стабильностью получаемых результатов [17].

Цель работы – проверка возможности использования иловых ОСВ Минской очистной станции в качестве органоминерального удобрения без предварительной обработки.

В качестве объекта исследования служили образцы иловых ОСВ, взятые из иловой камеры Минской очистной станции (МОС-1); пробы отобраны в осенний период 2020 г. Предмет исследования – перспективы использования иловых ОСВ в качестве полезного компонента. В связи с непрерывным увеличением объемов данного отхода на иловых площадках и невозможностью увеличивать площади, отводимые под хранение отхода, решение вопроса утилизации иловых ОСВ обуславливает актуальность исследований.

Методы исследований. Работа выполнена с использованием современных методов, а также применялся системный метод анализа исследуемой темы, включающий патентно-информационный поиск и лабораторные методы исследования. Работа выполнялась на базе кафедры биотехнологии Белорусского государственного технологического университета.

Фитотестирование проводили в соответствии с ГОСТ 12038-84. Для оценки уровня фитотоксичности в качестве тест-культур были выбраны однодольное растение ячмень (*Hordeum vulgare*) и двудольное – кресс-салат (*Lepidium sativum*). Семена прошли лабораторный контроль качества на всхожесть, чистоту сорта и соответствуют СТБ 2145-2010. Дозы внесения иловых ОСВ составили 4 и 8 т/га. Данные значения были выбраны исходя из рекомендаций, изложенных в [18]. Продолжительность эксперимента составила 6 сут. Семена проращивали в пластиковых контейнерах размером $d = 33,2 \text{ см}^2$, $h = 10 \text{ см}$ (кресс-салат) и $d = 63,6 \text{ см}^2$, $h = 14 \text{ см}$ (ячмень) с массой исходной почвы в каждом образце 75 г (кресс-салат) и 225 г (ячмень) при комнатной температуре. В контейнеры вносили 20 семян кресс-салата и 10 семян ячменя соответственно. Для поддержания постоянной влажности производили полив каждые два дня (объем воды 50–70 см³). Все опыты проводили в 3-кратной повторности. Статистическую обработку полученных данных осуществляли с использованием программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. Первые всходы семян отмечены на третьи сутки. Зависимость показателей роста кресс-салата от дозы иловых ОСВ в почве определяли на пятые сутки после посадки, а ячменя – на шестые.

Внесение осадков в качестве удобрения в почву привело к угнетению всхожести в первые дни эксперимента, но к концу эксперимента основные показатели роста и развития растений, выросших на почве с иловыми ОСВ, приблизились к контролю. В результате по окончании эксперимента не было различий в длине надземной части в контроле и рассматриваемых вариантах опыта (рис. 1).

На шестые сутки роста определяли итоговую всхожесть (B , %) семян тест-объектов. Динамика всхожести семян представлена на рис. 2, а, б. Как видно из рис. 2, использование иловых ОСВ в качестве биоудобрения снижает всхожесть семян.

На пятые сутки проращивания семян кресс-салата определяли длину проростка и корневой системы, а также массу наземной части. Полученные данные представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3, использование иловых ОСВ в качестве удобрения при выращивании кресс-салата оказывает негативное влияние на такие характеристики, как длина корня и биомасса наземной части растения. В литературе указывается [19], что наиболее токсичочувствительным пара-



Рис. 1. Образцы тест-объектов:

а – кресс-салат, пятые сутки культивирования; б – ячмень, шестые сутки культивирования

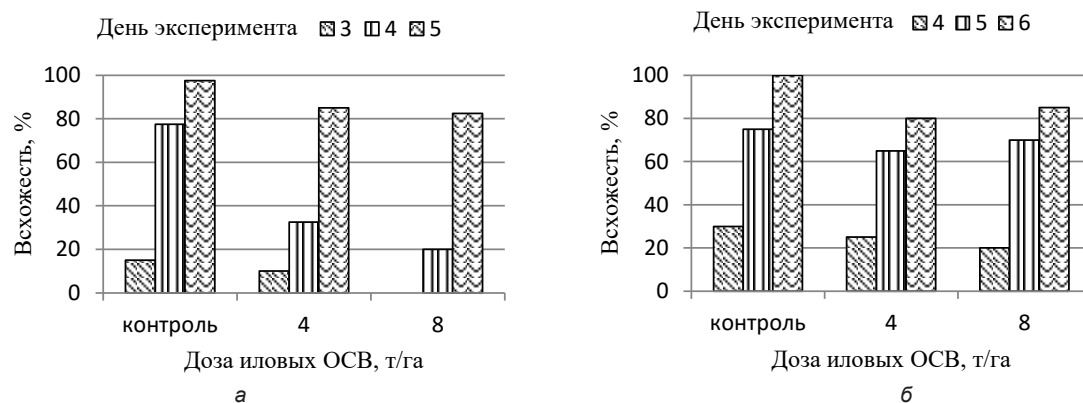


Рис. 2. Динамика всхожести тест-объектов: а – кресс-салат, б – ячмень

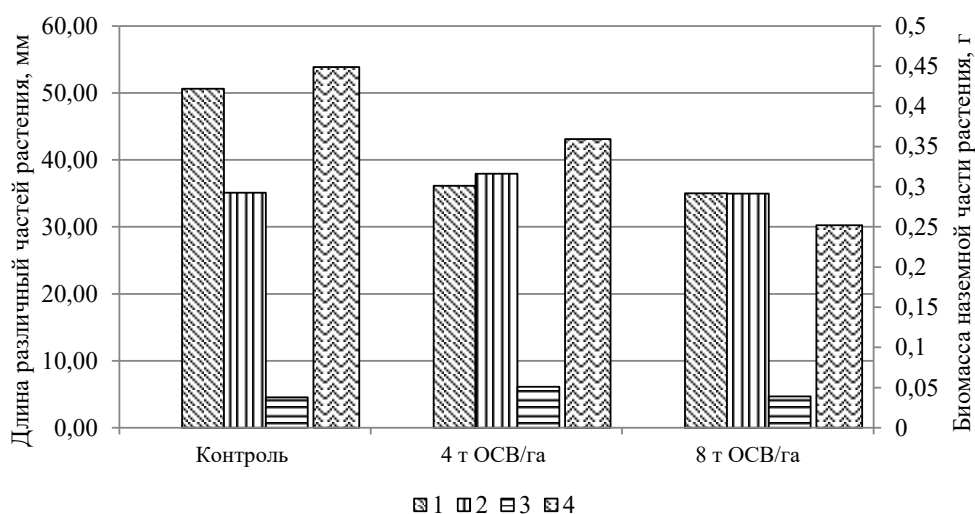


Рис. 3. Влияние дозы вносимых в почву иловых ОСВ на характеристики роста и развития кресс-салата: 1 – длина корня; 2 – длина стебля; 3 – длина листа; 4 – биомасса

метром является длина и развитость корневой системы, так как корни способны сорбировать токсичные вещества из почвы. Поэтому угнетающее действие от внесения иловых осадков можно объяснить воздействием содержащихся в них токсикантов. На такие показатели, как длина стебля и листа, внесение иловых ОСВ не оказывает существенного влияния.

Данные, характеризующие рост и развитие ячменя на шестые сутки, представлены на рис. 4. Использование иловых ОСВ в качестве биоудобрения при выращивании ячменя положительно сказывается на таких характеристиках, как длина coleoptily, длина первого и второго листа. Полученные данные можно объяснить высокой удобрительной способностью используемого осадка. Однако угнетаются такие показатели, как средняя длина корней и биомасса наземной части растения. Полученные результаты могут быть связаны с воздействием токсичных веществ, содержащихся в иловых ОСВ.

На следующем этапе работы с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM5610 LV, оснащенного системой химического микроанализа EDX JED-2201 JEOL (Япония), анализировали элементный состав зольного осадка, образованного при сжигании образцов илового ОСВ и наземной части тест-объектов. Полученные данные представлены в таблице.

К числу наиболее опасных ТМ, если учитывать их токсичность, стойкость и способность накапливаться во внешней среде, а также масштабы распространения, относятся ртуть, свинец, кадмий, кобальт, никель, цинк, медь, молибден, олово, мышьяк [20]. Как видно из таблицы, в иловом ОСВ содержатся следующие ТМ (%): Mn (0,58), Fe (13,74), Cu (1,27), Zn (3,22), As (0,08).

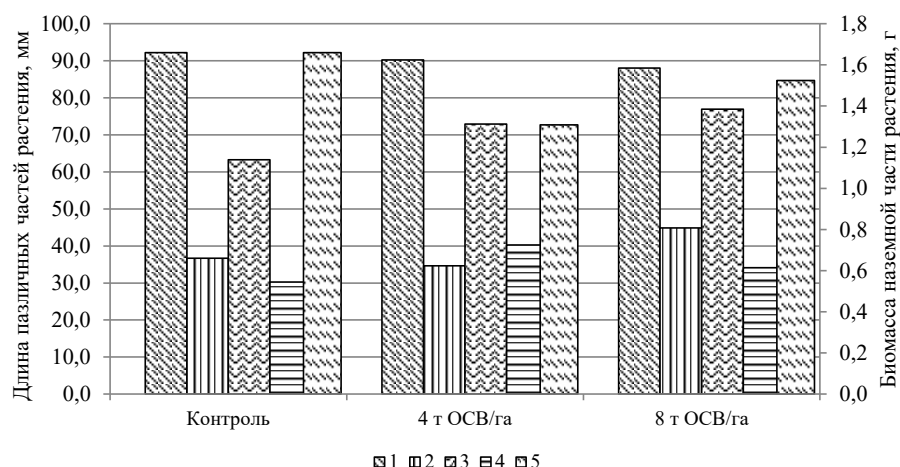


Рис. 4. Влияние дозы вносимых иловых ОСВ на характеристики роста и развития ячменя:
1 – средняя длина корней; 2 – длина coleoptиля; 3 – длина первого листа; 4 – длина второго листа; 5 – биомасса

Элементный анализ золы илового ОСВ и наземной части тест-объектов (содержание элементов, %)

Элемент	Иловый ОСВ	Кресс-салат			Ячмень		
		контроль	доза 4 т/га	доза 8 т/га	контроль	доза 4 т/га	доза 8 т/га
Na	–	3,01±0,05	2,78±0,04	0,28±0,05	–	0,09±0,04	1,57±0,05
Mg	8,33±0,03	29,56±0,03	23,42±0,03	27,31±0,03	11,25±0,03	9,55±0,03	10,27±0,04
Al	6,35±0,03	0,48±0,03	0,33±0,03	0,5±0,03	–	0,88±0,03	0,46±0,04
Si	28,81±0,03	2,48±0,03	1,21±0,03	0,38±0,03	6,35±0,03	4,9±0,03	3,93±0,04
P	6,08±0,04	6,14±0,04	5,46±0,04	6,5±0,04	6,45±0,04	6,8±0,04	5,0±0,05
S	0,63±0,03	10,39±0,03	11,5±0,03	12,22±0,03	2,98±0,03	3,45±0,03	4,73±0,04
Cl	–	1,65±0,02	1,51±0,01	1,3±0,02	9,13±0,01	6,53±0,02	6,22±0,02
K	2,59±0,02	25,72±0,02	36,56±0,02	31,22±0,02	59,72±0,02	62,81±0,02	63,75±0,02
Ca	27,2±0,02	15,9±0,03	11,01±0,03	14,0±0,03	4,12±0,03	4,99±0,04	4,07±0,05
Ti	1,12±0,03	–	–	–	–	–	–
Mn	0,58±0,04	–	–	–	–	–	–
Fe	13,74±0,04	–	–	–	–	–	–
Cu	1,27±0,08	2,66±0,09	3,14±0,08	2,94±0,09	–	–	–
Zn	3,22±0,1	2,02±0,11	3,08±0,1	3,35±0,11	–	–	–
As	0,08±0,06	–	–	–	–	–	–

Известно, что растения способны поглощать ТМ за счет физико-химической адсорбции, которая носит неспецифичный характер [21]. Однако при дозах внесения 4 и 8 т ОСВ/га произошло незначительное увеличение содержания соединений Zn и Cu в наземной части кресс-салата. Накопление ТМ в биомассе ячменя не наблюдалось.

Закключение. Для определения возможности использования иловых ОСВ необходимо изучение их состава и свойств. В ходе научно-исследовательской работы была проведена оценка возможности использования иловых ОСВ без предварительной обработки в качестве органоминерального удобрения для некоторых видов растений. Был определен элементарный состав иловых ОСВ, что позволит впоследствии рассчитать класс опасности и оценить степень загрязнения отхода ТМ. Знание элементного состава позволит рассчитать допустимые дозы ОСВ, которые можно вносить в почву в качестве удобрений растений без последствий для окружающей среды и человека.

В ходе анализа элементного состава золы иловых ОСВ и наземной биомассы тест-объектов установлено, что при дозах внесения 4 и 8 т ОСВ/га происходит незначительное накопление в наземной части кресс-салата соединений Zn и Cu (не превышают допустимые нормативы), в наземной части ячменя накоплений ТМ не было. Дальнейшие исследования предполагается

направить на разработку оптимального состава органоминерального удобрения на основе иловых ОСВ и провести полевые испытания на различных культурных растениях.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке ГБ 21-061 «Использование осадков сточных вод после безреагентной детоксикации в качестве биоудобрения».

Список использованных источников

1. Смирнов, Ю. Д. Перспективы полезного использования золы сжигания осадка сточных вод в народном хозяйстве / Ю. Д. Смирнов, М. В. Сучкова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 3. – С. 16–25. doi: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.16-25
2. Дрозд, Г. Я. Технические аспекты утилизации депонированных осадков сточных вод / Г. Я. Дрозд // Вода и экология: проблемы и решения. – 2014. – № 1. – С. 35–50.
3. Sewage sludge ash – a promising secondary phosphorus source for fertilizer production / H. Herzel [et al.] // Science of the Total Environment. – 2016. – Vol. 542. – Part B. – P. 1136–1143. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.059
4. Дрозд, Г. Я. Биотехнологические вопросы утилизации осадков сточных вод / Г. Я. Дрозд, Е. Н. Пашутина, С. Н. Давыдов // Вода и экология: проблемы и решения. – 2014. – № 2. – С. 66–77.
5. Li, J. Innovative solidification/stabilization of lead contaminated soil using incineration sewage sludge ash / J. Li, C. S. Poon // Chemosphere. – 2017. – Vol. 173. – P. 143–152. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.01.065
6. Обработка и утилизация осадков сточных вод на очистных сооружениях Санкт-Петербурга: опыт и перспективы / Б. В. Васильев [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 10. – С. 47–51.
7. Теучеж, А. А. Технология ускоренной переработки подстилочного свиного навоза в органическое удобрение / А. А. Теучеж // Политематический сетевой электронный науч. журн. КубГАУ. – 2017. – № 133(09). – С. 1094–1113. doi: 10.21515/1990-4665-133-080
8. Использование осадков сточных вод городских очистных сооружений при возделывании кукурузы / А. В. Сорока [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2020. – № 56. – С. 160–167.
9. Харкевич, Л. П. Урожай и качество сена многолетних трав в зависимости от применения осадков сточных вод и известкования / Л. П. Харкевич // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 2. – С. 20–22.
10. Агроэкологический эффект осадков сточных вод при удобрении многолетних трав / Г. Е. Мерзлая [и др.] // Агрохимические проблемы биологической интенсификации земледелия. – М.: Изд-во ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. – С. 138–143.
11. Прокопова, Л. В. Функционирование агроценозов при использовании осадка сточных вод в качестве органического удобрения / Л. В. Прокопова, Ю. И. Житин // Вестн. Воронеж. гос. аграр. ун-та. – 2013. – № 1 (36). – С. 35–39.
12. Чекаев, Н. П. Влияние компостов из осадков сточных вод на физико-химические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур / Н. П. Чекаев // Повышение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. аграр. ун-та, 2009. – С. 128–131.
13. Оспанов, К. Т. Оценка современного состояния обработки осадков сточных вод станции аэрации г. Алматы, Республика Казахстан / К. Т. Оспанов, Э. М. Кульдыева, О. П. Тамабаев // Вода и экология: проблемы и решения. – 2014. – № 1. – С. 26–34.
14. Насыров, И. А. Проблемы утилизации иловых осадков очистных сооружений / И. А. Насыров, Г. В. Маврин, Н. Г. Шайхиев // Вестн. техн. ун-та. – Казань. – 2015. – Т. 18, № 19. – С. 257–259.
15. Игнатенко, А. В. Биотестирование химической безопасности осадков сточных вод / А. В. Игнатенко // Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2017. – № 2 (199). – С. 10–14.
16. Николаева, О. В. Совершенствование лабораторного фитотестирования для экотоксикологической оценки почв / О. В. Николаева, В. А. Терехова // Почвоведение. – 2017. – № 9. – С. 1141–1152. doi: 10.7868/S0032180X17090052
17. Шабалина, О. М. Оценка применимости некоторых двудольных и однодольных растений для фитотестирования городских почв / О. М. Шабалина, Т. Н. Демьяненко // Ульянов. мед.-биол. журн. – 2012. – № 1. – С. 103–113.
18. Мерзлая, Г. Е. Трансформация токсичных осадков сточных вод в экологически безопасные удобрения / Г. Е. Мерзлая, Р. А. Афанасьева // Химическая безопасность. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 180–190. doi: 10.25514/CHS.2018.1.12892
19. Лисовицкая, О. В. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения / О. В. Лисовицкая, В. А. Терехова // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – Т. 1, № 13. – С. 1–18.
20. Раковская, Е. Г. Исследование загрязнения почв тяжелыми металлами / Е. Г. Раковская, М. Е. Рудов, А. С. Прохоров // Вестн. МАНЭБ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 13–17.
21. Яппаров, А. Х. Комплексный подход к рекультивации нефтезагрязненных почв / А. Х. Яппаров, И. А. Дегтярева, А. Я. Хидиятуллина // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1. – С. 34–40.

Поступила 21.02.2022

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ**MINERAL RESOURCES****МІНЕРАЛЬНА-СЫР'ЯВІННЫЯ РЭСУРСЫ**

UDC 567.1; 567.42; 567.43:551.734.2(476.7)

D. P. Plax*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus**e-mail: agnatha@mail.ru***ICHTHYOFAUNA FROM THE LOWER DEVONIAN (LOCHKOVIAN) DEPOSITS
OF THE PODLASIE-BREST DEPRESSION
(FROM THE RESULTS OF THE RATAICHITSY 12 K BOREHOLE SECTION INVESTIGATION)**

Abstract. The paper presents the results of a palaeoichthyological study of the Lochkovian age rocks exposed in the Rataichitsy 12 k borehole within the territory of the Podlasie-Brest Depression in Belarus. To complete the information presented in the papers the author gives besides his personal data the summarized evidences of all the reliable findings of the Lochkovian fish fauna in the territory of the above-named tectonic structure known from the literature. A brief taphonomic description of the Early Devonian ichthyofauna remains is presented. A vertebrate assemblage established in this borehole is compared with the coeval ichthyological assemblages known in the territory of Russia, Ukraine, the Baltic States and Spitsbergen. The data of the Lochkovian ichthyofauna obtained supplement the information on its geographical distribution and systematic composition within the Republic of Belarus.

Keywords: Belarus, Podlasie-Brest Depression, ichthyofauna, Lochkovian deposits, Lower Devonian

Д. П. Плакс*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,**e-mail: agnatha@mail.ru***ИХТИОФАУНА ИЗ НИЖНЕДЕВОНСКИХ (ЛОХКОВСКИХ) ОТЛОЖЕНИЙ ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКОЙ ВПАДИНЫ
(ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ РАЗРЕЗА СКВАЖИНЫ РАТАЙЧИЦЫ 12 К)**

Аннотация. Приводятся результаты палеоихтиологического изучения пород лохковского возраста, вскрытых скважиной Ратайчицы 12 к на территории Подляско-Брестской впадины в пределах Беларуси. Для полноты информации в тексте приводятся, помимо собственных исследований автора, также обобщенные сведения обо всех достоверно известных находках лохковской ихтиофауны на территории вышеназванной тектонической структуры на основе литературных данных. Рассмотрена кратко тафономическая характеристика остатков раннедевонской ихтиофауны. Установленный комплекс позвоночных в этой скважине сопоставляется с одновозрастными ихтиокомплексами известными на территории России, Украины, стран Балтии и Шпицбергена. Полученные данные по лохковской ихтиофауне дополняют информацию о ее географическом распространении и систематическом составе в пределах республики.

Ключевые слова: Беларусь, Подляско-Брестская впадина, ихтиофауна, лохковские отложения, нижний девон

Дз. П. Плакс*Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,**e-mail: agnatha@mail.ru***ІХТЫЯФАЎНА З НІЖНЭДЭВОНСКИХ (ЛОХКАЎСКИХ) АДКЛАДАЎ ПАДЛЯСКА-БРЭСЦКАЙ УПАДЗІНЫ
(ПА ВЫНІКАХ ВЫВУЧЭННЯ РАЗРЭЗУ СВДРАВІНЫ РАТАЙЧИЦЫ 12К)**

Анатацыя. Прыводзяцца вынікі палеаіхтыялагічнага вывучэння парод лохкаўскага ўзросту, ускрытых свідравінай Ратайчыцы 12 к на тэрыторыі Падляска-Брэсцкай упадзіны ў межах Беларусі. Для паўнаты інфармацыі ў тэксце прыводзяцца, акрамя ўласных даследаванняў аўтара, таксама абагульненыя звесткі аб усіх дакладна вядомых знаходках лохкаўскай іхтыяфаўны на тэрыторыі вышэйназванай тэктанічнай структуры на аснове літаратурных даных. Разгледжана каратка тафанамічная характарыстыка рэштак раннедэвонскай іхтыяфаўны. Устаноўлены комплекс хрыбетных у гэтай свідравіне супастаўляецца з іхтыякомплексамі таго ж самага ўзросту вядомых на тэрыторыі Расіі, Украіны, краін Балтыі і Шпіцбергена. Атрыманыя даныя па лохкаўскай іхтыяфаўне дапаўняюць інфармацыю аб яе геаграфічным распаўсюджванні і сістэматычным складзе ў межах рэспублікі.

Ключавыя словы: Беларусь, Падляска-Брэсцкая ўпадзіна, іхтыяфаўна, лохкаўскія адклады, ніжні дэвон

Introduction. The Devonian deposits in the territory of the Podlasie-Brest Depression are described by a small distribution area and are represented by the lower part of the Lochkovian Stage [1, 2]. They were exposed in five boreholes: Rataichitsy 12k (depth range of 366.0–404.0 m), Orlia 28 (depth range of 409.0–450.0 m), Kustin 8 (depth range of 384.0–416.0 m), Yatskovichi 14 (depth range of 386.0–409.0 m) and Lyshitsy 15 (depth range of 394.0–404.0 m) [3]. Their thickness varies from 10 to 41 m. According to the current Stratigraphic Chart of the Devonian deposits of Belarus (2010) these deposits correspond to the Kameniuki Formation (Borshchovo Regional Stage) [2]. They are mainly composed of dolomite limestones and dolomites, with few and thin layers of marls, clays and siltstones. They are lying over the deposits of the Kustin Regional Stage (Formation) of the Pridolian Series of the Upper Silurian and are overlain by the Triassic clays or Permian conglomerates.

This paper is devoted to the study of the micromeric and mesomeric remains of the ichthyofauna originating from the Lower Devonian deposits of the Rataichitsy 12 k borehole, or more precisely, from the marly-dolomitic deposits of the Kameniuki Formation of the Borshchovo Regional Stage of the Lochkovian Stage of the Lower Devonian. The deposits of the Kameniuki Formation in this borehole occur on the clayey-carbonate sediments of the Kustin Regional Stage (Formation) of the Pridolian Series of the Upper Silurian, and are overlain by the Lower Triassic variegated clays. The deposits of the Kameniuki Formation distinguished in the Rataichitsy 12 k borehole are 39 m thick. This is a stratotype borehole. It was drilled in the late sixties of the twentieth century near the village of Rataichitsy, Kamenets district, Brest region. The core from this borehole preserved to date was given a thorough palaeoichthyological study. This allowed the author to obtain new findings of various Lochkovian ichthyofauna and to supplement significantly its taxonomic composition, which was originally established in the past century on the basis of evidences from just this borehole by V. N. Karatajūtė-Talimaa [4–6] and J. J. Valiukevičius [7].

History of study of the Lower Devonian (Lochkovian) ichthyofauna in the territory of the Podlasie-Brest Depression. The first findings of the ichthyofauna remains from the Lower Devonian deposits in the Podlasie-Brest Depression were made in the early seventies of the past century in two boreholes: Rataichitsy 12 k and Orlia 28. Their study was carried out by V. N. Karatajūtė-Talimaa [4–6]. According to V. N. Karatajūtė-Talimaa the agnathan and fish remains identified in the Rataichitsy 12 k borehole at a depth of 366.7–404.0 m were represented by heterostracan scales, tesseræ, dentine ridges, small plate fragments of *Anglaspis* sp., *Corvaspis* sp., *Tesseraspis* sp., “*Traquairaspis*” sp., single osteostracan scales, thelodont scales of *Turinia* sp., *T. pagei* (Powrie), *T. polita* Karatajūtė-Talimaa, *Nikolivia gutta* Karatajūtė-Talimaa, *N. elongata* Karatajūtė-Talimaa (now *Talivalia elongata* (Karatajūtė-Talimaa) according to [8]), acanthodian scales of *Nostolepis striata* Pander, *N. gracilis* Gross, *Gomphonchus* sp., fin spine fragments of “*Onchus*” sp., sarcopterygian scales of *Porolepis* sp. The ichthyofauna remains were found in greenish-grey carbonate clays and red-brown siltstones with greyish-green spots. According to the vertebrates this part of the section of the Devonian was correlated with the Borshchovo Regional Stage of the Podolia region. The similar vertebrate assemblage was also identified by V. N. Karatajūtė-Talimaa in the Orlia 28 borehole in a depth range of 409.0–445.0 m.

In the nineties of the past century J. J. Valiukevičius performed an additional palaeoichthyological study of the Lower Devonian (Lochkovian) deposits exposed in the Rataichitsy 12 k borehole. J. J. Valiukevičius [7] discovered in grey, light grey and greenish grey clays, siltstones, marls, clayey, organic and dolomite limestones in a depth range of 366.0–404.0 m numerous acanthodian remains represented by the scales of *Nostolepis striata* Pander, *N. minima* Valiukevičius, *N. robusta* (Brotzen) (now *Jolepis robusta* (Brotzen) according to [9]), *Gomphonchus sandelensis* (Pander), *G. sandelensis* (Pander) or *Poracanthodes punctatus* Brotzen, “*Pruemolepis wellsii*” Vieth-Schreiner, *Endemolepis inconstans* Valiukevičius, *Cheiracanthoides planus* Valiukevičius, *Poracanthodes porosus* Brotzen of the acanthodian zone of *Nostolepis minima*. According to the acanthodian assemblage found in this part of the section he assigned it to the Borshchovo Regional Stage and correlated with deposits of the lower and middle part of the Tilžė Regional Stage of the Lochkovian Stage of the Baltic States.

Materials and methods. The skeletal material of the agnathans and fishes presented in the paper was from the core of the Rataichitsy 12 k borehole drilled in the territory of the Podlasie-Brest Depression

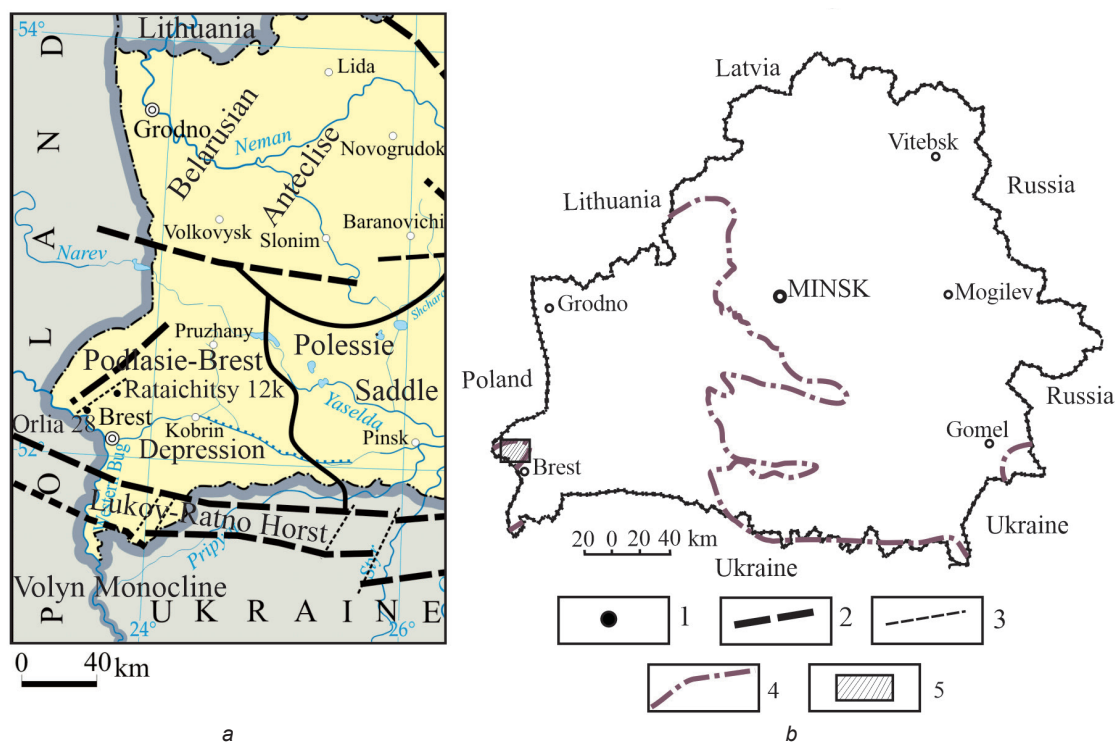
(Text-Fig. 1). The ichthyofauna remains obtained by dissolving the dolomites, dolomite limestones and marls by the acetic and formic acids are represented by micro- and mesomeric skeletal elements: the dentine ridges, tesserae, small plate fragments, scales and fin spine fragments of good or satisfactory preservation. Systematically, the skeletal elements belong to such ichthyofauna groups as the heterostracans, osteostracans, thelodonts, placoderms, chondrichthyans and acanthodians.

The photographs of the agnathan and fish remains took by a scanning electron microscope JSM-5610 LV (JEOL, Japan) and by a Sony A58 camera with an Industar-50 lens are used to illustrate the material. The images were processed with Adobe Photoshop CS6, the figures were created with the CorelDRAW 2019 program. The skeletal elements were studied with microscopes MBS-1 and Axioskop 40 A Pol.

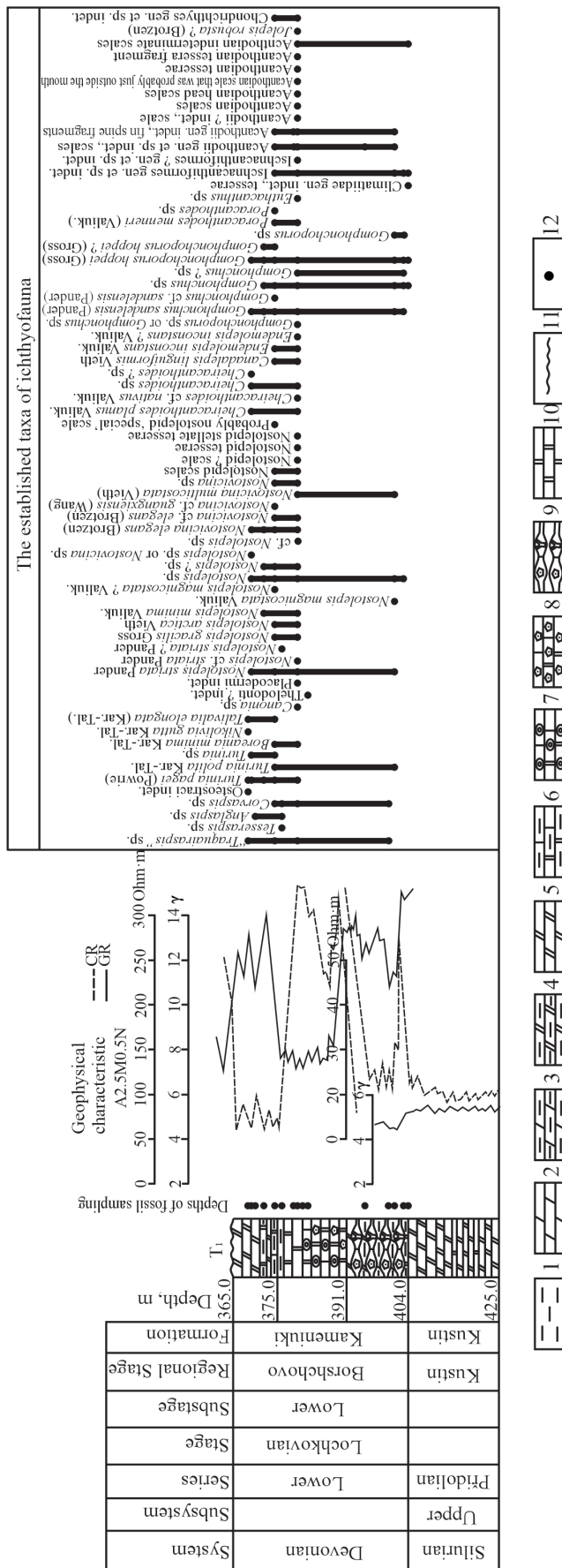
The diagnostics of the skeletal elements of the agnathans and fishes were mainly based on their external morphological features. The histological data were used to determine some acanthodian and thelodont scales. The skeletal material fragmentation and degree of wholeness sometimes did not allow the determination of a specimen to a species or genus; therefore, some vertebrate definitions were left in open nomenclature.

Most of the studied ichthyofauna remains are kept in the author's personal collection, and a small part – in the palaeontological collection of the Geological Institute of the State Enterprise "Scientific Research Center for Geology", Minsk.

The Lochkovian ichthyofauna from the Rataichitsy 12 k borehole rock sequence. According to the author's present-day investigations a lot of various remains of ichthyofauna were found in the deposits of the Kameniuki Formation (depth range of 365.0–404.0 m) in the Rataichitsy 12 k borehole (Text-Fig. 2; Plates I, II, III, IV, V, VI, VII and VIII). These are mainly found in grey, light grey, dense, hard, cryptocrystalline, platy, clayey dolomites, light grey, massive, strong, cryptocrystalline, platy, dolomite limestones, grey, greenish-grey, dense, fragmented, dolomite marls and greenish-grey carbonate clays. Taxonomically, the vertebrate remains found in these rocks belong to the heterostracans, osteostracans, thelodonts, placoderms, acanthodians and chondrichthyans. Among the mentioned



Text-Fig. 1. Map showing the location of the boreholes in the territory of the Podlasie-Brest Depression within Belarus where the Lower Devonian (Lochkovian) ichthyofauna was studied (a) and a site sketch map (b):
1 – borehole sections where the ichthyofauna was studied; 2 – regional and subregional fractures; 3 – local fractures;
4 – modern boundary of the Devonian deposit distribution; 5 – studied area outline



Text-Fig. 2. Geological section of the Lower Devonian deposits from the Rataichitsy 12k borehole (from [31]; Text-Fig. 1, with D. P. Plax's refinements and additions) with the ichthyofauna distribution. Legend: 1 – clays; 2 – marls; 3 – clayey marls; 4 – clayey dolomite marls; 5 – dolomite marls; 6 – clayey dolomite limestones; 7 – algal limestones; 8 – crinoidal limestones; 9 – lumpy limestones; 10 – dolomites. Other symbols: 11 – discontinuity surfaces; 12 – fossil sampling sites

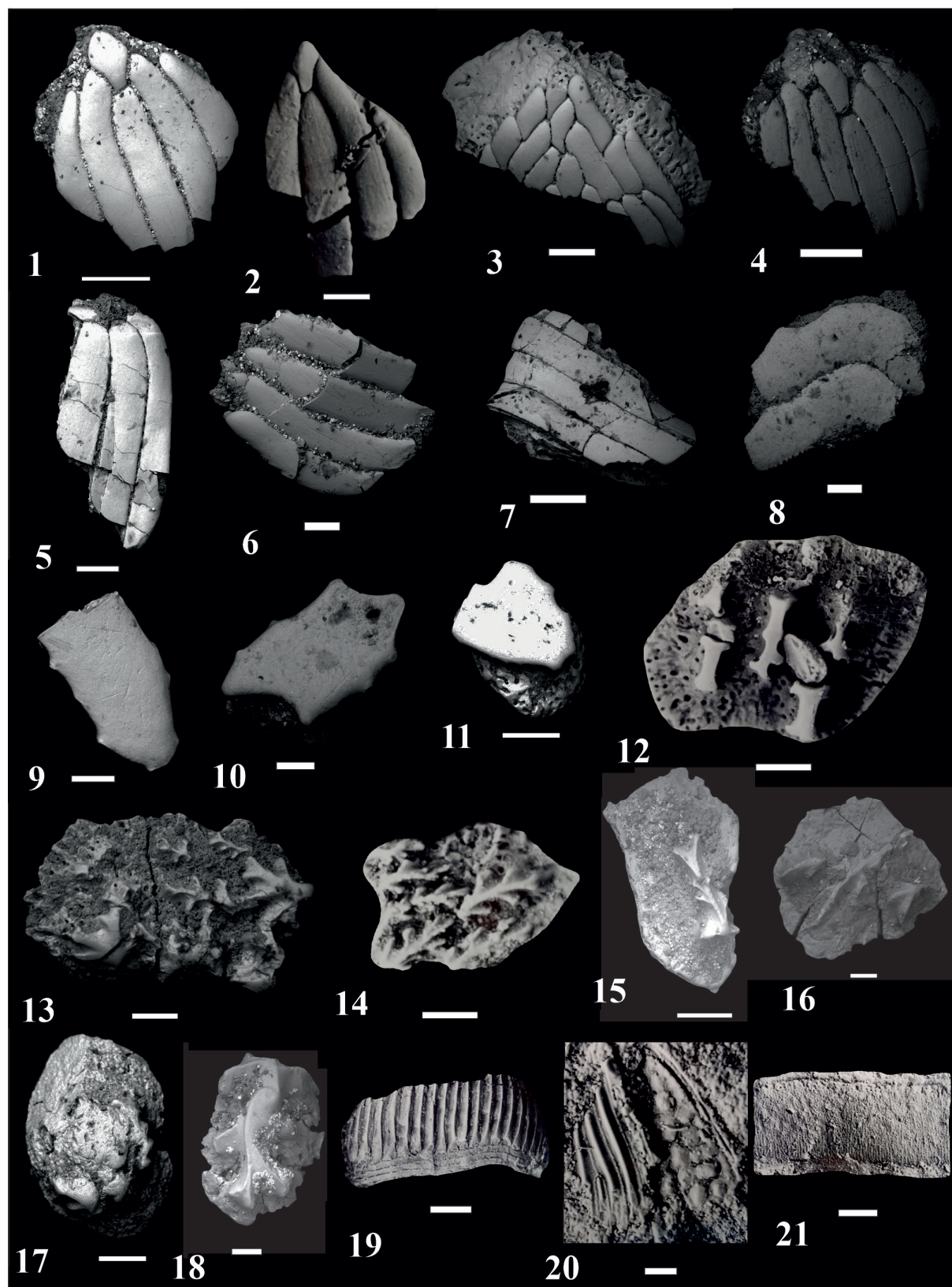


Plate I – Heterostracan and osteostracan skeletal elements from the Rataichitsy 12 k borehole. All skeletal elements of the agnathans come from the Kameniuki Formation, Borshchovo Regional Stage, Lochkovian, Lower Devonian. Scale bar 100 μm for Figures 9, 10 and 16; 200 μm for Figures 5, 6, 8, 13, 17 and 18; 500 μm for Figures 1, 2, 3, 4, 7, 11, 14 and 15; 1 mm for Figures 12, 19 and 20; 2 mm for Figure 21.

Figure 1 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/9-50, Rataichitsy 12k borehole, depth 379.5 m, x 45, scale, external view. Figure 2 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/8a-1, Rataichitsy 12 k borehole, depth 376.0 m, x 40, scale fragment, external view. Figure 3 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/9-12, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 35, scale fragment, external view. Figure 4 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/9-18, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 50, scale, external view. Figure 5 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/7-22, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 60, scale fragment, external view. Figure 6 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/9-22, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 75, fragmentary tesseriform unit, external view. Figure 7 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/7-68, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 50, fragmentary tesseriform unit, external view. Figure 8 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/7-35, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 75, piece of tesseriform unit, external view. Figure 9 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/7-11, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, fragmentary dentine ridge, external view. Figure 10 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/7-71, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 180, dentine ridge, external view. Figure 11 – *Corvaspis* sp. Specimen № 122/7-23, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 50, fragmentary dentine ridge, external view. Figure 12 – *Tesseraspis* sp. Specimen № 122/8a-2, Rataichitsy 12 k borehole, depth 376.0 m, tessera, external view, (the scale of *Nostolepis striata* Pander is observed in the center between the dentine ridges). Figure 13 – “*Traquairaspis*” sp. Specimen № 122/7-66, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 75, plate fragment, external view. Figure 14 – “*Traquairaspis*” sp. Specimen № 122/20a-1, Rataichitsy 12 k borehole, depth 400.0 m, plate fragment, external view. Figure 15 – “*Traquairaspis*” sp. Specimen № 122/9-61, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 40, plate fragment, external view. Figure 16 – “*Traquairaspis*” sp. Specimen № 122/9-78, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 120, slightly damaged plate fragment, external view. Figure 17 – “*Traquairaspis*” sp. Specimen № 122/7-36, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 90, tessera, external view. Figure 18 – “*Traquairaspis*” sp. Specimen № 122/9-94, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 60, tessera, external view. Figure 19 – *Anglaspis* sp. Specimen № 122/8a-3, Rataichitsy 12k borehole, depth 376.0 m, dorso-lateral scale, external view. Figure 20 – *Anglaspis* sp. Specimen № 122/5a-1, Rataichitsy 12 k borehole, depth 370.0 m, scale fragment, external view. Figure 21 – Osteostraci indet. Specimen № 122/4a-1, Rataichitsy 12k borehole, depth 368.2 m, lateral scale.

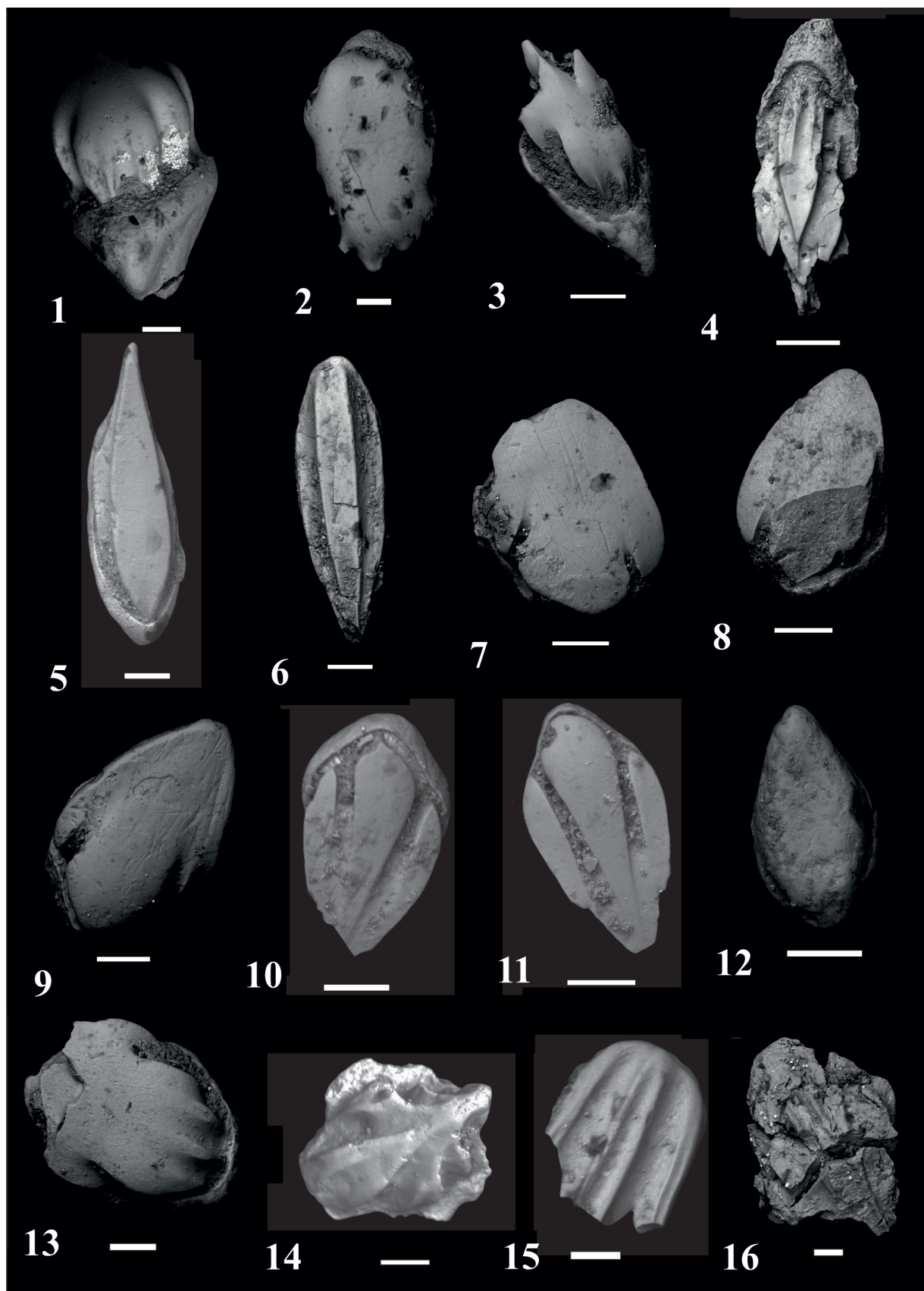


Plate II – Thelodont scales from the Rataichitsy 12 k borehole. The scales come from the Kameniki Formation, Borshchovo Regional Stage, Lochkovian, Lower Devonian. Scale bar of 50 μ m for Figure 15; 100 μ m for Figures 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 and 16; 200 μ m for Figures 3 and 4.

Figure 1 – *Turinia pagei* (Powrie). Specimen № 122/5-6, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 100, cephalo-pectoral scale, oblique crown view. Figure 2 – *Turinia polita* Karatajūtė-Talimaa. Specimen № 122/7-67, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, cephalo-pectoral scale, crown view. Figure 3 – *Turinia pagei* (Powrie). Specimen № 122/9-24, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 85, trunk scale, oblique crown view. Figure 4 – *Turinia pagei* (Powrie). Specimen № 122/7-19, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 90, trunk scale, crown view. Figure 5 – *Turinia pagei* (Powrie). Specimen № 122/9-72, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 120, trunk scale, crown view. Figure 6 – *Talivalia elongata* (Karatajūtė-Talimaa). Specimen № 122/7-41, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 120, trunk scale, crown view. Figure 7 – *Boreania minima* Karatajūtė-Talimaa. Specimen № 122/7-43, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, cephalo-pectoral scale, oblique crown view. Figure 8 – *Boreania minima* Karatajūtė-Talimaa. Specimen № 122/7-57, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, cephalo-pectoral scale, oblique crown view. Figure 9 – *Boreania minima* Karatajūtė-Talimaa. Specimen № 122/7-80, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, cephalo-pectoral scale, crown view. Figure 10 – *Boreania minima* Karatajūtė-Talimaa. Specimen № 122/9-105, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, cephalo-pectoral scale, crown view. Figure 11 – *Boreania minima* Karatajūtė-Talimaa. Specimen № 122/9-107, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, post-pectoral scale, crown view. Figure 12 – *Turinia polita* Karatajūtė-Talimaa. Specimen № 122/7-87, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 250, trunk scale, crown view. Figure 13 – *Turinia* sp. Specimen № 122/5-4, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 160, cephalo-pectoral scale, the posterior part of the crown is broken off, crown view. Figure 14 – *Turinia* sp. Specimen № 122/7-98, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 160, scale, oblique crown view. Figure 15 – *Canonis* sp. Specimen № 122/9-70, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 400, trunk scale, the posterior part of the crown is broken off, crown view. Figure 16 – Thelodonti ? indet. Specimen № 122/13-1, Rataichitsy 12 k borehole, depth 382.0 m, x 120, scale, crown view.

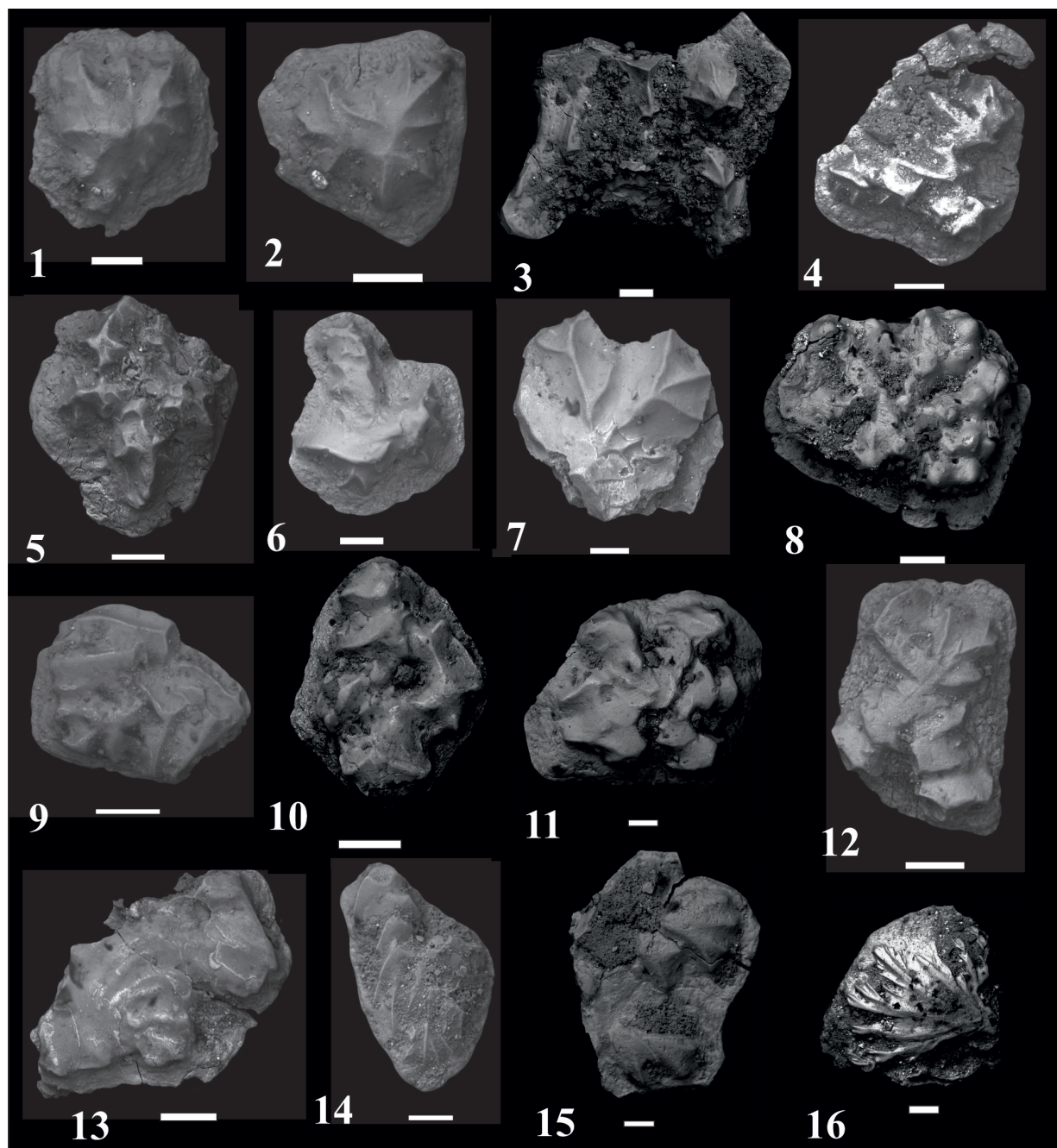


Plate III – Fish remains from the Rataichitsy 12 k borehole. The skeletal elements come from the Kameniuki Formation, Borshchovo Regional Stage, Lochkovian, Lower Devonian. Scale bar 100 μ m for Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14 and 15; 200 μ m for Figures 8, 10 and 16.

Figure 1 – Placodermi indet. Specimen № 122/9-77, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale, top view. Figure 2 – Acanthodii ? indet. Specimen № 122/9-92, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale, top view. Figure 3 – Acanthodian tessera. Specimen № 122/9-15, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, top view. Figure 4 – Acanthodian head scale. Specimen № 122/9-76, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 170, head scale, top view. Figure 5 – Acanthodian head scale. Specimen № 122/9-100, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 170, head scale, top view. Figure 6 – Acanthodian head scale. Specimen № 122/9-90, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 160, head scale, top view. Figure 7 – Acanthodian scale. Specimen № 122/9-88, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 130, scale, top view. Figure 8 – Nostolepid. Specimen № 122/9-47, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 70, tessera, top view. Figure 9 – Nostolepid. Specimen № 122/9-80, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, stellate tessera, top view. Figure 10 – Nostolepid. Specimen № 122/9-33, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 90, stellate tessera, top view. Figure 11 – Nostolepid. Specimen № 122/9-21, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, stellate tessera, top view. Figure 12 – Nostolepid. Specimen № 122/9-97, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, stellate tessera, top view. Figure 13 – Acanthodian tessera fragment. Specimen № 122/9-101, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, tessera fragment, top view. Figure 14 – Acanthodian scale that was probably located just outside the mouth. Specimen № 122/9-96, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, top view. Figure 15 – Climaetidae gen. indet. Specimen № 122/25-6, Rataichitsy 12 k borehole, depth 404.0 m, x 100, tessera, top view. Figure 16 – Probably nostolepid 'special' scale. Specimen № 122/7-14, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 60, 'special' scale, top view.

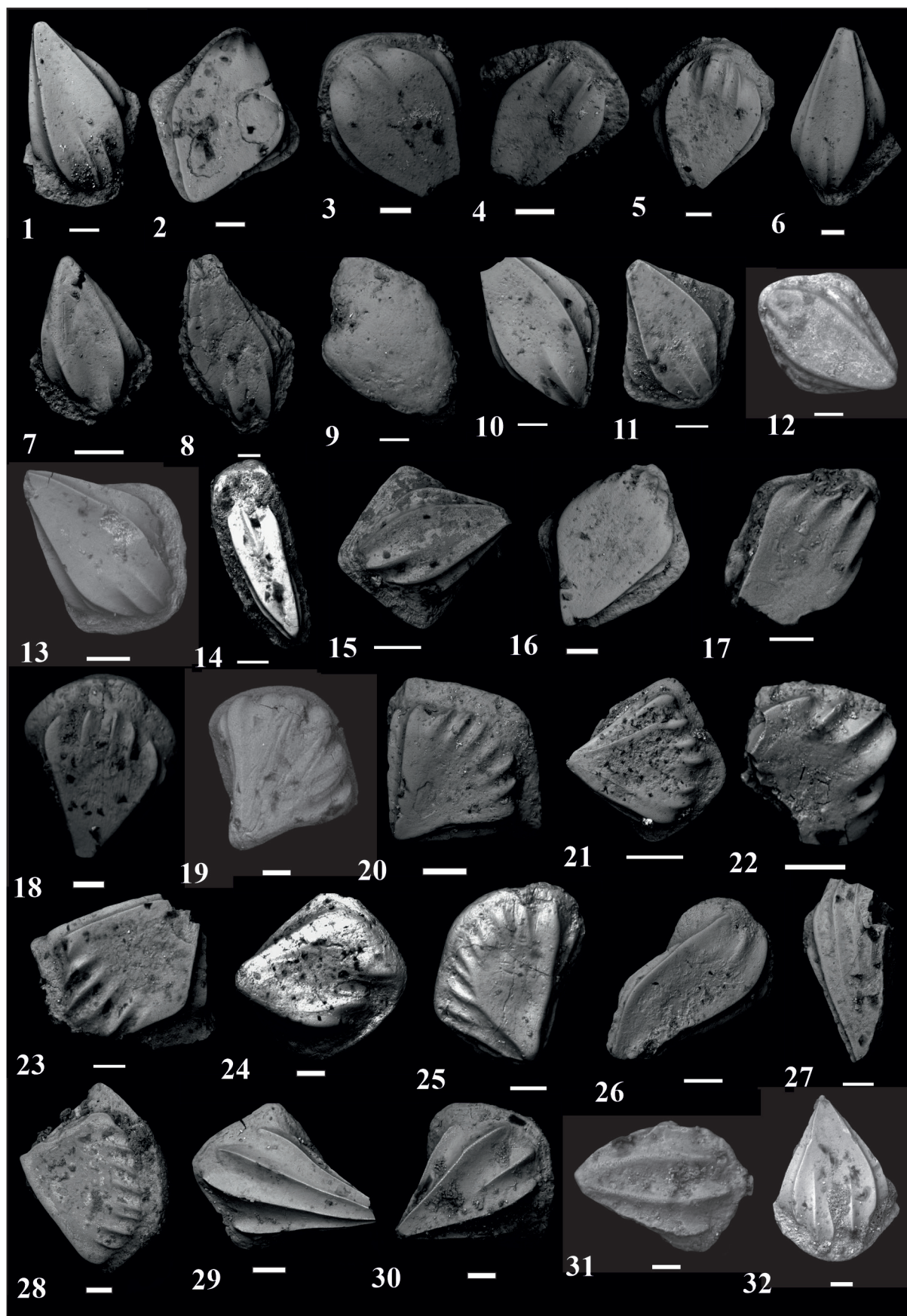


Plate IV – Acanthodian scales from the Rataichitsy 12 k borehole. The scales come from the Kameniuki Formation, Borshchovo Regional Stage, Lochkovian, Lower Devonian. Scale bar 50 μ m for Figures 9, 12, 17, 30 and 31; 100 μ m for Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 27, 28, 29 and 32; 200 μ m for Figures 24 and 26; 500 μ m for Figure 21.

Figure 1 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/6-1, Rataichitsy 12 k borehole, depth 371.9 m, x 120, scale, anterior crown view. Figure 2 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/6-4, Rataichitsy 12 k borehole, depth 371.9 m, x 150, scale, crown view. Figure 3 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/6-8, Rataichitsy 12 k borehole, depth 371.9 m, x 150, scale, crown view. Figure 4 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/5-2, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 200, scale, crown view. Figure 5 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/5-5, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 130, scale, crown view. Figure 6 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/5-10, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 100, scale, anterior crown view. Figure 7 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/7-60, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, scale, anterior crown view. Figure 8 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/7-75, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, anterior crown view. Figure 9 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/7-92, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 270, scale, basal view. Figure 10 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/9-37, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 11 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/9-55, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 12 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/9-71, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 300, scale, crown view. Figure 13 – *Nostovicina elegans* (Brotzen). Specimen № 122/9-106, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale, crown view. Figure 14 – *Nostovicina cf. elegans* (Brotzen). Specimen № 122/7-3, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 130, scale, crown view. Figure 15 – *Nostovicina cf. elegans* (Brotzen). Specimen № 122/9-30, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale, crown view. Figure 16 – *Nostolepis minima* Valiukevičius. Specimen № 122/6-5, Rataichitsy 12 k borehole, depth 371.9 m, x 150, scale, crown view. Figure 17 – *Nostolepis striata* Pander. Specimen № 122/7-38, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 400, scale, crown view. Figure 18 – *Nostolepis striata* Pander. Specimen № 122/9-4, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 130, scale, crown view. Figure 19 – *Nostolepis striata* Pander. Specimen № 122/9-82, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 20 – *Nostolepis striata* Pander. Specimen № 122/5-3, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 200, scale, crown view. Figure 21 – *Nostolepis striata* Pander. Specimen № 122/7-49, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 50, scale, crown view. Figure 22 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-44, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 250, scale fragment, crown view. Figure 23 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-42, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale, anterior crown view. Figure 24 – *Nostolepis striata* ? Pander. Specimen № 122/7-24, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 65, scale, crown view. Figure 25 – *Nostovicina cf. guangxiensis* (Wang). Specimen № 122/7-37, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 26 – *Nostolepis arctica* Vieth. Specimen № 122/7-56, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 90, scale, crown view. Figure 27 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/6-3, Rataichitsy 12 k borehole, depth 371.9 m, x 140, scale, crown view. Figure 28 – *Cheiracanthoides planus* Valiukevičius. Specimen № 122/9-38, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, oblique crown view. Figure 29 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-9, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 160, scale, crown view. Figure 30 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-32, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 300, scale, crown view. Figure 31 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-102, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 300, scale, crown view. Figure 32 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-87, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, anterior crown view.

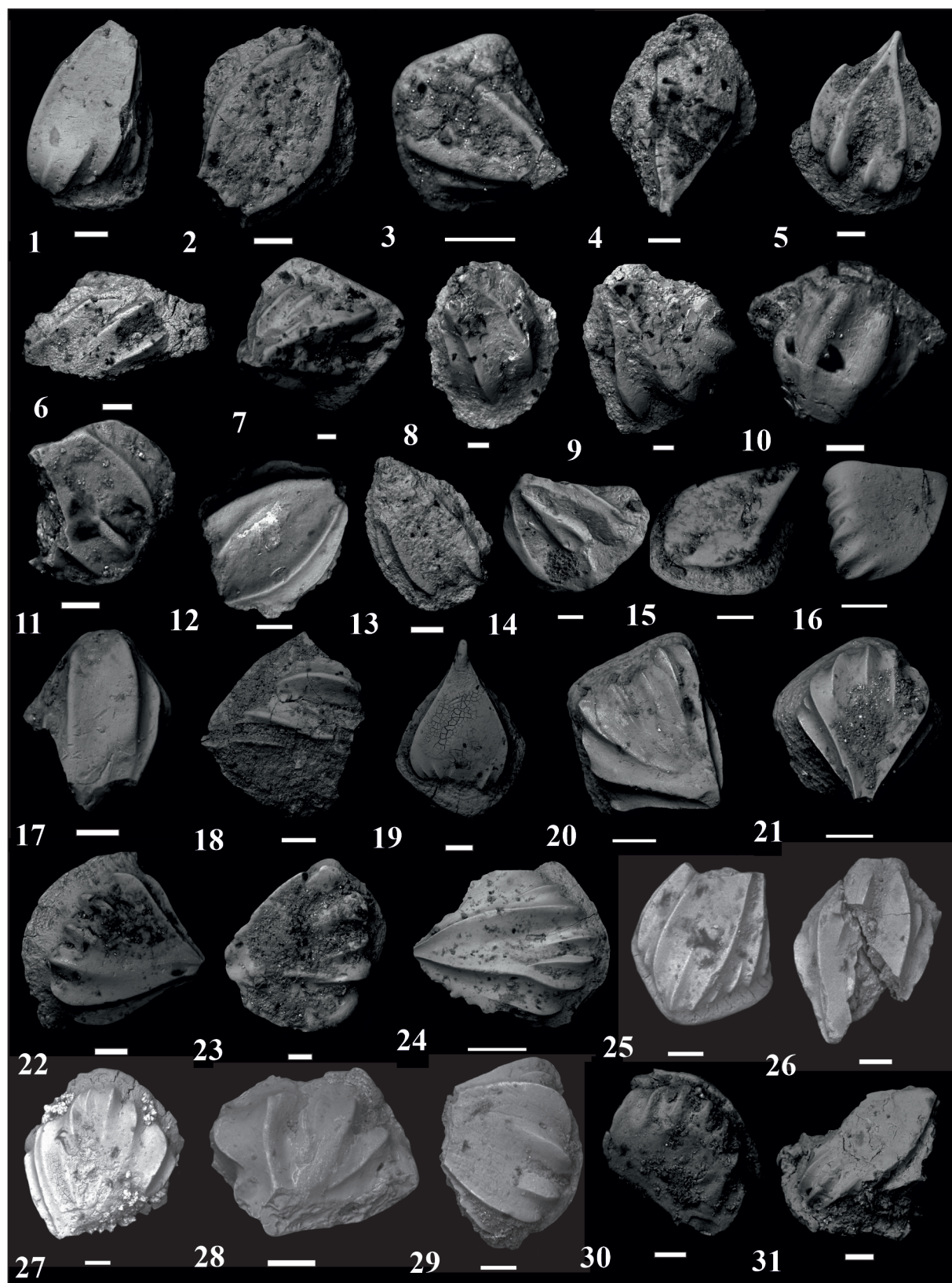


Plate V – Acanthodian scales from the Rataichitsy 12 k borehole. The scales come from the Kameniuki Formation, Borshchovo Regional Stage, Lochkovian, Lower Devonian. Scale bar 50 μ m for Figures; 10, 11, 12, 17 and 30; 100 μ m for Figures 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 and 31; 200 μ m for Figures 6, 13, 18 and 19; 500 μ m for Figure 24.

Figure 1 – *Nostovicina* sp. Specimen № 122/7-31, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 130, scale, anterior crown view. Figure 2 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/7-7, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 3 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-46, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 250, scale, crown view. Figure 4 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/7-27, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 120, scale, crown view. Figure 5 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-40, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 120, scale, anterior crown view. Figure 6 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-15, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 70, scale fragment, crown view. Figure 7 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/5-7, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 100, scale, crown view. Figure 8 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-4, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, anterior crown view. Figure 9 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-25, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 10 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-47, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 350, scale, crown view. Figure 11 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/7-28, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 350, scale fragment, crown view. Figure 12 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-48, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 300, scale, oblique crown view. Figure 13 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/7-52, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 80, scale, oblique crown view. Figure 14 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-63, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 130, scale, oblique crown view. Figure 15 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/7-72, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, scale, anterior crown view. Figure 16 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/7-79, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 250, scale, crown view. Figure 17 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-86, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 350, scale, crown view. Figure 18 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/7-88, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 70, scale fragment, crown view. Figure 19 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/9-6, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 60, scale, crown view. Figure 20 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-10, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 180, scale, crown view. Figure 21 – *Nostolepis* cf. *striata* Pander. Specimen № 122/9-35, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale, crown view. Figure 22 – *Nostolepis striata* Pander. Specimen № 122/9-20, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 23 – cf. *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-23, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 24 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-26, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 50, scale, crown view. Figure 25 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-62, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 120, scale, anterior crown view. Figure 26 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-83, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 110, scale, crown view. Figure 27 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-75, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale fragment, crown view. Figure 28 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-64, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale, crown view. Figure 29 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-99, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 140, scale fragment, oblique crown view. Figure 30 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/21-2, Rataichitsy 12 k borehole, depth 401.3 m, x 300, scale fragment, crown view. Figure 31 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/23-3, Rataichitsy 12 k borehole, depth 403.05 m, x 120, scale fragment, anterior crown view.

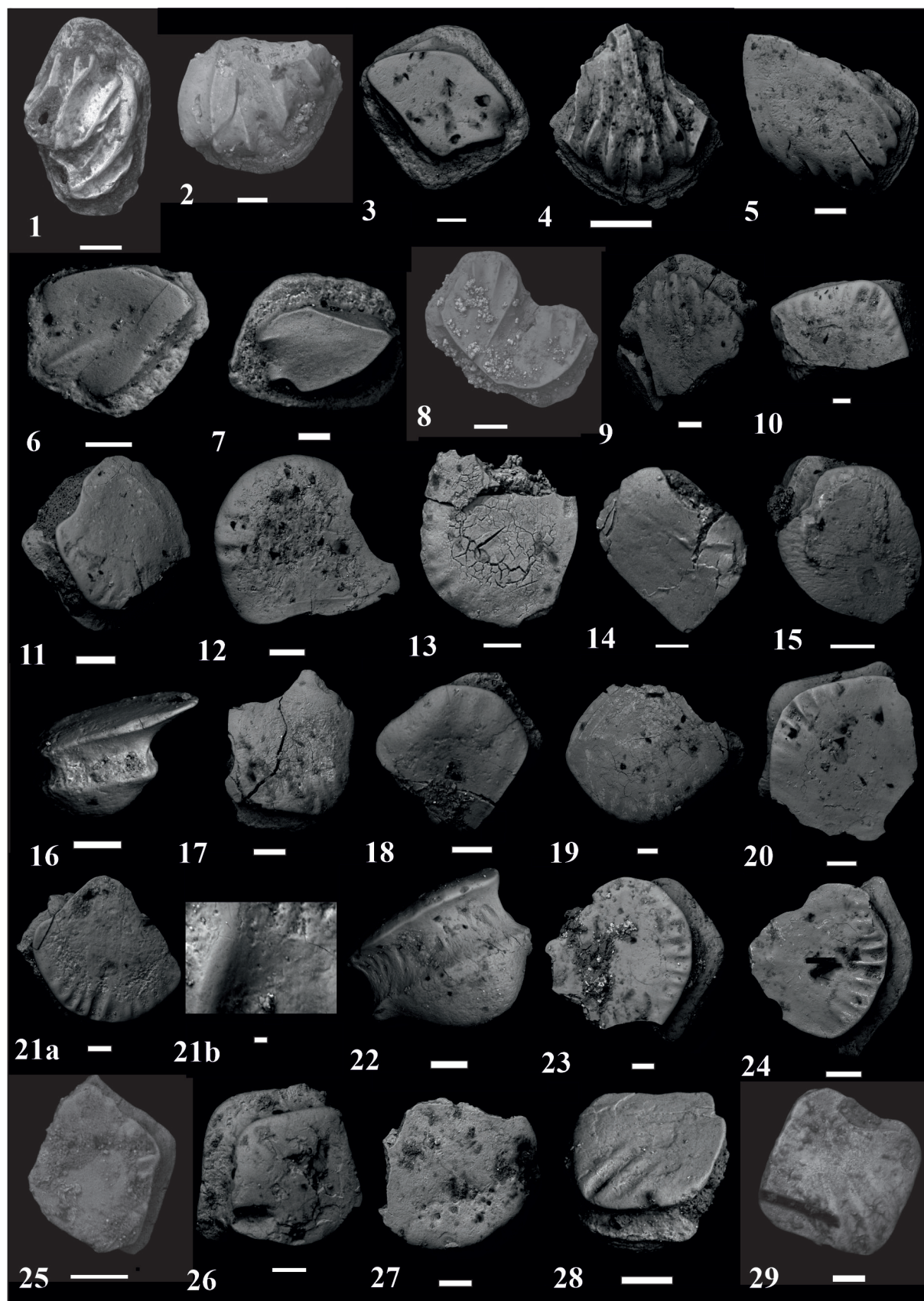


Plate VI – Acanthodian scales from the Rataichitsy 12 k borehole. The scales come from the Kameniuki Formation, Borshchovo Regional Stage, Lochkovian, Lower Devonian. Scale bar 10 μm for Figure 21b; 50 μm for Figures 7, 14 and 29; 100 μm for Figures 1, 2, 3, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21a, 23, 24, 25, 26, 27 and 28; 200 μm for Figures 5, 11 and 22; 500 μm for Figure 4.

Figure 1 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-104, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 2 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-89, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale fragment, anterior crown view. Figure 3 – *Nostolepis* sp. or *Nostovicina* sp. Specimen № 122/5-8, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 130, scale, crown view. Figure 4 – *Nostovicina multicostata* (Vieth). Specimen № 122/9-11, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 50, scale, anterior crown view. Figure 5 – *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-13, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 75, scale, crown view. Figure 6 – *Canadalepis linguiformis* Vieth. Specimen № 122/7-50, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 190, scale, crown view. Figure 7 – *Canadalepis linguiformis* Vieth. Specimen № 122/7-64, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 300, double scale, crown view. Figure 8 – *Canadalepis linguiformis* Vieth. Specimen № 122/9-79, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 140, scale, crown view. Figure 9 – *Nostolepis magnicostata* Valiukevičius. Specimen № 122/21-3, Rataichitsy 12 k borehole, depth 401.3 m, x 120, scale, crown view. Figure 10 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/6-7, Rataichitsy 12 k borehole, depth 371.9 m, x 100, scale fragment, crown view. Figure 11 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/5-9, Rataichitsy 12 k borehole, depth 369.0 m, x 85, scale, oblique crown view. Figure 12 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-5, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 13 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-8, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 14 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-30, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 300, scale, oblique crown view. Figure 15 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-32, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, scale, oblique crown view. Figure 16 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-62, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, scale, lateral view. Figure 17 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-70, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale fragment, oblique crown view. Figure 18 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-93, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, scale, crown view. Figure 19 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/9-2, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 20 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/9-8, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 130, scale, crown view. Figure 21 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-95, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, scale: a – crown view, x 100; b – scaled-up part of the crown surface, x 1000. Figure 22 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/9-31, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 80, scale, lateral view. Figure 23 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/9-36, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, oblique crown view. Figure 24 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/9-52, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, oblique crown view. Figure 25 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/9-86, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 250, scale, oblique crown view. Figure 26 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-33, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale, oblique crown view. Figure 27 – *Gomphonchus sandelensis* (Pander). Specimen № 122/21-1, Rataichitsy 12 k borehole, depth 401.3 m, x 150, scale, oblique crown view. Figure 28 – *Gomphonchus* cf. *sandelensis* (Pander). Specimen № 122/7-53, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, scale, oblique crown view. Figure 29 – *Gomphonchus* cf. *sandelensis* (Pander). Specimen № 122/9-91, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 300, scale, crown view.

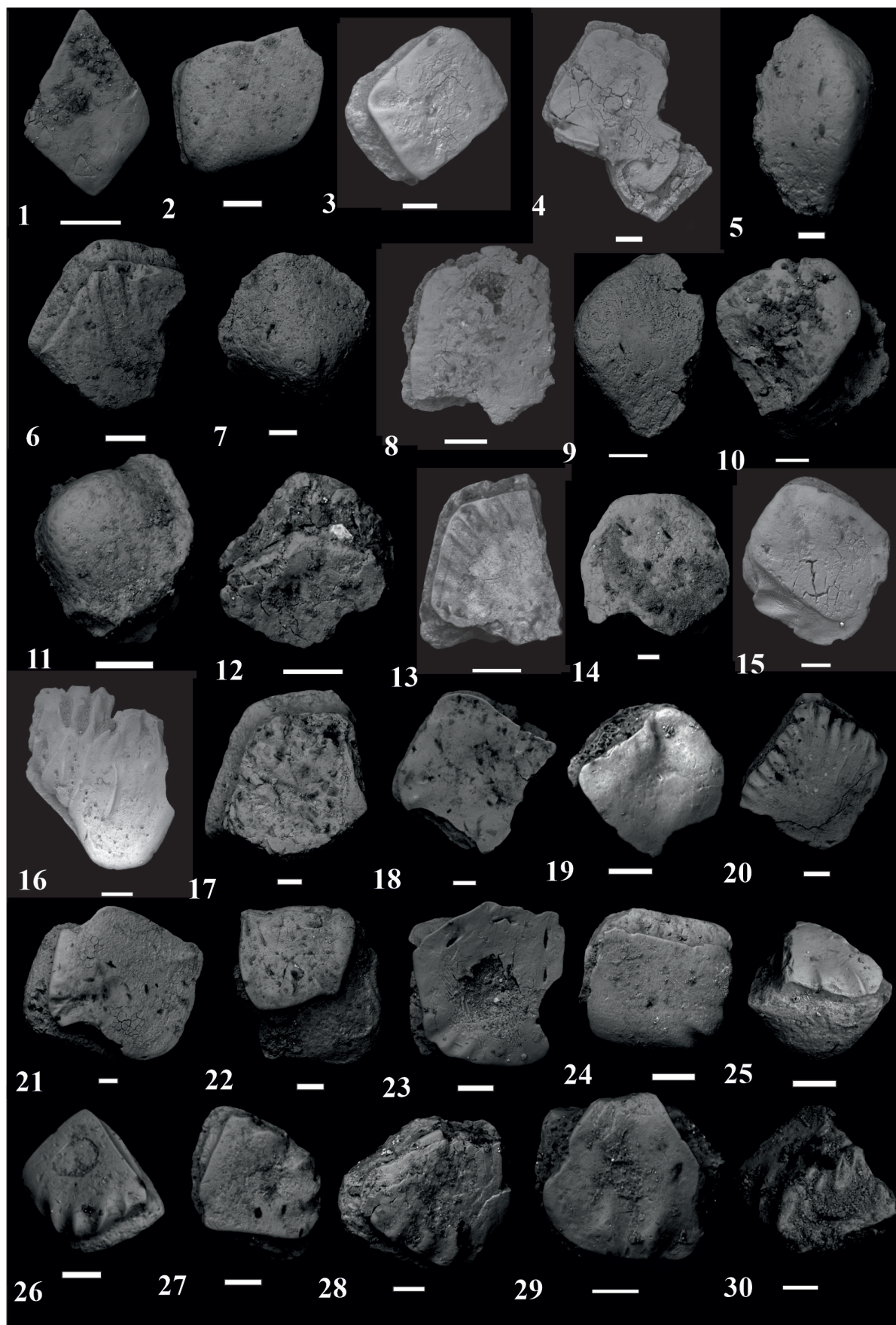


Plate VII – Acanthodian scales from the Rataichitsy 12 k borehole. The scales come from the Kameniki Formation, Borshchovo Regional Stage, Lochkovian, Lower Devonian. Scale bar 50 μ m for Figures 19, 28, 29 and 30; 100 μ m for Figures 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 and 27; 200 μ m for Figures 6, 8 and 16.

Figure 1 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/7-85, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 250, scale, crown view.
 Figure 2 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/6-6, Rataichitsy 12 k borehole, depth 371.9 m, x 170, scale, crown view.
 Figure 3 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/7-97, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale, crown view.
 Figure 4 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/25-10, Rataichitsy 12k borehole, depth 404.0 m, x 100, double scale, crown view.
 Figure 5 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/7-89, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, basal view.
 Figure 6 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/21-5, Rataichitsy 12 k borehole, depth 401.3 m, x 90, scale, oblique crown view.
 Figure 7 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/25-9, Rataichitsy 12 k borehole, depth 404.0 m, x 130, scale, basal view.
 Figure 8 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/25-11, Rataichitsy 12k borehole, depth 404.0 m, x 85, scale, crown view.
 Figure 9 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/25-5, Rataichitsy 12 k borehole, depth 404.0 m, x 170, scale, basal view.
 Figure 10 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/25-2, Rataichitsy 12 k borehole, depth 404.0 m, x 140, scale, oblique crown view.
 Figure 11 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/21-9, Rataichitsy 12 k borehole, depth 401.3 m, x 250, scale, basal view.
 Figure 12 – *Ischnacanthiformes* gen. et sp. indet. Specimen № 122/21-10, Rataichitsy 12 k borehole, depth 401.3 m, x 250, scale, oblique crown view.
 Figure 13 – *Gomphonchus* ? sp. Specimen № 122/9-63, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale, crown view.
 Figure 14 – *Ischnacanthiformes* gen. et sp. indet. Specimen № 122/23-6, Rataichitsy 12 k borehole, depth 403.05 m, x 100, scale, crown view.
 Figure 15 – *Ischnacanthiformes* gen. et sp. indet. Specimen № 122/25-12, Rataichitsy 12 k borehole, depth 404.0 m, x 130, scale, crown view.
 Figure 16 – *Ischnacanthiformes* gen. et sp. indet. Specimen № 122/9-73, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 60, scale, crown view.
 Figure 17 – *Ischnacanthiformes* gen. et sp. indet. Specimen № 122/23-7, Rataichitsy 12 k borehole, depth 403.05 m, x 100, scale, crown view.
 Figure 18 – *Gomphonchoporus* sp. or *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/9-3, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view.
 Figure 19 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/7-18, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 450, scale, crown view.
 Figure 20 – *Cheiracanthoides* ? sp. Specimen № 122/5-1, Rataichitsy 12k borehole, depth 369.0 m, x 130, scale, crown view; Borshchovo Regional Stage, Kameniki Formation.
 Figure 21 – *Gomphonchoporus hoppei* (Gross). Specimen № 122/7-34, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, oblique crown view.
 Figure 22 – *Gomphonchoporus hoppei* (Gross). Specimen № 122/7-69, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 120, scale, oblique crown view.
 Figure 23 – *Gomphonchoporus hoppei* (Gross). Specimen № 122/25-4, Rataichitsy 12 k borehole, depth 404.0 m, x 150, scale, crown view.
 Figure 24 – *Gomphonchoporus hoppei* ? (Gross). Specimen № 122/6-2, Rataichitsy 12 k borehole, depth 371.9 m, x 200, scale, oblique crown view.
 Figure 25 – *Gomphonchoporus hoppei* (Gross). Specimen № 122/7-82, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, scale, anterior crown view.
 Figure 26 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/7-73, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 200, scale, anterior crown view.
 Figure 27 – *Gomphonchoporus hoppei* (Gross). Specimen № 122/7-77, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 150, scale, crown view.
 Figure 28 – *Gomphonchoporus hoppei* (Gross). Specimen № 122/7-6, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 300, scale, crown view.
 Figure 29 – *Gomphonchoporus hoppei* ? (Gross). Specimen № 122/7-91, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 400, scale, crown view.
 Figure 30 – *Gomphonchoporus* sp. Specimen № 122/21-8, Rataichitsy 12 k borehole, depth 401.3 m, x 300, scale, anterior crown view.

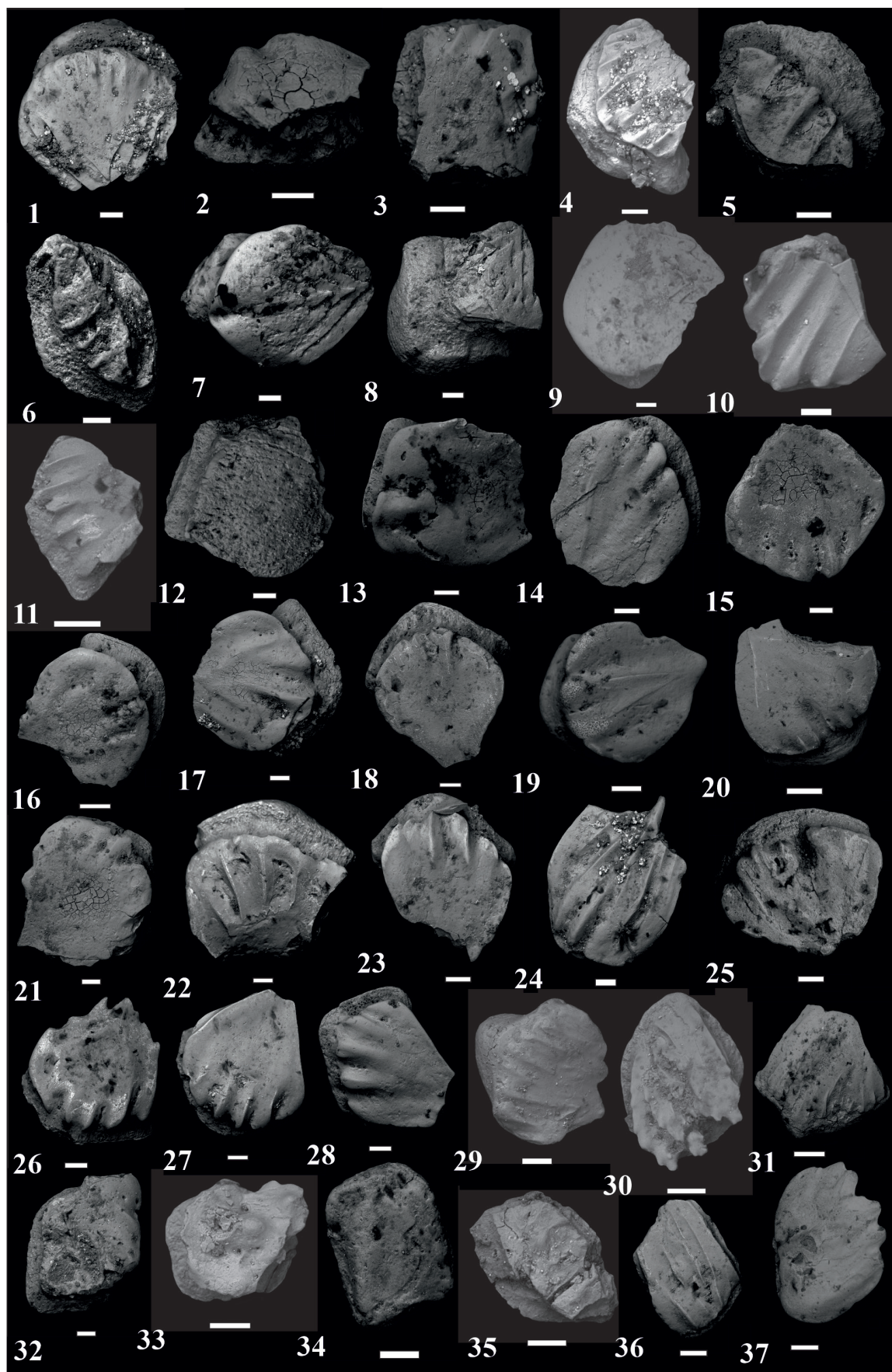


Plate VIII – Fish scales from the Rataichitsy 12 k borehole. The scales come from the Kameniuki Formation, Borshchovo Regional Stage, Lochkovian, Lower Devonian. Scale bar 50 μ m for Figure 10; 100 μ m for Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36 and 37; 200 μ m for Figures 16, 20 and 31.

Figure 1 – *Gomphonchoporus hoppei* (Gross). Specimen № 122/9-56, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 2 – *Gomphonchus* sp. Specimen № 122/23-5, Rataichitsy 12 k borehole, depth 403.05 m, x 200, scale fragment, posterior crown view. Figure 3 – *Ischnacanthiformes* gen. et sp. indet. Specimen № 122/25-8, Rataichitsy 12 k borehole, depth 404.0 m, x 150, scale, crown view. Figure 4 – *Ischnacanthiformes* ? gen. et sp. indet. Specimen № 122/9-74, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 5 – *Acanthodii* gen. et sp. indet. Specimen № 122/21-4, Rataichitsy 12 k borehole, depth 401.3 m, x 150, scale fragment, crown view. Figure 6 – *Acanthodii* gen. et sp. indet. Specimen № 122/7-12, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 120, scale fragment, crown view. Figure 7 – *Poracanthodes menneri* (Valiukevičius). Specimen № 122/7-2, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 8 – *Poracanthodes menneri* (Valiukevičius). Specimen № 122/7-39, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, anterior crown view. Figure 9 – *Poracanthodes menneri* (Valiukevičius). Specimen № 122/9-66, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 10 – *Euthacanthus* sp. Specimen № 122/9-60, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 300, scale fragment, crown view. Figure 11 – *Cheiracanthoides* cf. *nativus* Valiukevičius. Specimen № 122/9-93, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale fragment, crown view. Figure 12 – *Poracanthodes* sp. Specimen № 122/7-94, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 13 – *Endemolepis inconstans* Valiukevičius. Specimen № 122/9-14, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 120, scale, crown view. Figure 14 – *Endemolepis inconstans* Valiukevičius. Specimen № 122/7-51, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 100, scale, oblique crown view. Figure 15 – *Acanthodii* gen. et sp. indet. Specimen № 122/9-17, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 16 – *Endemolepis inconstans* Valiukevičius. Specimen № 122/9-25, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 80, scale, crown view. Figure 17 – *Endemolepis inconstans* Valiukevičius. Specimen № 122/9-39, Rataichitsy 12k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, oblique crown view. Figure 18 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/9-40, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 19 – *Endemolepis inconstans* Valiukevičius. Specimen № 122/9-51, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 20 – *Endemolepis inconstans* ? Valiukevičius. Specimen № 122/9-7, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 85, scale, anterior crown view. Figure 21 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/9-44, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 22 – *Endemolepis inconstans* ? Valiukevičius. Specimen № 122/9-29, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 23 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/9-34, Rataichitsy 12k borehole, depth 379.5 m, x 120, scale, crown view. Figure 24 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/9-58, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 25 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/9-1, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, crown view. Figure 26 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/9-57, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, anterior crown view. Figure 27 – cf. *Nostolepis* sp. Specimen № 122/9-16, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale, anterior crown view. Figure 28 – *Nostolepis* ? sp. Specimen № 122/7-65, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 120, scale, crown view. Figure 29 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/9-98, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, oblique crown view. Figure 30 – *Jolepis robusta* ? (Brotzen). Specimen № 122/9-68, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 180, scale, crown view. Figure 31 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/25-3, Rataichitsy 12 k borehole, depth 404.0 m, x 80, scale, anterior crown view. Figure 32 – *Acanthodii* gen. et sp. indet. Specimen № 122/9-27, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 100, scale fragment, crown view. Figure 33 – *Acanthodii* gen. et sp. indet. Specimen № 122/9-95, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 200, scale, crown view. Figure 34 – *Acanthodii* gen. et sp. indet. Specimen № 122/7-96, Rataichitsy 12 k borehole, depth 374.5 m, x 160, scale, crown view. Figure 35 – *Acanthodii* gen. et sp. indet. Specimen № 122/18-1, Rataichitsy 12 k borehole, depth 395.0 m, x 200, scale fragment, crown view. Figure 36 – *Acanthodian* indeterminate scale. Specimen № 122/9-45, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 150, scale, crown view. Figure 37 – *Chondrichthyes* gen. et sp. indet. Specimen № 122/9-54, Rataichitsy 12 k borehole, depth 379.5 m, x 120, scale, crown view.

groups of vertebrates, the acanthodians and chondrichthyans are the nekton representatives, the heterostracans, thelodonts and placoderms form the nekto-benthos, and the osteostracans are benthos animals. The heterostracans are found in most rocks as few small fragmentary plates, discrete ridges and tesseræ of *Traquairaspis* sp., tesseræ of *Tesseraspis* sp., scales of *Anglaspis* sp., tesseriform elements, separate dentine ridges and scales of *Corvaspis* sp. The remains of *Corvaspis* sp. are the most abundant of the heterostracan taxa. The osteostracans are represented in these deposits by very few small indefinable scales of *Osteostraci* indet. The thelodonts are found mainly in dolomite limestones, dolomite marls and carbonate clays in the form of isolated scales of *Turinia* sp., *T. pagei* (Powrie), *T. polita* Karatajūtė-Talimaa, *Boreania minima* Karatajūtė-Talimaa, *Nikolivia gutta* Karatajūtė-Talimaa, *Talivalia elongata* (Karatajūtė-Talimaa), *Canonis* sp. and *Thelodonti* ? indet. The scales of *Turinia pagei* (Powrie) and *Boreania minima* Karatajūtė-Talimaa are quite abundant among them. The placoderms are represented in the deposits under consideration by two small fragments of the exoskeleton of *Placodermi* indet. The chondrichthyans are represented by few scales of *Chondrichthyes* indet. The acanthodians form the most abundant and dominant group of fishes in this vertebrate assemblage. They are found in all the above rock types and are represented by some isolated scales of *Nostolepis* sp., *N. striata* Pander, *N. cf. striata* Pander, *N. striata* ? Pander, *N. gracilis* Gross, *N. arctica* Vieth, *N. minima* Valiukevičius, *N. magnicostata* Valiukevičius, *N. magnicostata* ? Valiukevičius, *N. ?* sp., cf. *Nostolepis* sp., *Nostolepis* sp. or *Nostovicina* sp., *Nostovicina* sp., *N. elegans* (Brotzen), *N. cf. elegans* (Brotzen), *N. multicostata* (Vieth), *N. cf. guangxiensis* (Wang), *Canadalepis linguiformis* Vieth, *Cheiracanthoides* sp., *C. planus* Valiukevičius, *C. cf. nativus* Valiukevičius, *C. ?* sp., *Endemolepis inconstans* Valiukevičius, *E. inconstans* ? Valiukevičius, *Gomphonchus* sp., *G. sandelensis* (Pander), *G. cf. sandelensis* (Pander), *G. ?* sp., *Gomphonchoporus hoppei* (Gross), *G. hoppei* ? (Gross), *G. sp.*, *Gomphonchoporus* sp. or *Gomphonchus* sp., *Euthacanthus* sp., *Poracanthodes* sp., *P. menneri* (Valiukevičius), *Jolepis robusta* ? (Brotzen), *Ischnacanthiformes* gen. et sp. indet., *Ischnacanthiformes* ? gen. et sp. indet., *Acanthodii* gen. et sp. indet., *Acanthodii* ? indet., as well as nostolepid scales, nostolepid ? scales, probably nostolepid 'special' scale, acanthodian head scales, acanthodian scales, acanthodian indeterminate scales, some small fin spine fragments of *Acanthodii* gen. indet., tesseræ of Acanthodians, Nostolepid stellate tesseræ and *Climatiidae* gen. indet. Among the above-mentioned acanthodian taxa, the dominant ones are *Nostolepis* sp., *N. striata* Pander, *Nostovicina elegans* (Brotzen), *Gomphonchus* sp., *G. sandelensis* (Pander), *Gomphonchoporus hoppei* (Gross) and *Ischnacanthiformes* gen. et sp. indet. *Nostolepis arctica* Vieth, *N. magnicostata* Valiuk., cf. *Nostolepis* sp., *Nostovicina multicostata* (Vieth), *N. cf. guangxiensis* (Wang), *Cheiracanthoides planus* Valiukevičius, *C. cf. nativus* Valiukevičius, *Jolepis robusta* ? (Brotzen), *Euthacanthus* sp., *Poracanthodes* sp., *Gomphonchoporus* sp. or *Gomphonchus* sp., acanthodian head scales, probably nostolepid 'special' scale, tesseræ of *Climatiidae* gen. indet., fin spine fragments of *Acanthodii* gen. indet., are very rarely found. A stratigraphically important species is *Nostolepis minima* Valiukevičius. In addition to the ichthyofauna, the deposits of this part of the section contain calcareous algae, single scolecodonts, rare ostracod valves, some few small fragmentary lingulid shells, single small fragments of shells of articulate brachiopods, very few tentaculite shells, single bryozoans, relatively numerous scattered crinoid segments and some few conodonts.

Correlation of the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of the Rataichitsy 12 k borehole.

The deposits of the Kameniuki Formation in the Rataichitsy 12 k borehole correspond to the Borshchovo Regional Stage of the Lochkovian Stage of the Lower Devonian and correspond to the *Nikolivia gutta* thelodont zone [10] and the lower part of the *Nostolepis minima* acanthodian zone [7, 11]. In their ichthyofauna they are correlated with the sediments of the Domachevo Formation of the Borshchovo Regional Stage developed in the territory of the Belarusian part of the Volyn Monocline [12], with deposits of approximately the lower and middle part of the Tilžė Formation (Regional Stage) of the Baltic States [13–15], with rocks of the Borshchovo Formation (Regional Stage) of Volyn-Podolia region [11, 12, 16], with the lower part of the Frenkelriggen Formation of the Red Bay Series of West Spitsbergen [6, 17], with the sediments of the Severnaya Zemlya Formation and the lower half of the Pod'emnaya Formation of the Severnaya Zemlya Archipelago [18–20], approximately with the lower part of the Ovinparma deposits of the Timan-Pechora province [11, 21, 22] and the Belyi Kamen' Beds of the Central Taimyr [11, 23].

Brief taphonomic description of the Lochkovian ichthyofauna remains from the Podlasie-Brest Depression. The vertebrate remains found in the deposits of the Kameniuki Formation of the Rataichitsy 12 k borehole were found at 15 levels in various types of rocks – in siltstones, clays, marls, dolomite marls, dolomites and dolomite limestones. They are represented in these rocks by scattered scales, tesserae, dentine ridges, small plate fragments of the heterostracans, not numerous discrete scales of the osteostracans, separate scales of the thelodonts, some small fragments of the exoskeleton of the placoderms, some isolated scales, tesserae and fragments of the fin spines of the acanthodians, as well as some single scales of the chondrichthyans. The most abundant and diverse ichthyofauna taxa were revealed at depths: 369.0 m, 371.9 m, 374.5 m, 379.5 m, 401.3 m, 403.05 m and 404.0 m in marls, dolomites and dolomite limestones. In general, the vertebrate remains found in the deposits of the Kameniuki Formation are fairly well preserved. They occur mainly subhorizontally, somewhat randomly, do not form large group clusters, and have no very obvious signs of roundness. They are all scattered and do not form articulated skeletons. The sizes of various skeletal elements of the agnathans and fishes range from some fractions of a millimeter to one centimeter. The remains show a variety of colours: light grey, light cream, yellow-orange, light brown, dark brown and black. The internal and external structure details of the overwhelming majority of the skeletal elements are well preserved. Some skeletal remains are slightly fractured and broken. Their fossilization degree is different. All of them are secondary mineralized. An analysis of the taxonomic composition of the vertebrates found in this part of the section indicates the predominance of acanthodian scales, to a lesser extent, thelodont scales, as well as the scales, separate ridges, small fragments of the plates and tesserae of the heterostracans; skeletal remains of the osteostracans, placoderms and cartilaginous fishes are found rarely. The tesserae and small fragments of the fin spines of the acanthodians are also quite few. Most of the found vertebrate remains belonged, most likely, to the euryfacial species. The invertebrates in this part of the section include single scolecodonts, rare ostracods, not very numerous brachiopod shells, very few tentaculites, some isolated bryozoans, relatively numerous crinoid segments, as well as some miospores and calcareous algae as flora representatives. Some few conodonts were also found in this part of the section. The invertebrates are generally rather well preserved, while the conodonts and plants are relatively well preserved. It can be assumed that the above-mentioned organic remains did not apparently experience very long transportation in the process of their burial, however, their disintegration and fragmentation may suggest their transportation over short distances under the influence of the hydrodynamic processes in the water basin. From the above information it can be concluded that the habitat of the discovered animals and plants could be a coastal shallow sea basin where mainly carbonate sedimentation took place.

Conclusions. 1. The paper provides new data of the ichthyofauna of Lochkovian age established in the deposits of the Kameniuki Formation of the Rataichitsy 12 k borehole, as well as some additional information about all the reliably known findings of the Lochkovian fish fauna identified in the twentieth century in the territory of the Podlasie-Brest Depression within Belarus.

2. The lithological description of the deposits of the Kameniuki Formation identified in the Rataichitsy 12 k borehole, as well as of their underlying and overlying sediments is given.

3. The deposits under consideration are correlated in the ichthyofauna with the well-studied synchronous sediments found in the territories of the Baltic States, Ukraine, Russia and Spitsbergen.

4. The data of the Lochkovian ichthyofauna obtained from the Rataichitsy 12 k borehole significantly improved its systematic composition in the territory of Belarus, supplemented the information of its geographical distribution, and also were used to discuss the taphonomic characteristics of its remains.

5. A number of skeletal elements of the Lochkovian agnathans and fishes are presented in the paper as attached Plates.

Acknowledgements. The author of the paper is deeply grateful to Dr. C. Burrow (University of Queensland, Queensland, Australia), Dr. T. Märss (Institute of Geology at Tallinn Technical University, Estonia) for discussions of some definitions of the ichthyofauna taxa, as well as sincerely grateful to V. G. Lugin (Belarusian State Technological University, Center for Physical and Chemical Researches) for help with electron microscope photography, D. A. Stepanenko for photographing some mesomeric remains of the vertebrates, and V. G. Filippova for her assistance in editing the manuscript in English.

References

1. Kruchek S. A., Makhnach A. S., Golubtsov V. K., Obukhovskaya T. G. The Devonian system. Geology of Belarus; National Acad. Sci. of Belarus, Institute of Geological Sciences; Ed. by A. S. Makhnach. Minsk, 2001, pp. 186–236 (in Russian).
2. Obukhovskaya T. G., Kruchek S. A., Pushkin V. I., Nekryata N. S., Plax D. P., Sachenko T. Ph., Obukhovskaya V. Yu., Antipenko S. V. The Devonian system / Stratigraphic Chart of the Precambrian and Phanerozoic deposits of Belarus: Explanatory Note. Minsk: State Enterprise "BelNIGRI", 2010, pp. 98–114 (with Stratigraphic Chart of the Devonian deposits of Belarus in 2 sheets) (in Russian).
3. Pushkin V. I., Kruchek S. A. Position of the Silurian-Devonian boundary and the stratigraphy of the Lower Devonian of Byelorussia. *Dokl. Acad. Nauk Belarusi*, 1978, vol. XXII, no. 11, pp. 1013–1016 (in Russian).
4. Sinichka A. M., Zinovenko G. V. On the age analogues of the Tiverian Stage in the Brest Depression. *Doklady Akademii Nauk BSSR*, 1972, vol. XVI, no. 2, pp. 151–153 (in Russian).
5. Karatajūtė-Talimaa V. N. The Silurian and Devonian thelodonts from the USSR and Spitsbergen. Dissertation Thesis for Dr. Deg. in geol. and miner.: 04.00.09; Moscow State University. Moscow, 1976. 44 p. (in Russian).
6. Karatajūtė-Talimaa V. N. The Silurian and Devonian thelodonts from the USSR and Spitsbergen. Vilnius: Moksias, 1978. 336 p. (in Russian).
7. Valiukevičius J. Acanthodians and zonal stratigraphy of Lower and Middle Devonian in East Baltic and Byelorussia. *Palaeontographica*. Stuttgart, 1998, Abt. A, ss. 1–53.
8. Märss T., Wilson M. V. H., Thorsteinsson R. New thelodont (Agnatha) and possible chondrichthyan (Gnathostomata) taxa established in the Silurian and Lower Devonian of the Canadian Arctic Archipelago. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. *Geology*, 2002, vol. 51, no. 2, pp. 88–120.
9. Burrow C. R., Turner S. Stem chondrichthyan microfossils from the Lower Old Red Sandstone of the Welsh Borderland. *Acta Geologica Polonica*, 2018, vol. 68, no. 3, pp. 321–334.
10. Plax D. P. Ichthyofauna from the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of the southwestern part of Belarus. *Lithosphere*, 2015, no. 2 (43), pp. 19–36.
11. Valiukevičius J., Kruchek S. Acanthodian biostratigraphy and interregional correlations of the Devonian of the Baltic States, Belarus, Ukraine and Russia. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* (Final Report of IGCP 328 project). 2000, vol. 223, pp. 271–289.
12. Plax D. P. Devonian ichthyofauna of the Volyn Monocline. *Lithosphere*, 2011, no. 2 (35), pp. 12–21.
13. Sorokin V. S., Lyarskaya L. A., Savvaitova A. S. et al. The Devonian and Carboniferous of the Baltic States. Riga, 1981. 502 p. (in Russian).
14. Valiukevičius J., Golubtsov V. K. The Devonian system. Geological map of the USSR. Scale of 1:1,000,000 (new series). Explanatory Note. Sheet N-(34), (35). Vilnius–Leningrad, 1986, pp. 53–68 (in Russian).
15. Talimaa V. N. Significance of thelodonts (Agnatha) in correlation of the Upper Ordovician to Lower Devonian of the northern part of Eurasia. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* (Final Report of IGCP 328 project). 2000, vol. 223, pp. 69–80.
16. Voichyshyn V. The Early Devonian armoured agnathans of Podolia, Ukraine. *Palaeontologia Polonica*, 2011, vol. 66, 211 p.
17. Ørvig T. The vertebrate fauna of the primaeval beds of the Fraenkelryggen Formation of West Spitsbergen and its biostratigraphic significance. *Lethaia*, 1969, vol. 2, no. 3, pp. 219–239.
18. Karatajūtė-Talimaa V. N., Märss T. Thelodonts. Biostratigraphical analysis. In: Matukhin R. and Menner V. (eds). The Silurian and Devonian stratigraphy of the Severnaya Zemlya Archipelago. Novosibirsk, 1999, pp. 121–127 (in Russian).
19. Valiukevičius J. Devonian acanthodians from Severnaya Zemlya Archipelago (Russia). *Geodiversitas*, 2003, vol. 25, no. 1, pp. 131–204.
20. Yuryeva Z. P. The Lower Devonian deposits of the North-Eastern European part of the Russia (stratigraphy, correlation). Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2020. 164 p.
21. Valiukevičius J. New Silurian to Middle Devonian acanthodians of the Timan-Pechora region. *Acta Geologica Polonica*, 2003, vol. 53, no. 3, pp. 209–245.
22. Yuryeva Z. P., Valiukevičius J. The Lower Devonian carbonate clinoform of the Khoreyver Depression in the Timan-Northern Urals (stratigraphy, correlation). *Lithosphere*, 2014, no. 2, pp. 26–38 (in Russian).
23. Valiukevičius J. Acanthodians and their stratigraphic significance. In: Cherkesova S., Karatajūtė-Talimaa V. & Matukhin R. (eds.) Stratigraphy and Fauna of the Lower Devonian Tareya Key Section (Taimyr). St. Petersburg: Nedra, 1994, pp. 131–197 and 236–243 (in Russian).

Received 15.02.2022

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES
БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 502.72 (476.7)

А. И. Чайковский, А. В. Козулин, М. В. Максименков*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: chai-kovski@tut.by*

**ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И УСТОЙЧИВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
 БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ЗАКАЗНИКА «СПОРОВСКИЙ»**

Аннотация. В рамках обновления плана управления заказником «Споровский» проведены полевые исследования, направленные на изучение состояния ключевых видов животных и растений природоохранной территории, выделены редкие и типичные биотопы, подлежащие охране в Республике Беларусь, оценены современное состояние экологических систем и сукцессионные процессы, происходящие в них. Установлено, что вследствие прекращения традиционного использования поймы р. Ясельды (сенокосения и выпаса скота), нарушений гидрологического режима реки, а также климатических изменений происходит быстрая деградация открытых низинных болот, снижение численности и распространения видов животных и растений, связанных с ними. С целью минимизации этих негативных процессов в рамках разработки плана управления заказником разработаны мероприятия, направленные на восстановление, сохранение и устойчивое использование биологического разнообразия луговых и болотных экосистем.

Ключевые слова: заказник «Споровский», биологическое разнообразие, болотные и луговые экосистемы

A. I. Tchaikovsky, A. V. Kozulin, M. V. Maksimenkov*Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: chai-kovski@tut.by*

**PROBLEMS OF PROTECTION AND SUSTAINABLE USE OF THE BIOLOGICAL DIVERSITY
 OF THE REPUBLICAN RESERVE "SPOROVSKY"**

Abstract. As part of the update of the management plan of the "Sporovsky" Nature Reserve, field studies were conducted aimed at studying the state of key animal and plant species of the protected area. Rare and typical biotopes to be protected in the Republic of Belarus were identified, the current state of ecological systems and successional processes occurring in them were evaluated. It was found that following the termination of the traditional use of the Yaselda river floodplain (cessation of haymaking and grazing), lowering of the groundwater level, as well as climatic changes, there is a rapid degradation of open lowland marshes, a decrease in the number and spread of animal and plant species associated with them. In order to minimize these negative processes, measures aimed at the restoration, preservation and sustainable use of biological diversity of meadow and marsh ecosystems have been elaborated as part of the development of a management plan for the reserve.

Keywords: Sporovsky nature reserve, biodiversity, marsh and meadow ecosystems

A. I. Чайкоўскі, А. В. Казулін, М. В. Максіменкаў*Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,
e-mail: chai-kovski@tut.by*

**ПРАБЛЕМЫ АХОВЫ БІАРАЗНАСТАЙНАСЦІ І ЎСТОЙЛІВАГА ВЫКАРЫСТАННЯ БІЯЛАГІЧНЫХ РЭСУРСАЎ
 РЭСПУБЛІКАНСКАГА ЗАКАЗНІКА «СПОРАЎСКІ»**

Анатацыя. У рамках абнаўлення плана кіравання заказнікам «Спораўскі» праведзены палявыя даследаванні, накіраваныя на вывучэнне стану ключавых відаў жывёл і раслін прыродаахоўнай тэрыторыі, выдзелены рэдкія і тыповыя біятопы, якія падлягаюць ахове ў Рэспубліцы Беларусь, ацэнены сучасны стан экалагічных сістэм і сукцэсійныя працэсы, якія адбываюцца ў іх. Устаноўлена, што з прычыны спынення традыцыйнага выкарыстання поймы р. Ясельды (спынення сенакашэння і выпасу жывёлы), зніжэння ўзроўню грунтовых вод, а таксама кліматычных змяненняў адбываецца хуткая дэградацыя адкрытых нізінных балот, зніжэнне колькасці і распаўсюджвання відаў жывёл і раслін, звязаных з імі. З мэтай мінімізацыі гэтых негатыўных працэсаў у рамках распрацоўкі плана ўпраўлення заказнікам распрацаваны мерапрыемствы, накіраваныя на аднаўленне, захаванне і ўстойлівае выкарыстанне біялагічнай разнастайнасці луговых і балотных экасістэм.

Ключавыя словы: заказнік «Спораўскі», біялагічная разнастайнасць, балотныя і луговыя экасістэмы

Введение. Республиканский заказник «Споровский» площадью 11288 га был образован согласно постановлению Совета Министров БССР от 15.08.91 № 315 в целях сохранения уникального комплекса естественных болотно-луговых экосистем, расположенных в долине р. Ясельды. В 1999 г. было принято решение о расширении границ заказника с 11288 до 19384 га за счет присоединения участка, расположенного севернее оз. Споровское. Учитывая исключительную природную ценность биологического разнообразия, заказник «Споровский» является водно-болотным угодьем международного значения (площадь 20169 га, код ВУ022, критерии А1, В2, В3) и объектом Изумрудной сети (2009 г., код ВУ0000003). В соответствии с Государственной схемой комплексной территориальной организации Республики Беларусь, данный заказник классифицируется как важная особо охраняемая природная территория страны, которая входит в состав экологической сети, являясь частью ядра международного значения.

Учитывая важность данной природоохранной территории для сохранения биоразнообразия, а также в соответствии с пунктом 4.2. статьи 32 Закона «Об особо охраняемых природных территориях» Научно-практическим центром НАН Беларуси по биоресурсам в 2021 г. была проведена актуализация плана управления заказником «Споровский» и разработаны мероприятия по охране и использованию ООПТ на 5-летний период.

Состояние биологического разнообразия заказника «Споровский». В ландшафтном плане территория заказника «Споровский» приурочена к долине р. Ясельды в ее среднем течении и представляет собой слабонарушенный участок плоской поймы с протоками, старицами и низинными болотами. Территорию ООПТ условно можно разделить на две части: первый участок представляет собой сравнительно узкую (шириной 2–3 км) сильно заболоченную пойму реки, протяженностью около 25 км, с осоковыми низинными болотами и тростниково-кустарниковыми ассоциациями вдоль русла; второй – сильно расширенную пойму реки в районе оз. Споровское, представленную низинными болотами с большим количеством минеральных островов.

Растительность заказника представлена в основном болотными (41,4 %) и лесными (28,3 %) сообществами, широкое распространение получили также мелколесья и кустарники (28,1 %). Луговая растительность занимает незначительные по площади участки (1,1 % территории ООПТ). Ядром природоохранной территории является протянувшееся вдоль всей поймы р. Ясельды низинное болото с доминированием осоковых, веяниково-осоковых и травяно-осоковых сообществ.

В пределах республиканского заказника «Споровский» выделены 2 типа биотопов, соответствующих критериям редких и типичных биотопов, подлежащих охране в Республике Беларусь в соответствии ТКП 17.12-06-2021 (33140): 2.3а – мезотрофные и эвтрофные озера с преобладанием сообществ погруженных гидрофитов (1103,9 га или 5,7 % территории ООПТ); 5.9 – низинные осоковые болота (4246,3 га или 21,9 %). Общая площадь редких и типичных биотопов составляет 5350,2 га или 27,5 % площади заказника «Споровский».

В составе флоры природоохранной территории за весь период наблюдений выявлено 603 вида высших сосудистых растений, из них 25 видов включены в Красную книгу Республики Беларусь. Достаточно разнообразна и фауна заказника, представленная 32 видами млекопитающих, 143 видами гнездящихся птиц, 6 – рептилий и 13 – амфибий. Из них 64 вида животных включены в национальную Красную книгу (4 вида млекопитающих, 36 видов птиц, 1 – рептилий, 2 – земноводных, 1 – рыб, 20 – беспозвоночных).

В целом оценивая биологическое разнообразие заказника «Споровский», необходимо подчеркнуть, что важнейшей задачей данной природоохранной территории на международном и национальном уровне является сохранение одного из крупнейших в Европе комплекса открытых осоковых низинных болот мезотрофного типа, сохранившегося в состоянии, близком к естественному. Так, из 64 видов животных, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, 47 приурочены к болотным и болотно-луговым экосистемам и 7 видов – к водным. Все виды животных, включенные в Красный список МСОП, имеющие статус находящихся в уязвимом положении (Vu – большой подорлик, вертлявая камышевка, широчайший плавунец, подводень двуполосый, большой сплавный паук), а также виды, близкие к уязвимому положению (NT – выдра,

большой веретенник, большой кроншнеп, дупель, болотная черепаха, медицинская пиявка), связаны с водно-болотными угодьями и зависят от их состояния. Однако наибольшая значимость болота Споровское на международном уровне состоит в том, что оно является одним из крупнейших в мире местообитаний вертявой камышевки (504–592 поющих самцов по учетам 2017 г.) [1].

Негативные изменения и сукцессионные процессы в природных экосистемах заказника. Среди наиболее значимых угроз и факторов негативного воздействия на природные комплексы и объекты заказника «Споровский» в качестве основной следует выделить деградацию экосистем открытых осоковых болот, происходящую вследствие прекращения традиционного использования поймы Ясельды (сенокосения и выпаса скота), нарушений гидрологического режима реки и климатических изменений, проявляющихся в виде уменьшения среднегодового количества осадков, выпавших в регионе, и увеличения частоты и интенсивности летних засух.

Первопричиной прогрессирующего процесса зарастания открытых болот заказника кустарниками является нарушения гидрологического режима р. Ясельды. Естественный гидрологический режим реки, характерный для нее до мелиоративных работ, был следующий: высокий и продолжительный весенний паводок с затоплением поймы с марта по середину–конец мая; поддержание уровня воды на высоте поверхности болота в вегетационный период и снижение уровня воды до 10–30 см ниже уровня земли в летне-осеннюю межень. Однако в результате осушения поймы и спрямления русла р. Ясельды в верхнем течении и строительства водохранилища и рыбхоза Селец произошли коренные изменения гидрологического режима. Как следствие, весенний паводок в пойме Ясельды в пределах заказника почти полностью отсутствует и уровень воды в вегетационный период держится ниже уровня поверхности болота. Особенно сильно снижение уровня грунтовых вод прослеживается в последние годы: в 2018-м и 2020-м годах к концу сентября он снижался до –80...–100 см от уровня почвы, что создает условия для дальнейшего прогрессирующего зарастания кустарниками открытых осоковых болот.

Следствием вышеназванных негативных процессов, наблюдающихся в заказнике «Споровский», стало зарастание древесно-кустарниковой растительностью открытых низинных болот на площади 3,2 тыс. га (18,9 % от площади болот ООПТ). На площади 2,63 тыс. га (15,5 %) растительный покров осоковых болот относится к сильно нарушенным. Стабильные открытые болота (ненарушенные болота с зарастанием древесно-кустарниковой растительностью <10 %) сохранились на площади 4,3 тыс. га или 25,3 %. Эти смены растительности, происходящие в осоковых и травяно-осоковых болотных сообществах заказника, ведут к снижению распространения и численности значительного числа водно-болотных видов животных, вплоть до их полного исчезновения. Так, процессы дигрессивной динамики низинных болот, потенциально пригодных для обитания вертявой камышевки, наблюдаются в заказнике на площади 590,0 га (42,2 % от общей площади этих биотопов), а 29,8 % территории болот стали непригодными для ее гнездования. Особенно быстрыми темпами процесс зарастания осоковых болот кустарниками происходит на участках, расположенных у деревень Кокорица, Здитово (левобережье р. Дорогобуж), а также в границах участка болота, расположенного южнее оз. Споровское. Вследствие происходящих негативных процессов численность вертявой камышевки в заказнике «Споровский» снизилась в период с 2010 по 2017 г. более чем в 3 раза.

Учитывая темпы трансформации открытых низинных болот можно сделать вывод, что без принятия срочных мер по их сохранению, эти экосистемы в среднесрочной перспективе будут потеряны и трансформированы в осоково-тростниковые и древесно-кустарниковые сообщества.

Реализация мер, направленных на охрану и устойчивое использование открытых низинных болот. С целью сохранения болотных экосистем, в том числе открытых низинных болот, в Республике Беларусь реализованы и в стадии реализации находится ряд международных проектов, а в первую очередь проект Европейского союза «Клима-Ист: сохранение и устойчивое управление торфяниками в Республике Беларусь для сокращения выбросов углерода и адаптации болотных экосистем к изменению климата» (проект «Клима-Ист», 2015–2017 гг.) и проект ПРООН-ГЭФ «Устойчивое управление лесными и водно-болотными экосистемами для достижения многоцелевых преимуществ» (проект «Вэтландс», 2017–2022 гг.).

Основным научным и производственным полигоном для разработки системы восстановления и сохранения открытых низинных болот был выбран заказник «Споровский». Важнейшей задачей, решаемой в рамках реализации этих проектов, являлось построение модели экологически и экономически эффективного использования болотной биомассы, позволяющей получать прибыль, или, как минимум, софинансировать работы по удалению нежелательной болотной растительности на низинных болотах. В рамках вышеназванных проектов для республиканского биологического заказника «Споровский» была закуплена специальная техника, позволяющая эффективно скашивать, вывозить и частично перерабатывать болотную растительность (универсальные колесные трактора Massey Ferguson со сдвоенными колесами; лесохозяйственный мульчер АНWI M450M-2700; форвардер; лесной харвестер; мобильный измельчитель древесины (машина рубильная «Беларус» МР-40-01); биобалер WB-55 (агрегат для сбора и прессования тонкой древесно-кустарниковой растительности); фронтальная косилка КДН-210; пресс-подборщики и фронтальная косилка Krone и др.).

Анализ практики организации работ по сбору и переработке болотной биомассы, выполненных в рамках реализации плана управления заказником «Споровский», показал, что экологически и экономически эффективными являются вырубка древесно-кустарниковой растительности и ее использование в энергетических целях (получение топливной щепы, прямое сжигание дров в котлах), а также использование травянистой растительности в сельскохозяйственных целях на корм и для подстилки домашним животным. Объемы работ по использованию болотной биомассы, выполненные в заказнике «Споровский» в 2018–2021 гг., представлены в таблице.

Объемы работ по использованию болотной биомассы, выполненные в заказнике «Споровский»

Вид работ	Год выполнения работ			
	2018	2019	2020	2021
Кошение болота без сбора скошенной биомассы, га	460	470	433	—
Кошение болотных трав со сбором болотной биомассы, га	380	320	510	390
Заготовлено сена, т	730	600	720	797
Дрова, щепа, м ³	280	705	813	312

В целом такой подход к охране и устойчивому использованию болот позволяет обеспечить поддержание низинных болотных экосистем в открытом состоянии на площади не менее 2500 га.

Для малодоступных низинных болот, а также для участков болотных экосистем, где кошение проводить экономически нецелесообразно, была разработана и опробована технология проведения управляемого выжигания сухой растительности на корню в зимнее время, позволяющая не только поддерживать осоковые болота в открытом состоянии, но и предотвращать нерегулируемые весенние палы, которые в условиях засушливых весен наносят существенный ущерб биоразнообразию и являются причиной лесных и торфяных пожаров.

Мероприятия по охране и использованию ООПТ на 5-летний период, разработанные в рамках плана управления заказником «Споровский». Основная цель плана управления заказником «Споровский» – обеспечить условия для устойчивой охраны и использования уникального болота Споровское, являющегося ключевой орнитологической и Рамсарской территорией. В рамках плана управления разработано 68 мероприятий, важнейшими из которых для поддержания болотных экосистем в открытом состоянии являются.

1. Обеспечить устойчивое поддержание открытых низинных осоковых болот на площади не менее 2500 га. Для достижения этой цели целесообразно проводить кошение болот с частотой не менее одного раза в 2–3 года. В зависимости от экологической и экономической целесообразности кошение может осуществляться со сбором скошенных трав на сено либо без сбора биомассы. Кроме поддержания популяций редких и исчезающих животных кошение болот позволяет восстановить нерестилища основных промысловых видов рыб, обитающих в бассейне р. Ясельды, а также повысить экотуристический потенциал ООПТ.

2. Проводить ежегодное восстановление не менее 50 га ключевых участков низинных болот и лугов, включая вырубку древесно-кустарниковой растительности, мульчирование корневых остатков, удаление корневой поросли и кошение тростника.

3. Обеспечить устойчивое использование болотной биомассы в объеме не менее 1000 т ежегодно, включая заготовку сена, переработку срубленной древесно-кустарниковой растительности на дрова и щепу.

4. Обеспечить устойчивое применение закупленной техники путем оказания услуг организациям и местному населению с дальнейшим использованием полученных финансовых ресурсов на природоохранные мероприятия. Реализуется в заказнике, как правило, в период с апреля по июль, когда хозяйственная деятельность в природных экосистемах ООПТ запрещена.

5. Проведение вселения тарпановидных лошадей и туроподобного скота в природные экосистемы ООПТ в окрестностях оз. Споровское. Планируется, что тарпановидные лошади будут перевезены из популяции, созданной в республиканском заказнике «Налибокский».

6. Обеспечить снижение риска деградации болотных экосистем низинных болот за счет оптимизации гидрологического режима ООПТ. Данную проблему планируется решить путем строительства каскада каменно-набросных перемычек на р. Ясельде. Предпроектные решения по регулированию водного режима будут разработаны в 2022 г.

7. Проведение управляемого выжигания сухой растительности на труднодоступных участках, где кошение трав件 невозможно и экономически нецелесообразно. Данное мероприятие в последние годы регулярно проводится в заказнике, в 2021 г. было осуществлено на площади 1625 га, что позволило не только удалить избыточную болотную растительность (прошлогодние побеги тростника, кустарники и др.), но и снизить вероятность возникновения природных пожаров.

Заключение. Проведен анализ подходов и методов по охране и устойчивому использованию низинных болот в заказнике «Споровский» и на его основе разработаны мероприятия плана управления природоохранной территорией. Данная модель сохранения биоразнообразия с возможностью получения дополнительных доходов и их использования в природоохранных целях может быть применена для других ООПТ страны.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта ПРООН-ГЭФ «Устойчивое управление лесными и водно-болотными экосистемами для достижения многоцелевых преимуществ».

Список использованных источников

1. Численность и характер распределения вертявой камышевки (*Acrocephalus paludicola*) на территории республиканских заказников «Споровский» и «Звянец» по результатам мониторинговых исследований 2017 года // Д. В. Журавлев [и др.] // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси: сб. ст. XI зоол. междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2017. – С. 142–148.

Поступила 23. 02.2022

А. В. Алехнович, А. В. Лещенко, Д. В. Молотков

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: alekhnovichav@gmail.com, e-mail, dmolotkov48@mail.ru*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕСЕННЕГО ЛОВА РАКОВ НА НЕРЕСТУЮЩИЕ ВИДЫ РЫБ

Аннотация. Рачий промысел в Беларуси базируется на длиннопалом раке и активно развивается. В то же время в ракопромысловых водоемах лимиты вылова раков осваиваются промысловиками на 30–50 %. Одним из путей дальнейшего увеличения вылова может быть весенний лов раков, который в соответствии с Правилами запрещен в связи с нерестом рыбы в этот период. Проведенные исследования по влиянию раколовов на рыбу позволили установить, что в весенний период попадание рыбы в них зависит от размера, формы, шага ячеи ловушек. Рыба была отмечена практически во всех типах ловушек, однако объеживание наблюдалось только в ловушках с шагом ячеи более 12 мм. В ловушках преобладали придонные виды рыб – ерш обыкновенный, щиповка обыкновенная и пескарь обыкновенный. Используя раколовки с шагом ячеи 12 мм и менее и устанавливая их вне мест нереста рыб, можно достичь минимального отрицательного воздействия промысла раков на рыбу. Соблюдение этих условий может быть основанием для внесения изменений и дополнений в отдельные положения Правил лова раков с целью разрешения лова раков в весенние месяцы.

Ключевые слова: длиннопалый рак, весенний лов, ловушки, объеживание рыбы

A. V. Alekhnovich, A. V. Leshtenko, D. V. Molotkov

*Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: alekhnovichav@gmail.com, dmolotkov48@mail.ru*

THE IMPACT OF SPRING CRAYFISH FISHING ON SPAWNING FISH SPECIES

Abstract. Crayfish fishing in Belarus is actively developing and is based on narrow-clawed crayfish. The fishery only implements 30–50 % of the catch limits in the fishing reservoirs. One way to further increase the catch is to allow crayfish fishing in spring, which is currently forbidden by the rules because of the fish spawning period. The conducted studies have revealed that the cases of fish getting into the trap in the spring period depends on the size, shape and mesh spacing of the traps. Fish was registered in almost all types of traps, however, the entanglement of fish was observed only in traps with a mesh pitch of more than 12 mm. The majority of caught fish were demersal fish species like the Eurasian ruffe, spined loach and gudgeon. In order to achieve a minimal negative impact on spawning fish, the crayfish traps should be located away from the spawning locations of fish and the mesh size of traps should be of 12 mm or less. Compliance with these conditions may become the basis for making changes and additions to the rules for crayfish fishing during the spring months.

Keywords: narrow-clawed crayfish, spring fishing, traps, entanglement of fish

А. В. Аляхновіч, А. В. Лешчанка, Д. В. Малаткоў

*Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,
e-mail: alekhnovichav@gmail.com, dmolotkov48@mail.ru*

АЦЭНКА ЎПЛЫВУ ВЯСНОВАЙ ЛОЎЛІ РАКАЎ НА НЕРАСТУЮЧЫЯ ВІДЫ РЫБ

Анатацыя. Рачы промысел у Беларусі грунтуецца на даўгапалым раку і актыўна развіваецца. У той жа час у рака-прамысловых вадаёмах ліміты вылаву ракаў асвойваюцца прамыслоўцамі на 30–50 %. Адным са шляхоў далейшага павелічэння лоўлі можа быць вясновая лоўля ракаў, які ў адпаведнасці з Правіламі забаронены ў сувязі з нерэстам рыбы ў гэты перыяд. Праведзеныя даследаванні па ўплыву ракаловак на рыбу дазволілі ўсталяваць, што ў вясновы перыяд трапленне рыбы ў іх залежыць ад памеру, формы, кроку ячэйкі пастак. Рыба была адзначана практычна ва ўсіх тыпах пастак, аднак аб'яеіванне назіралася толькі ў пастках з крокам ячэйкі больш за 12 мм. У пастках пераважалі прыдонныя віды рыб – ёрш звычайны, шчыпаўка звычайная і пяскар звычайны. Выкарыстоўваючы ракалоўкі з крокам ячэйкі 12 мм і менш і ўсталёўваючы іх па-за месцамі нерасту рыб, можна дасягнуць мінімальнага адмоўнага ўздзеяння промыслу ракаў на рыбу. Захаваў гэтых умоў можа быць падставай для ўнясення змяненняў і дапаўненняў у асобныя палажэнні Правілаў лоўлі ракаў з мэтай дазволу лоўлі ракаў у вясновыя месяцы.

Ключавыя словы: даўгапалы рак, вясновая лоўля, пасткі, аб'яеіванне рыбы

Введение. Промысел раков в Беларуси базируется на одном виде – длиннопалом раке *Pontastacus leptodactylus* и активно развивается. В последние пять лет годовой вылов раков составляет 5,8–8,2 т (Государственный кадастр животного мира www.belfauna.by) [1]. Лов раков ведут юридические лица и индивидуальные предприниматели. Ежегодно профильными научными организациями выполняется порядка 10 договоров по оценке запасов и допустимых объемов вылова раков в водных объектах Беларуси. Организованный промысел раков ведется в строгом соответствии с существующими Правилами. Лов раков регулируется «Правилами

добычи, заготовки и (или) закупки диких животных, не относящихся к объектам охоты рыболовства», утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 июня 2006 г. № 699.

В ракопромысловых водоемах лимиты вылова раков осваиваются промысловиками на 30–50 %. В этих водоемах восполняемый биологический ресурс – речные раки не доиспользуются. Необходимо искать пути и способы интенсификации официального рачьего промысла.

Одним из возможных путей увеличения вылова раков может быть организация лова раков в весенние месяцы в период, когда из-за нереста рыб, Правилами лова раков предусмотрен запрет. Не вызывает сомнений, что организация весеннего лова раков скажется на нерестующих в это время рыбах. Но будет ли этот ущерб значительным? Какие виды рыб будут подвергаться отрицательному воздействию в первую очередь? Следует также учитывать, что стоимость рачьей товарной продукции на порядок выше стоимости рыбной продукции (особенно если речь идет о плотве, окуне, ерше, которые, как мы полагаем, и будут основным приловом в раколовках).

Цель данной работы – оценка влияния весеннего лова раков на нерестующие виды рыб.

В работе рассматривается влияние конструктивных особенностей раколовки на попадание и уловистость рыбы раколовками разной конструкции.

Материал и методы. Поскольку при промысле раков используются раколовки различных типов, для сравнения эффективности попадания рыбы в ловушки лов раков проводился ловушками 8 различных типов, которые различались формой, размерами и шагом ячеи.

1. Промышленные раколовки вентерного типа с одним входом диаметром 10 см, длиной около 1 м, диаметром обруча 30–35 см, шагом ячеи 16 мм. Устанавливаются порядками в 8–10 ловушек, попарно с сетной направляющей стенкой между ловушками длиной 2,5 м, высотой 30 см с такой же ячеей. При установке порядок растягивается и фиксируется с помощью колов.

2. Промышленные раколовки вентерного типа с одним входом диаметром 12 см, длиной около 1 м, диаметром обруча 35 см, шагом ячеи 22 мм. Устанавливаются порядком в 10 ловушек, попарно с сетной направляющей стенкой между ловушками длиной 1 м, высотой 30 см с такой же ячеей. При установке порядок растягивается и фиксируется с помощью колов.

3. Одиночные пружинные раколовки вентерного типа с двумя входами диаметром 10 см, длиной около 1 м, диаметром обруча 30 см, шагом ячеи 12 мм. Устанавливаются по одной с плавающим поплавком.

4. Одиночные пружинные раколовки вентерного типа с двумя входами диаметром 5 см, длиной около 60 см, диаметром обруча 25 см, шагом ячеи 16 мм. Устанавливаются по одной с плавающим поплавком.

5. Одиночные раколовки вентерного типа прямоугольной формы с двумя входами диаметром 8 см, длиной около 50 см, шириной и высотой 20 см, ячеей ромбической формы диаметром 4 мм. Устанавливаются по одной с плавающим поплавком.

6. Одиночные раколовки типа зонтик с шестью входами размером 10–12 см, диаметром около 96 см, высотой 35 см, ячеей ромбической формы диаметром 4 мм. Устанавливаются по одной с плавающим поплавком.

7. Одиночные раколовки типа зонтик с шестью входами размером 10–12 см, диаметром около 80 см, высотой 30 см, ячеей ромбической формы диаметром 4 мм. Устанавливаются по одной с плавающим поплавком.

8. Одиночные раколовки типа развернутой книги с шестью входами размером 10–12 см, диаметром около 65 см, высотой 25 см, ячеей ромбической формы диаметром 4 мм. Устанавливаются по одной с плавающим поплавком.

В качестве приманки в раколовки помещали свежую, не хищную рыбу или куриные субпродукты.

Работа проводилась на озерах Маевское, Хотлинское, Белое в период массового нереста рыб в конце апреля–начале мая при температуре воды от 7 до 12 °С. Погода в этот период была крайне неустойчивой с резкими перепадами температур, давления и сменой облачности.

Периодически шли дожди. Из-за данных факторов активность раков и рыбы характеризовалась резкими изменениями, что сказывалось на результатах облова. В связи с этим для получения репрезентативных результатов мы провели анализ по средним данным, полученным во всех водоемах.

Результаты и их обсуждение. Ихтиофауна озер Маевское, Хотлинское, Белое сходна по своему составу и включает в себя 17–18 видов рыб. Наиболее массовыми из них являются уклейка, плотва, густера, красноперка, ерш и окунь. В период проведения контрольных ловов наблюдался нерест нескольких видов рыб. В различные дни нерестились ерш обыкновенный, окунь, уклейка и плотва.

В результате контрольного лова раков за весь период различными видами ловушек было выловлено 217 особей раков и 349 экземпляров различных видов рыб (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Результаты контрольного лова раков по типам ловушек

Тип ловушки	Количество ловушек	Количество постановок	Вылов, экз.		
			раки	рыба	
				объеженная	в куле
1	62	8	130	206	7
2	10	8	8	19	5
3	2	7	2	0	16
4	12	3	1	5	0
5	2	7	6	0	0
6	4	4	1	0	35
7	7	8	57	0	55
8	2	8	12	0	1

Всего в уловах было отмечено попадание 9 видов рыб (табл. 2). Из крупных ценных видов рыб были отмечены лишь единичные экземпляры линя и сома обыкновенного. По количеству резко преобладал ерш обыкновенный, ведущий придонный образ жизни. Достаточно часто отмечалось попадание плотвы и густеры.

Т а б л и ц а 2. Видовой состав рыбы попавшей в ловушки

Вид рыбы	Количество, экз.
Ерш обыкновенный	270
Плотва	30
Густера	30
Окунь	8
Линь	4
Щиповка обыкновенная	4
Уклейка	1
Сом обыкновенный	1
Пескарь обыкновенный	1

Ерша было выловлено почти 78 % от всей пойманной рыбы. Доля плотвы и густеры составила по 9 %, окуня – 2 %, линя и щиповки обыкновенной – по 1 %, остальные виды были пойманы по одному экземпляру.

Резкое преобладание ерша (одного из доминирующих по численности видов в контрольных водоемах) и наличие щиповки и пескаря (численность которых низкая), т.е. видов, ведущих придонный образ жизни, указывают на избирательность ловушек к этим видам, по-видимому, обусловленную низким расположением входов в используемых ловушках. Другие, доминирующие в этих водоемах по численности виды рыб (плотва, густера и окунь), хотя и попадают в ловушки, но значительно в меньшем количестве, чем ерш. Линь и сом тяготеют к укрытиям на дне и попадают в ловушки, воспринимая их как укрытия. Рыба была отмечена практически во всех типах ловушек (за исключением 5-го типа).

Объячеивание наблюдалось только в ловушках с шагом ячеи 16 мм и более. Из всех видов объячевались только ерш обыкновенный, плотва, густера, уклея и окунь. В ловушках с ячей 16–22 мм практически весь ерш был объяченный – даже заходя в куль, в дальнейшем происходило объячеивание. В ловушках с меньшей ячейей объячеивания не происходило вообще (табл. 3).

Таблица 3. Видовой и количественный состав рыбы в ловушках разного типа

Тип ловушки	Вид рыбы	Количество объяченных, экз.		Количество в куле, экз.	
		всего	на 1 ловушку/сутки	всего	на 1 ловушку/сутки
1	Ерш обыкновенный	160	0,322	1	0,002
	Плотва	16	0,032	1	0,002
	Линь	0	0	2	0,004
	Уклея	1	0,002	0	0
	Густера	24	0,048	2	0,004
	Окунь	5	0,010	0	0
	Сом обыкновенный	0	0	1	0,002
	Всего	206	0,414	7	0,014
2	Раки	–	–	130	0,262
	Ерш обыкновенный	3	0,038	0	0
	Плотва	10	0,125	2	0,025
	Линь	0	0	2	0,025
	Окунь	2	0,025	1	0,013
	Густера	4	0,050	0	0
	Всего	19	0,238	5	0,063
3	Раки	–	–	8	0,100
	Ерш обыкновенный	0	0	16	1,142
	Всего	0	0	16	1,142
4	Раки	–	–	2	0,143
	Ерш обыкновенный	4	0,111	0	0
	Плотва	1	0,028	0	0
	Всего	5	0,139	0	0
5	Раки	–	–	1	0,028
	–	0	0	0	0
	Всего	0	0	0	0
6	Раки	–	–	6	0,429
	Ерш обыкновенный	0	0	34	2,125
	Щиповка обыкновенная	0	0	1	0,063
	Всего	0	0	35	2,188
7	Раки	–	–	1	0,063
	Ерш обыкновенный	0	–	51	0,911
	Щиповка обыкновенная	0	–	3	0,054
	Пескарь обыкновенный	0	–	1	0,017
	Всего	0	0	55	0,982
8	Раки	–	–	57	1,018
	Ерш обыкновенный	0	–	1	0,063
	Всего	0	0	1	0,063
	Раки	–	–	12	0,750

В ловушках зонтичного типа отмечались только придонные виды рыб – ерш обыкновенный, щиповка обыкновенная и пескарь обыкновенный, что, по-видимому, обусловлено формой раколовков и низким размещением входов. В то же время ловушки этого типа показали высокую уловистость по ракам. В ловушках вентерного типа отмечались 7 видов рыб. Количественный и видовой состав зависел от шага ячеи. В ловушках с ячей 12 мм отмечен только ерш (не объяченный). В ловушках с ячей 16 мм тоже преобладал ерш, но 99 % его было объячено. В ловушках с ячейей 22 мм преобладали плотва и густера, большая часть из которых было объячено. Размерный состав рыб в ловушках разных типов отличался незначительно (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. **Размерный состав рыбы в ловушках разного типа**

Тип ловушки	Вид рыбы	Длина объяченных особей, см		Длина особей в куле, см	
		средняя	мин./макс.	средняя	мин./макс.
1	Ерш обыкновенный	9,1	8,0/10,5	11,0	—
	Плотва	10,4	9,0/13,0	12,0	—
	Линь	—	—	28,5	28,0/29,0
	Уклейка	13,0	—	—	—
	Густера	9,6	8,5/11,0	11,8	10,5/13,0
	Окунь	10,4	9,0/11,0	—	—
2	Сом обыкновенный	—	—	34,0	—
	Ерш обыкновенный	10,6	10,0/11,0	—	—
	Плотва	12,7	11,0/14,0	13,8	13,5/14,0
	Линь	—	—	26,3	26,0/26,5
	Окунь	8,0	—	14,8	14,5/15,0
3	Густера	10,9	10,0/11,5	—	—
	Ерш обыкновенный	—	—	8,8	7,0/10,0
4	Ерш обыкновенный	9,0	—	—	—
	Плотва	11,0	—	—	—
6	Ерш обыкновенный	—	—	7,6	6,0/11,0
	Щиповка обыкновенная	—	—	11,0	—
7	Ерш обыкновенный	—	—	8,4	5,5/10,0
	Щиповка обыкновенная	—	—	10,3	10,0/11,0
	Пескарь обыкновенный	—	—	4,0	—
8	Ерш обыкновенный	—	—	6,0	—

Наиболее отличны размеры рыб в ловушках с наиболее крупной ячейей (тип 2). В них были ерши лишь самых крупных размеров, средние размеры окуня и плотвы также значительно выше, чем в ловушках с меньшей ячейей. По всей видимости, такой размер ячей позволял мелким особям этих видов и большей части ерша свободно выходить из этих ловушек. В ловушках 6–8-го типов максимальные размеры ершей были такими же, как и в ловушках с более крупной ячейей, но попадало значительное количество мелких особей длиной 5,5–7 см, отсутствующих в других ловушках, из-за чего средних размеров рыб в них меньше. Очень мелкая ячей позволяет оставаться в них любой попавшей рыбе. По этой же причине щиповка и пескарь отмечены только в ловушках с очень мелкой ячейей. В то же время такой размер ячей и низкая форма отпугивает многих рыб, а зашедшая рыба не травмируется и может быть легко выпущена обратно в водоем.

Таким образом, проведенные исследования показали, что среди рыб, попадающих в раколовки в весенний период, преобладали массовые виды рыб, из них по количеству резко доминировал ерш обыкновенный. Рыба была отмечена почти во всех типах ловушек, однако объячение наблюдалось только в ловушках с шагом ячей более 12 мм и процент объячающейся рыбы возрастал с увеличением шага ячей. Объячаивались только ерш обыкновенный, плотва, густера, уклейка и окунь.

Ловушки разных типов показали различную избирательность по видам и размерам рыб. Количественный и видовой состав зависел от шага ячей. В ловушках зонтичного типа отмечались только придонные виды рыб – ерш обыкновенный, щиповка обыкновенная и пескарь обыкновенный. В то же время ловушки этого типа показали максимальную уловистость по ракам. В ловушках вентерного типа встречались все отмеченные виды рыб, за исключением щиповки и пескаря, что обусловлено шагом ячей. Размер ячей в них обуславливал попадание различных видов – в ловушках с наиболее мелкой ячейей (12 мм) отмечался только ерш. В остальных с увеличением ячей уменьшалась доля ерша и повышалась доля остальных видов рыб.

Влияние ловли раков на ихтиофауну в период нереста можно разделить на опосредованное и непосредственное. Опосредованное влияние выражается в беспокойстве рыбы при постановке и проверке раколов. Такое влияние может проявляться при их установке непосред-

ственно в период нереста на нерестилищах рыб. Влияние это выражается отпугиванием рыбы, подходящей к нерестилищу, в результате чего она вынуждена искать другое место для нереста. В любом случае опосредованное влияние раколови не должно быть сильно выражено, поскольку размеры раколовки сравнительно невелики, а установка и проверка орудий лова весьма непродолжительны по времени. Если же устанавливать раколовки вне нерестилищ опосредованного влияния не будет вообще.

Непосредственное влияние на рыбу выражается в попадании ее в раколовки. Следует отметить, что в период весеннего запрета активность рыбы весьма высока и попадание ее в ловушки неизбежно. При попадании в ловушки закрытого типа часть рыбы просто плавает внутри них, не в состоянии выйти оттуда. Рыба остается живой, ее легко извлечь и выпустить в неповрежденном виде при проверке ловушки. В ловушках некоторых типов, часть рыбы может обьязчиваться в крыльях, пытаясь обойти их, или непосредственно в ловушках, пытаясь выбраться из них. Обьячеенная рыба, даже будучи выпущенной в живом виде, в большинстве случаев погибает через какое-то время (при невысоких температурах воды гибель рыбы наступает через несколько дней и даже недель), поскольку поврежденные покровы поражаются сапролегнией и другими инфекционными заболеваниями. Некоторые особи рыб погибают и до выпутывания их из полотна. Процент выживаемости после обьячеивания не одинаков у разных видов рыб. Так, у видов со сравнительно крупной чешуей и неплотным ее соединением, а это большинство рыб семейства карповых (плотва, лещ, густера, краснопёрка, язь, пескарь и др.) и некоторых рыб других семейств (щука, ерш) гибель после обьячеивания достигает более 90 %. У рыб с более плотным чешуйчатым покровом или без чешуи, но чувствительным к внешним воздействиям, таких как окунь, судак, сом, выживаемость несколько выше и составляет 30–50 %. Группа рыб с мелкой или крупной плотной чешуей стойкая к внешним воздействиям (карась, карп, линь), выживаемость которых высокая и составляет более 80–90 % [2, 3].

Обьячеивание в каждом типе орудий лова не одинаково для различных видов рыб и их размерных групп. Поскольку раколовки ориентированы на поимку раков, а не рыбы, ловающая часть сетного полотна, как правило, сильно натянута, с коэффициентом посадки полотна 50–60 % и даже более. Сильно натянутая посадка полотна в раколовках значительно снижает процент обьячеивающейся рыбы, но увеличивает травматизацию при попадании в нее. Опять же благодаря такой посадке, большую вероятность обьячеивания в ловушках имеют рыбы с вытянутым телом (плотва, окунь, ерш и др.), нежели высокотелые (лещ, густера, карась и др.).

В раколовках, как правило, используется сетное полотно из капроновых нитей большой толщины, в более современных – из различных пластиков. Чем более толстый и жесткий материал используется, тем меньше обьячеивается в ловушках рыба. Таким образом, процент обьячеивания в раколовках достаточно низок.

Большое влияние на процент обьячеивания имеет размер ячеи. Во всех случаях результат отбора (улов) зависит при прочих равных условиях от соответствия максимального обхвата рыб периметру ячеи и численности их в облавливаемом косяке [4]. Рыба размером поперечного сечения тела (обхвата) меньше периметра ячеи свободно проходит через ячейки. Рыба размерами поперечного сечения тела больше ячеек сети считается подверженной обьячеиванию. Наибольший процент обьячевания у рыб с телом, размеры поперечного сечения которого чуть меньше размера ячеи («очковая рыба»), чем крупнее размеры рыбы относительно размера ячеи, тем меньше вероятность ее обьячеивания. Но при величине шага ячеи менее 12 мм, даже при применении самых нежных материалов процент обьячеивания становится близким к нулю. В Беларуси в настоящее время в большинстве промышленных раколовки используется полотно шагом ячеи 18–20 мм, максимум до 22 мм. Такой шаг ячеек, несмотря на довольно грубые материалы, позволяет обьячеваться рыбе с вытянутым телом и обхватом тела чуть больше размера ячеи. Как правило, в большинстве это такие малоценные виды как окунь, плотва, краснопёрка и ерш длиной тела от 5 до 12 см. Особи таких размеров (за исключением ерша) являются неполовозрелыми и не участвуют в нересте. Процент обьячеивающейся рыбы невысок. Использование же при постройке раколовки сетного полотна с более мелкой ячейкой и из более

толстых или плотных материалов позволяет снизить количество объячеивающейся рыбы практически до нуля.

Проведенные исследования по влиянию раколовков на рыбу показали, что попадание рыбы в них зависит от размера, формы, шага ячеи. Всего в уловах было отмечено попадание 9 видов рыб.

Из крупных ценных видов рыб были отмечены лишь единичные экземпляры линя и сома обыкновенного. Преобладали массовые виды рыб, по количеству резко доминировал ерш обыкновенный, ведущий придонный образ жизни. Объячеивались только ерш обыкновенный, плотва, густера, уклейка и окунь.

Рыба была отмечена практически во всех типах ловушек, однако объячеивание наблюдалась только в ловушках с шагом ячеи более 12 мм. В ловушках зонтичного типа отмечались только придонные виды рыб – ерш обыкновенный, щиповка обыкновенная и пескарь обыкновенный, что, по-видимому, обусловлено их низкой формой тела и мелкой ячеей. В то же время ловушки этого типа показали максимальную уловистость по ракам. В ловушках вентерного типа отмечались 7 видов рыб. Количественный и видовой состав зависел от шага ячеи. В ловушках с ячей 12 мм отмечен только ерш (не объячеинный). В ловушках с ячей 16 мм тоже преобладал ерш, но 99 % его была объячеена. В ловушках с ячеей 22 мм преобладали плотва и густера, большая часть из которых была объячеена. По всей видимости такой размер ячей позволял в большей части ерша свободно выходить из этих ловушек.

Закключение. В весенние месяцы воздействие промысла раков на попадающую в раколовки рыбу будет минимальным, если использовать ловушки с шагом ячеи 12 мм и менее. В таких раколовках рыбы не объячеиваются и не погибают. Соблюдение этих условий может быть основанием для внесения изменений и дополнений в отдельные положения Правил лова раков с целью разрешения лова в весенние месяцы.

Благодарности. Работа по оценке влияния весеннего лова раков на нерестующие виды рыб выполнена в рамках задания «Разработать и внедрить комплекс мероприятий по увеличению промысла длиннопалого рака и оценить влияние весеннего лова раков на популяции нерестующих видов рыб» Государственной научно-технической программы «Природопользование и экологические риски». Подпрограмма 01 «Рациональное природопользование и инновационные технологии глубокой переработки природных ресурсов».

Список использованных источников

1. Государственный кадастр животного мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://belfauna.by>. – Дата доступа : 01.07.2016.
2. Власов, В. А. Рыбоводство / В. А. Власов. – М.: Мир, 2004. – 456 с.
3. Носырева, Н. В. Уловистость и селективность орудий лова / Н. В. Носырева; Бурят. гос. сельскохоз. акад. им. В. Р. Филлипова. – Улан-Удэ, 2015.
4. Баранов, Ф. И. Техника промышленного рыболовства / Ф. И. Баранов. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 695 с.

Поступила 27.01.2022

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 528.94;502.13(1-751.1)

Н. А. Зеленкевич¹, Д. Г. Груммо¹, Н. М. Роговский^{1,2}, А. В. Тимашкова², О. В. Созинов³

¹Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: zeliankevich_nat@mail.ru

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

ИНТЕГРАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ИЗУМРУДНОЙ СЕТИ В СИСТЕМУ И СХЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Аннотация. В настоящее время Изумрудная сеть Республики Беларусь состоит из 155 объектов, утвержденных Постоянным комитетом Бернской конвенции с официальным статусом территорий особого природоохранного значения, 7 потенциальных территорий и 15 новых, предложенных к номинации. Проанализированы существующие объекты Изумрудной сети на территории Республики Беларусь на наличие национального и международного природоохранного статуса. Дана оценка существующего уровня охраны объектов Изумрудной сети, определены территории с недостаточной степенью охраны и предложены основные пути по их сохранению. Разработаны стратегия и план действий по интеграции принципов Изумрудной сети в систему территориальной охраны природы Республики Беларусь. Полученные данные оформлены в виде аналитической записки и предложений и переданы в соответствующие природоохранные инстанции.

Ключевые слова: Изумрудная сеть, территории особого природоохранного значения, Бернская конвенция, Национальная экологическая сеть, особо охраняемые природные территории

N. A. Zeliankevich¹, D. G. Grummo¹, M. M. Rahouski^{1,2}, A. V. Tsimashkova², O. V. Sozinov³

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: zeliankevich_nat@mail.ru

²Belarusian State University, Minsk, Belarus

³Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus

INTEGRATION OF THE EMERALD NETWORK PRINCIPLES INTO THE SYSTEM OF TERRITORIAL NATURE PROTECTION OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Abstract. Presently the Emerald Network of Belarus consists of 155 sites approved by the Standing Committee to the Bern Convention with the official status of Areas of Special Conservation Interest, 7 Candidate sites and 15 Proposed sites – new areas for nomination. The actual sites of the Emerald Network on the territory of the Republic of Belarus were analyzed for the presence of national and international nature protection status. The current level of protection of the Emerald Network objects was assessed, territories with an insufficient level of protection were identified and the main ways for their preservation were proposed. A strategy and action plan for integrating the principles of the Emerald Network into the system of Territorial Nature Protection of the Republic of Belarus has been developed. The findings were drawn up in the form of an Analytical note and Proposals and submitted to the relevant environmental authorities.

Keywords: Emerald Network, Areas of Special Conservation Interest, Bern Convention, National Ecological Network, Specially Protected Natural Areas

Н. А. Зелянкевіч¹, Дз. Г. Грумо¹, М. М. Рагоўскі^{1,2}, А. У. Цімашкова², А. В. Созиная³

¹Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
Мінск, Беларусь, e-mail: zeliankevich_nat@mail.ru

²Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь

³Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы, Гродна, Беларусь

ІНТЭГРАЦЫЯ ПРЫНЦЫПАЎ ІЗМУДНАЙ СЕТКІ Ў СІСТЭМУ І СХЕМЫ АХОВЫ НАВАКОЛЬНАГА АСЯРОДДЗЯ НА ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ

Анатацыя. На гэты момант Изумрудная сетка Рэспублікі Беларусь складаецца са 155 аб'ектаў, зацверджаных Пастаянным камітэтам Бернскай канвенцыі з афіцыйным статусам тэрыторый асаблівага прыродаахоўнага значэння, 7 патэнцыйных тэрыторый і 15 новых, прапанаваных да намінацыі. Прааналізаваны існуючыя аб'екты Изумруднай сеткі на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь на наяўнасць нацыянальнага і міжнароднага прыродаахоўнага статусу. Дана ацэнка існуючага ўзроўня аховы аб'ектаў Изумруднай сеткі, вызначаны тэрыторыі з недастатковай ахай і падрыхтаваны прапановы па іх захаванню. Распрацаваны стратэгія і план дзеянняў па інтэграцыі прынцыпаў Изумруднай сеткі ў сістэму тэрытарыяльнай аховы прыроды Рэспублікі Беларусь. Атрыманыя дадзеныя аформлены ў выглядзе аналітычнай запискі і прапановы і перададзены ў адпаведныя прыродаахоўныя інстанцыі.

Ключавыя словы: Изумрудная сетка, тэрыторыі асаблівага прыродаахоўнага значэння, Бернская канвенцыя, Нацыянальная экалагічная сетка, асабліва ахоўныя прыродныя тэрыторыі

Введение. Сохранение и устойчивое использование биоразнообразия является одной из главных экологических проблем современного мира. Осознавая всю важность этой проблемы, Беларусь стала частью Конвенции об охране дикой фауны, флоры и природных сред обитания в Европе (Бернской конвенции) [1, 2].

Изумрудная сеть: критерии и принципы формирования. В 1998 г. в рамках реализации Конвенции об охране дикой фауны, флоры и природных сред обитания в Европе (Бернская конвенция) была создана так называемая «Изумрудная сеть» (ИС) или сеть «Эмеральд» (от англ. «Emerald» – изумруд), которая включает территории особого природоохранного значения (Areas of Special Conservation Interest, ASCIs) для стран-членов Бернской конвенции, не входящих в Европейский союз. Изумрудная сеть увязана с системой объектов программы Европейского союза NATURA 2000, которая осуществляет мониторинг и контроль за состоянием видов, находящихся под угрозой исчезновения, и предоставляет помощь в природоохранной и научной сферах [3].

Принципы и критерии выделения территорий особого природоохранного значения (ТОПЗ) и создания Изумрудной сети подробно прописаны в соответствующих резолюциях и рекомендациях Постоянного комитета Бернской конвенции. Юридической основой для создания ТОПЗ является статья 4 Бернской конвенции, где указывается, что договаривающиеся стороны «принимают соответствующие и необходимые законодательные и административные меры для обеспечения сохранения мест обитания дикой флоры и фауны, особенно тех видов, которые указаны в Приложениях I и II, а также для сохранения находящихся под угрозой исчезновения природных сред обитания (биотопов)» [3–5].

В Резолюции № 3 (1996) описаны принципы создания общеевропейской экологической сети, в Резолюции № 5 (1998) – правила создания сети территорий особого природоохранного значения (Изумрудной сети), в Резолюции № 8 (2012) – порядок управления, мониторинга и отчетности для таких территорий. Однако ключевым аспектом для создания объектов особого природоохранного значения является наличие видов и биотопов, указанных в Резолюциях № 6 (1998) (перечислены виды растений и животных, требующие специальных охранных мер) и № 4 (1996) (приведены типы биотопов, нуждающихся в охране) [3, 4].

Изумрудная сеть представляет собой систему взаимосвязанных территорий, которые подлежат управлению, мониторингу и отчетности. Для информационной поддержки функционирования ИС создан специальный сайт (<https://emerald.eea.europa.eu>) [4]. Сайт, будучи разработанным в рамках Бернской конвенции, содержит разнообразную справочную информацию, представляющую научный и природоохранный интерес. Информация, отображаемая в Emerald Network Viewer, основана на самых последних наборах данных, созданных Европейским агентством по окружающей среде (ЕАОС) на основе данных о биоразнообразии, предоставленных государствами, подписавшими Конвенцию, а также государствами-наблюдателями [4, 6, 7].

Критерии выделения территорий особого природоохранного значения определены Рекомендацией № 16 (1989) Постоянного комитета Бернской конвенции в соответствии с положениями статьи 14 Бернской конвенции, а также принимая во внимание статью 4 этой же конвенции и Резолюцию № 1 (1989) о положениях, касающихся сохранения мест обитания.

Для выделения территорий особого природоохранного значения важным является численность популяции охраняемого в рамках Бернской конвенции вида растения или животного. Пороговые значения колеблются от наличия вида до группировки не менее 1 % национальной популяции вида. Сетью ТОПЗ в стране в идеале должно быть охвачено 20–60 % популяций этих видов, однако в зависимости от редкости или обычности вида доля его может изменяться. На завершающей стадии создания Изумрудной сети проводится оценка ее полноты (достаточно-сти) [3, 4, 8, 9].

Все решения, касающиеся Изумрудной сети, обсуждаются на биогеографических семинарах, а результаты утверждаются в виде обязательных рекомендаций. В работе биогеографических семинаров принимают участие делегации всех стран, в которых создается Изумрудная сеть. В составе делегаций стран-участниц представители органов государственного управле-

ния (в Беларуси – Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь), представители научной сферы, общественных экологических организаций, а также независимые эксперты. Процедура оценки основана на обсуждении достаточности для сохранения каждого вида или биотопа предложенных территорий [3, 4, 8, 9].

Материалы, методы и объекты исследования. Объектами исследования являются территории особого природоохранного значения Изумрудной сети Республики Беларусь. Методология проведения работы – обобщение, анализ, оценка степени интеграции объектов Изумрудной сети в систему территориальной охраны природы Республики Беларусь (в первую очередь в сфере организации и функционирования ООПТ).

Результаты исследований и их обсуждение

Изумрудная сеть в Республике Беларусь: история формирования и актуальное состояние. Первые работы по созданию в Республике Беларусь национального сегмента Изумрудной сети были начаты в 2009 г., еще до ратификации страной Бернской конвенции (2013 г.), в рамках специальной совместной программы Европейского союза и Совета Европы. Осуществляло проект Белорусское общественное объединение «Экологическая инициатива». На первом этапе (2009–2011 гг.) было определено и описано 12 потенциальных объектов Изумрудной сети. В их состав вошли все национальные парки («Беловежская пуща», «Браславские озера», «Нарочанский», «Припятский») и Березинский биосферный заповедник, а также ряд крупнейших заказников республиканского значения («Выгонощанское», «Ельня», «Звянец», «Ольманские болота», «Освейский», «Споровский», «Средняя Припять») [3, 10].

В 2013 г. в рамках проекта «Создание Изумрудной сети охраняемых природных территорий – фаза II» (2013–2016 гг.) были определены и описаны 4 территории: заказники «Синьша», «Швакшты», «Красный Бор», «Липичанская пуща». В 2014 г. было предложено еще 39 новых территорий [3, 10].

В 2015 г. специалистами учреждений НАН Беларуси (НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси) и общественных организаций были подготовлены документы еще для 30 территорий, преимущественно имеющих национальный природоохранный статус. В результате этой работы в 2015 г. список потенциальных объектов насчитывал уже 114 территорий общей площадью около 1 900 тыс. га, что составляло более 9 % площади страны. К началу 2016 г. список объектов Изумрудной сети в Беларуси включал уже 120 объектов, общей площадью 2 126,5 тыс. га (10,2 %) [10–13].

По итогам семинара в 2016 г. сеть была дополнена еще 33 объектами и их общее число составило 155 территорий общей площадью 2 306 413 га, что составляло 11,1 % площади Беларуси [10–13].

По итогам последней на данный момент 39-й встречи в Страсбурге в 2019 г., Изумрудная сеть в Беларуси (рис. 1) содержала 155 объектов, утвержденных Постоянным комитетом Бернской конвенции с официальным статусом территорий особого природоохранного значения и 7 потенциальных территорий. Общая площадь утвержденных Постоянным комитетом объектов Изумрудной сети составляла 2 320,1 тыс. га или 11,1% территории страны.

В разрезе административных областей площади утвержденных объектов ИС распределились следующим образом: Гомельская – 757,7 тыс. га (18,8 % от площади области), Брестская – 661,7 тыс. га (20,2 %), Витебская – 483,9 тыс. га (12,1 %), Гродненская – 256,1 тыс. га (10,2 %), Минская – 283,4 тыс. га (7,1 %), Могилевская – 177,9 тыс. га (6,1 %) (табл. 1).

Стоит отметить, что существует проблема интеграции ИС в национальную систему ООПТ. Основные причины: 1) при проектировании объектов ИС границы предварительно не согласовывались с землепользователями, равно как и не учитывалась их позиция по приданию территории природоохранного статуса; 2) не проводилось широкое обсуждение среди специалистов планируемых объектов ИС; 3) в перечень включен ряд производственных объектов (рыбхозы), которые «априори» не могут приобрести природоохранный статус.

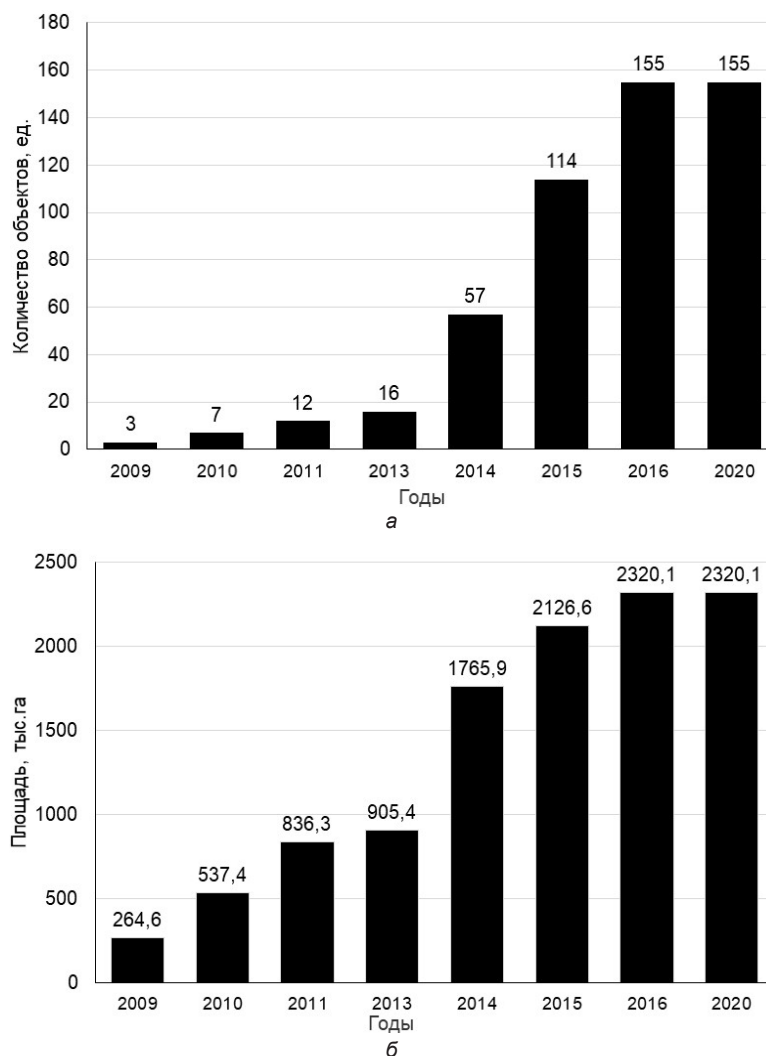


Рис. 1. Динамика общего количества (а) и общей площади (б) объектов Изумрудной сети в Республике Беларусь (приводится для принятых Постоянным комитетом Бернской конвенции)

Т а б л и ц а 1. Площадь объектов Изумрудной сети по областям Беларуси (приводится для принятых Постоянным комитетом Бернской конвенции)

Административная область	Количество*	Общая площадь, га	Доля от площади области, %
Гомельская	34	757 670,76	18,76
Брестская	34	661 675,62	20,18
Витебская	54	483 938,85	12,08
Минская	27	283 417,70	7,11
Гродненская	22	256 130,34	10,19
Могилевская	18	177 920,87	6,12

Пр и м е ч а н и е. *С учетом объектов Изумрудной сети расположенных в границах двух административных областей.

Работа над пополнением и уточнением Изумрудной сети ведется и в настоящее время. В 2021 г. подготовлено и после одобрения Советом Европы вступит в силу очередное обновление Изумрудной сети для Республики Беларусь. Основные изменения состоят в следующем.

1. Уточнены границы существующих территорий. После обновления общая площадь утвержденных объектов сети (155) составляет 2 326 588,22 га, что увеличивает их площадь более чем на 6,5 тыс. га. Площадь 7 потенциальных объектов составит 97 363,0 га.

2. Добавлен ряд новых территорий, предложенных к номинации, площадь которых составляет 206 672,0 га. Таким образом, общая площадь Изумрудной сети составит 2 630 623,22 га или 12,7 % территории страны (рис. 2, табл. 2).

3. Добавлены новые сведения о растениях, животных и их новых местонахождениях. В результате обновления сведений по Изумрудной сети в Беларуси под охраной Бернской конвенции будут находиться 22 вида сосудистых растений и 150 видов животных (табл. 2).

4. Пересмотрен и уточнен список биотопов и их пространственное распределение. Представленная обновленная база содержит более 3400 значений данных по биотопам с указанием их площадей (в сравнении с 550 доступными ранее). Большинство из них (62 %) имеют высокую степень (G) качества данных (категория Репрезентативность), а остальные определены на основе данных с некоторой экстраполяцией (M). Всего площадь охраняемых биотопов составит 1 174 247,5 га, что занимает в среднем 44,7 % общей площади (табл. 2).

Одним из важнейших направлений формирования ИС является ее интеграция с Национальной экологической сетью (НЭС). Схема НЭС утверждена Указом Президента Республики Беларусь от 13 марта 2018 г. № 108. НЭС представляет собой систему природно-территориальных комплексов со специальными режимами природопользования. Состоит из зон ядер, экологических коридоров и охранных зон и включает 93 объекта общей площадью 3,37 млн га (16,2 % территории страны), в том числе: 52 ядра (ключевые природные территории), из них 14 ядер европейского, 18 – национального и 20 – регионального значения общей площадью 1,64 млн га; 34 экологических коридора, из них 6 коридоров европейского, 19 – национального и 7 – регионального значения общей площадью 1,45 млн га; 7 охранных зон общей площадью 0,26 млн га [14].

Хотя Национальная экологическая и Изумрудная сети в достаточной степени перекрываются, интеграция их является отдаленной перспективой. Среди проблем разработки обеих экологических сетей можно назвать недостаток информации по распространению ряда видов и биотопов, неопределенность статуса некоторых территорий специальной охраны. Оптимальным решением проблемы является включение объектов ИС в состав Национальной экологической сети. Это возможно путем совершенствования национального законодательства и дальнейшего развития системы ООПТ [15].

Анализ объектов Изумрудной сети Беларуси на наличие национального и международного статуса. Анализ «белорусского сегмента» Изумрудной сети (с учетом обновления) показал, что большинство территорий охвачено в той или иной степени охраной на национальном уровне (заповедники, национальные парки, заказники республиканского и местного значения), при этом: 49 ТОПЗ обеспечены 100 %-ной охраной на национальном уровне; 38 ТОПЗ – охраняется 95–99 % территории; 17 ТОПЗ – 80–94; 14 ТОПЗ – 50–79; 10 ТОПЗ – 20–49; 10 ТОПЗ – 5–19; 14 ТОПЗ – < 5 %; 25 ТОПЗ не имеют национального природоохранного статуса [16–19].

Входят в Национальную экологическую сеть (ядра и коридоры европейского, национального и регионального значения, охранные зоны) 88 ТОПЗ полностью (100 % площади); 12 ТОПЗ – 70–95 %; 10 ТОПЗ – 40–60; 3 ТОПЗ – 10–20 %; 64 ТОПЗ не входят в Национальную экологическую сеть [8, 14].

Из общего перечня 61 ТОПЗ охраняется в рамках других международных обязательств (имеют статус биосферного резервата ЮНЕСКО, Объекта всемирного наследия ЮНЕСКО, Рамсарской территории (RS), ключевой орнитологической территории (IBA), ключевой ботанической территории (IPA) и др.).

Нами предлагается оценка уровня охраны объектов Изумрудной сети по следующей шкале: *высокий уровень охраны* – охраной на национальном уровне (ООПТ, Национальная экологическая сеть) обеспечено более 80 % территории объекта ИС; *достаточный* – охраной обеспечено от 60 до 80 %; *приемлемый* – от 40 до 60 %; *низкий* – от 20 до 40 %; *недостаточный* – менее 20 %; *отсутствует* – не имеет охранного статуса на национальном уровне.

Таким образом, 134 объекта Изумрудной сети обладают высоким уровнем охраны на национальном уровне (является ООПТ, либо входит в Национальную экологическую сеть), 2 – достаточным, 9 – приемлемым, 2 – низким, 11 – недостаточным, у 19 территорий отсутствует статус охраны на национальном уровне.

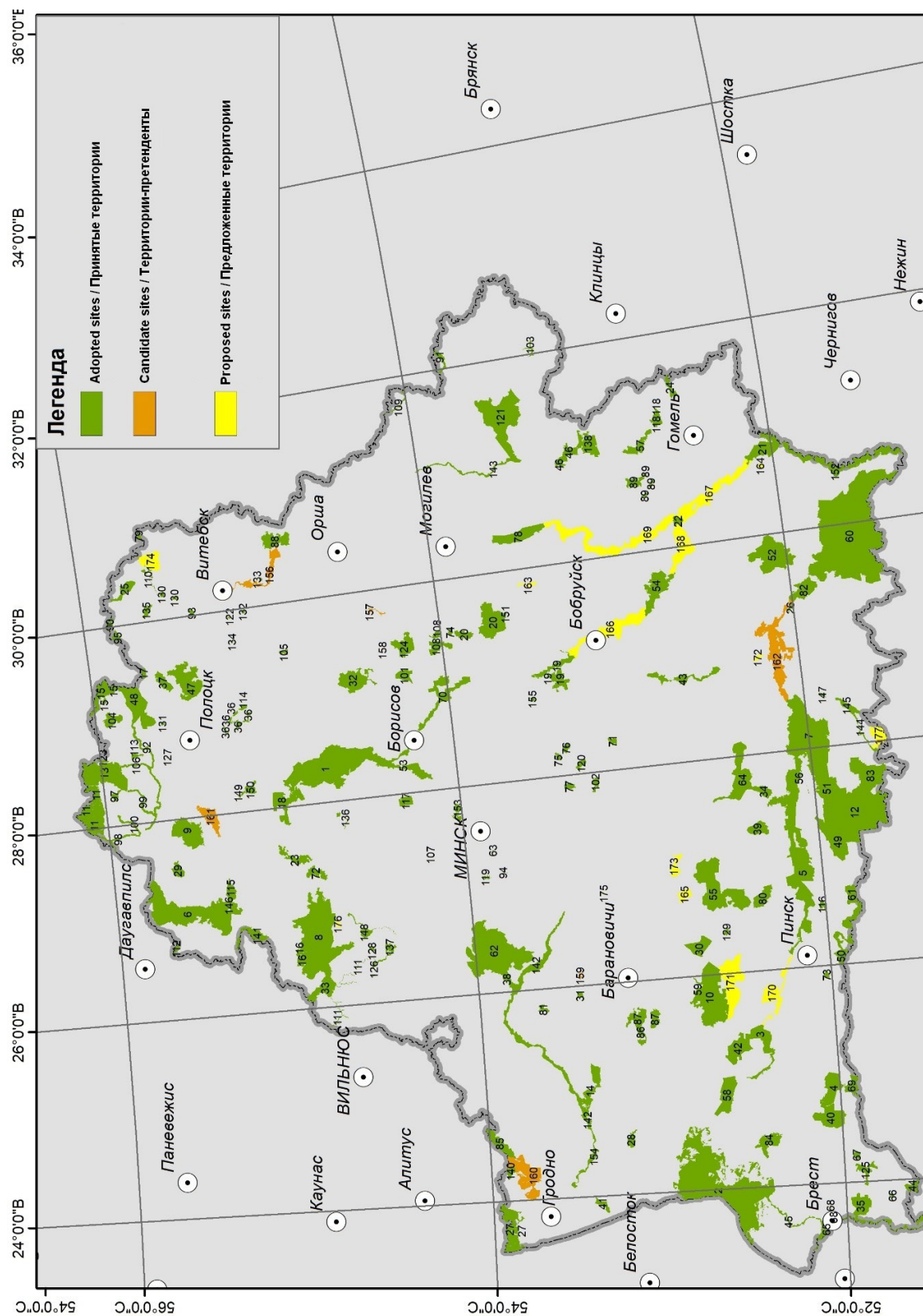


Рис. 2. Современное состояние Измрудной сети Беларуси

Таблица 2. Реестр объектов Изумрудной сети в Беларуси

Номер на карте	Код	Наименование	Год подачи заявки	Площадь, га	Биоразнообразие, охраняемое в рамках Бернской конвенции					
					количество видов растений	доля от числа охран. (всего – 22) в Беларуси, %	количество видов животных	доля от числа охран. (всего – 150) в Беларуси, %	площадь охраняемых биотопов, га	доля от общей площади объекта ИС, %
Adopted sites / Принятые территории										
1	BY00000001	Berezinskiy	2009	86 772,1	10	45	75	50	73 130,7	84,3
2	BY00000002	Belovezhskaya Pushcha	2009	158 952,9	8	36	72	48	91 893,9	57,8
3	BY00000003	Sporovskiy	2009	18 871,5	2	9	52	35	9210,8	48,8
4	BY00000004	Zvanets	2010	16 041,5	2	9	48	32	5578	34,8
5	BY00000005	Srednyaya Pripyat	2010	95 488,1	3	14	100	67	40 158,8	42,1
6	BY00000006	Braslavskiyе Ozyora	2010	70 438,2	3	14	72	48	33 271,5	47,2
7	BY00000007	Pripyatskiy	2010	90 789,2	7	32	101	67	54 803,9	60,4
8	BY00000008	Narochanskiy	2011	94 817,3	5	23	69	46	39 153,6	41,3
9	BY00000009	Yelnya	2011	25 270,6	1	4	51	34	16 089,5	63,7
10	BY00000010	Vygonoshchanskoye	2011	55 226,6	4	18	62	41	33 034,8	59,8
11	BY00000011	Osveiskiy	2011	30 546,5	3	14	56	37	15 137,4	49,6
12	BY00000012	Olmanskiye bolota	2011	93 135	3	14	61	41	56 492,6	60,7
13	BY00000013	Krasny Bor	2013	35 438,6	4	18	47	31	27 865,6	78,6
14	BY00000014	Lipichanskaya Pushcha	2013	15 497,1	3	14	42	28	2437,4	15,7
15	BY00000015	Sinsha	2013	12 630,2	2	9	33	22	7 154,9	56,6
16	BY00000016	Shvakshty	2013	55 11,4	3	14	34	23	3974,5	72,1
17	BY00000017	Glubokoye-Bolshoye Ostrovito	2014	1403,6	–	–	26	17	1 179,4	84,0
18	BY00000018	Golubitskaya Pushcha	2014	18 193,2	–	–	40	27	14 109,5	77,6
19	BY00000019	Svislochsko-Berezinskiy	2014	17 471,8	1	4	34	23	6 395,2	36,6
20	BY00000020	Ostrova Duleby-Zaozerie	2014	29 930,5	1	4	46	31	2 1010,9	70,2
21	BY00000021	Dnepro-Sozhskiy	2014	15 212,9	3	14	56	37	4 032,7	26,5
22	BY00000022	Smychok	2014	2 690,0	–	–	43	29	932,3	34,7
23	BY00000023	Servech	2014	8 260,3	–	–	37	25	5 363,1	64,9
24	BY00000024	Iput	2014	3 576,2	1	4	36	24	251,3	7,0
25	BY00000025	Lovat	2016	6 739,5	1	4	23	15	3 833,5	56,9
26	BY00000026	Mozyrskiyе Ovragi	2014	940,9	4	18	6	4	293,7	31,2
27	BY00000027	Grodnenskaya Pushcha	2014	21 322,0	5	23	32	21	13 989,3	65,6
28	BY00000028	Zamkoviy Les	2014	3 609,1	3	14	10	7	1 849,5	51,2
29	BY00000029	Tikiny Ostrova - Boloto Mokh	2014	4 983,4	1	4	25	17	3 783,6	75,9
30	BY00000030	Podvelikiy Mokh	2014	10 866	–	–	26	17	6 127,7	56,4
31	BY00000031	Svityazvanskiy	2014	1 196,5	2	9	20	13	943,9	78,9
32	BY00000032	Selyava	2014	19 528,3	3	14	39	26	9 094,7	46,6
33	BY00000033	Sorochanskiye Ozyora	2014	14 043,7	2	9	44	29	7 942,6	56,6
34	BY00000034	Bielaye Fish Farm	2014	5 450,7	–	–	16	11	1 104,2	20,3

Продолжение табл. 2

Номер на карте	Код	Наименование	Год подачи заявки	Площадь, га	Биоразнообразие, охраняемое в рамках Бернской конвенции						
					количество видов растений	доля от числа охран. (всего – 22) в Беларуси, %	количество видов животных	доля от числа охран. (всего – 150) в Беларуси, %	площадь охраняемых биотопов, га	доля от общей площади объекта ИС, %	
35	BY0000035	Polesye Valley of the Bug River	2014	23 159	3	14	40	27	3107,3	13,4	
36	BY0000036	Ushachskiye Ozyora	2016	4518,4	–	–	–	–	495,7	11,0	
37	BY0000037	Drozhbitka-Svina	2014	6662,7	1	4	23	15	4423,6	66,4	
38	BY0000038	Zachodniaja Biarezina	2014	8040,7	–	–	7	5	4042	50,3	
39	BY0000039	Volkhva	2014	8159,7	–	–	16	11	3733,8	45,8	
40	BY0000040	Divin-Vielikiy Lies	2014	20467,4	1	4	24	16	4906	24,0	
41	BY0000041	Garadzienskaya Svislach	2014	3193,8	2	9	11	7	511,8	16,0	
42	BY0000042	Khavanschyna	2014	16143,2	2	9	22	15	9519,5	59,0	
43	BY0000043	Ptich Floodplain	2014	12425,3	1	4	22	15	1765	14,2	
44	BY0000044	Arekhauskaye	2014	3814,1	1	4	31	21	730	19,1	
45	BY0000045	Lesnaya River	2015	8823,1	–	–	17	11	2107,8	23,9	
46	BY0000046	Strumenskiy	2016	8481,8	3	13	–	–	1553,2	18,3	
47	BY0000047	Kazyany	2014	27534,4	–	–	23	15	19966,3	72,5	
48	BY0000048	Liebiediny Mokh	2015	25747	–	–	23	15	20663,8	80,3	
49	BY0000049	Lva Floodplain	2014	17710,4	–	–	31	21	7578,1	42,8	
50	BY0000050	Prostyr	2014	10103,4	6	27	30	20	2496,3	24,7	
51	BY0000051	Stary Zhadzien	2014	17035,2	3	14	33	22	10615,3	62,3	
52	BY0000052	Staraya Vits	2014	38401,9	–	–	22	15	436,4	1,1	
53	BY0000053	Biarezina-Haina	2014	20128,6	–	–	30	20	12593,1	62,6	
54	BY0000054	Vydritsa	2014	22906,5	–	–	31	21	2235,9	9,8	
55	BY0000055	Vieluta	2014	53629,4	–	–	21	14	22983	42,9	
56	BY0000056	Turovskiy Lug	2014	145,6	–	–	21	14	126,5	86,9	
57	BY0000057	Sozh Floodplain	2014	8560,7	–	–	13	9	1940	22,7	
58	BY0000058	Syaliets	2014	18947,2	–	–	31	21	4865	25,7	
59	BY0000059	Schara Floodplain	2015	1502,2	–	–	7	5	1066,9	71,0	
60	BY0000060	Lower Prypiats	2014	218318,2	6	27	69	46	37914	17,4	
61	BY0000061	Marochna Swamp	2014	14104,6	–	–	14	9	3815,3	27,1	
62	BY0000062	Nalibokskaya Puscha	2014	81766,6	1	4	40	27	58937,8	72,1	
63	BY0000063	Ptich River Valley	2016	125,3	1	4	12	8	70,2	56,0	
64	BY0000064	Chyrvonaye	2014	30464	–	–	29	19	8144,3	26,7	
65	BY0000065	Barbastella	2015	6,7	–	–	2	1	2,1	31,3	
66	BY0000066	Khmelyovka	2015	680,4	1	4	3	2	464	68,2	
67	BY0000067	Lukovo	2015	1615,3	1	4	3	2	317,8	19,7	
68	BY0000068	Mukhovets Floodplain	2015	656,2	1	4	12	8	163,8	25,0	
69	BY0000069	Radostovskiy	2015	6785,1	1	4	19	13	2642,3	38,9	

70	BY0000070	Berezina Valley with Chernevskiy and Chernevichskiy Reserves	2015	21261,8	-	-	-	50	33	11707,9	55,1
71	BY0000071	Falichskiy Mokh	2015	1956,4	-	-	-	3	2	886,2	45,3
72	BY0000072	Gaby	2015	5914,4	-	-	-	2	1	4276,9	72,3
73	BY0000073	Izin	2015	1175,6	1	1	4	5	3	310,6	26,4
74	BY0000074	Yasen	2015	1015,8	-	-	-	3	2	634,1	62,4
75	BY0000075	Kopysh	2015	1232,2	-	-	-	3	2	970,9	78,8
76	BY0000076	Mateyevichskiy	2015	2020,6	-	-	-	5	3	1590,8	78,7
77	BY0000077	Omelyanskii	2015	2111,6	1	1	4	3	2	1860,7	88,1
78	BY0000078	Staritsa Reserve and Dnepr River Valley	2015	18655,9	2	2	9	43	29	10969,8	58,8
79	BY0000079	Zapolskiy	2015	807,4	-	-	-	5	3	644,8	79,9
80	BY0000080	Luninskiy	2015	9582	1	1	4	8	5	2197,9	22,9
81	BY0000081	Novogrudskiy	2015	1825,2	-	-	-	4	3	1611,9	88,3
82	BY0000082	Strelskiy	2015	13817	2	2	9	23	15	2347,85	17,0
83	BY0000083	Topila Bog	2015	33731,9	3	3	14	18	12	13353,5	39,6
84	BY0000084	Vydrenka-Bobrovina	2015	11538,2	-	-	-	15	10	4136,3	35,8
85	BY0000085	Kotra	2015	10626,6	3	3	14	19	13	9155	86,2
86	BY0000086	Slonimskiy	2015	4682,7	2	2	9	17	11	348,3	7,4
87	BY0000087	Stronga	2015	13704,3	1	1	4	19	13	1036,3	7,6
88	BY0000088	Babinovichskiy	2015	12507,1	-	-	-	21	14	8612,3	68,9
89	BY0000089	Buda-Koshelyovskiy	2015	7040,5	1	1	4	11	7	497,3	7,1
90	BY0000090	Yezerishche	2015	1732,9	1	1	4	19	13	128,6	7,4
91	BY0000091	Dolina Reki Oster	2015	3258,2	-	-	-	23	15	1929,8	59,2
92	BY0000092	Drissa River	2015	12400,8	1	1	4	23	15	5953,2	48,0
93	BY0000093	Losvido Lake	2015	1134,4	2	2	9	26	17	53,6	4,7
94	BY0000094	Yutskovskiy Spring and Ussa River	2015	101,4	-	-	-	14	9	73,1	72,1
95	BY0000095	Surmino	2015	2309,7	2	2	9	34	23	1658	71,8
96	BY0000096	Myortvoye Lake	2015	171,7	2	2	9	6	4	161,9	94,3
97	BY0000097	Pizhevka Riverhead	2016	1988,4	1	1	4	17	11	1807,4	90,9
98	BY0000098	Saryanka River	2016	3968,1	-	-	-	16	11	1949,5	49,1
99	BY0000099	Svolina River	2015	3964,8	-	-	-	23	15	662,6	16,7
100	BY0000100	Uzhitsa River	2015	2580,6	-	-	-	13	9	715	27,7
101	BY0000101	Yelenka	2015	5750,4	-	-	-	16	11	3452,2	60,0
102	BY0000102	Omgovichskiy	2015	2579,9	-	-	-	7	5	847,1	32,8
103	BY0000103	Besed' River Valley	2015	1258,4	-	-	-	23	15	564,7	44,9
104	BY0000104	Neshcherdo	2015	6607,7	-	-	-	25	17	2802,5	42,4
105	BY0000105	Bog Forest Complex in Krivinka River Valley	2015	1105,6	-	-	-	7	5	1019,7	92,2
106	BY0000106	Nishcha River	2015	2406,4	-	-	-	17	11	810,1	33,7
107	BY0000107	Svyatye Krinitsey	2015	2,6	-	-	-	-	-	2,6	100,0

Окончание табл. 2

Номер на карте	Код	Наименование	Год подачи заявки	Площадь, га	Биоразнообразие, охраняемое в рамках Бернской конвенции					доля от общей площади объекта ИС, %
					количество видов растений	доля от числа охран. (всего – 22) в Беларуси, %	количество видов животных	доля от числа охран. (всего – 150) в Беларуси, %	площадь охраняемых биотопов, га	
108	BY0000108	Bog Forest Area "Ushlovskoye - Bely Ostrov - Esmonovskiy Mokh"	2015	8962,2	–	–	19	13	6317,3	70,5
109	BY0000109	Vikhra River	2015	1403,8	2	9	20	13	678,5	48,3
110	BY0000110	Ovsyanka River Valley	2016	1551,6	–	–	28	19	998,8	64,4
111	BY0000111	Viliya River Valley	2015	3273,8	–	–	21	14	1273,2	38,9
112	BY0000112	Richi	2015	1209,7	–	–	8	5	865,9	71,6
113	BY0000113	Zaborovskiy Mokh	2015	1449,2	–	–	19	13	1047,7	72,3
114	BY0000114	Krivoye	2015	1136,5	–	–	14	9	760,2	66,9
115	BY0000115	Yanka	2015	5826	–	–	36	24	2625	45,1
116	BY0000116	Tyrnovichi	2015	1436,4	2	9	12	8	557,5	38,8
117	BY0000117	Belaya Rus	2015	4473,9	2	9	6	4	2963,2	66,2
118	BY0000118	Velkovskiy	2015	4831,9	2	9	37	25	1949,7	40,4
119	BY0000119	Treskovschina	2015	744,7	–	–	7	5	411,5	55,3
120	BY0000120	Bytenskiy	2015	2237,3	1	4	21	14	1328,7	59,4
121	BY0000121	Cherikovskiy Reserve and Sozh River Valley	2015	55266,5	5	23	44	29	28989,2	52,5
122	BY0000122	Pridvinye	2016	319,1	1	4	–	–	157,6	49,4
123	BY0000123	Velikiy Mokh Yukhovichskiy	2016	876,9	–	–	17	11	703,1	80,2
124	BY0000124	Dubovoye Bog	2016	12012,8	–	–	18	12	7731,5	64,4
125	BY0000125	Gusak	2016	5984,5	–	–	17	11	2049	34,2
126	BY0000126	Golubye Ozyora	2016	767,9	1	4	–	–	649	84,5
127	BY0000127	Beloye Lake (Azino)	2016	111,5	–	–	–	–	110,3	98,9
128	BY0000128	Dubatovskoye	2016	830,1	–	–	9	6	435,1	52,4
129	BY0000129	Yelovskiy	2016	961,1	–	–	27	18	552,8	57,5
130	BY0000130	Korytenskiy Mokh	2016	1416,2	–	–	17	11	1043,1	73,7
131	BY0000131	Lonno	2016	442,2	–	–	3	2	406,5	91,9
132	BY0000132	Moshno	2016	401,4	–	–	4	3	236,9	59,0
133	BY0000133	Chistik	2016	308	–	–	4	3	174,1	56,5
134	BY0000134	Sosno	2016	178,4	–	–	8	5	29	16,3
135	BY0000135	Vyshedskaya Nizina	2016	2620,5	–	–	18	12	1081,7	41,3
136	BY0000136	Verkhnevileyskiy	2016	960,2	–	–	17	11	431,9	45,0
137	BY0000137	Mitskevichskiy	2016	3025,8	–	–	–	–	1954,1	64,6
138	BY0000138	Checherskiy	2016	13821,4	3	14	40	27	6762,2	48,9
139	BY0000139	Beloye	2016	488,9	–	–	3	2	255,5	52,3
140	BY0000140	Chioroto Boloto	2016	2788,7	–	–	13	9	1017,7	36,5
141	BY0000141	Vilety	2016	8388	–	–	–	–	4260,1	50,8

142	BY0000142	Nioman River Valley	2016	42 206,7	–	–	–	13	9	19 131	45,3
143	BY0000143	Pronya River Valley	2016	7 296	–	–	–	7	5	4 457,6	61,1
144	BY0000144	Ubert River Valley	2016	3 707,4	–	–	–	1	1	2 841,8	76,7
145	BY0000145	Leichitskaya Ubert	2016	4 095,3	–	–	–	2	1	1 943,7	47,5
146	BY0000146	Lesnoye	2016	8 576,6	–	–	–	–	–	6 942,5	80,9
147	BY0000147	Manchitsy	2016	5 568	–	–	–	–	–	3 59,5	64,6
148	BY0000148	Naroch-Uzlyanka	2016	4 540,4	–	–	–	–	–	3 129,5	68,9
149	BY0000149	Dolgoye	2016	6 23,2	–	–	–	–	–	3 57,4	57,3
150	BY0000150	Sho Lake	2016	2 777,6	–	–	–	–	–	1 982,7	71,4
151	BY0000151	Orehovka	2016	3 53,1	–	–	–	–	–	233	66,0
152	BY0000152	Dnepr Floodplain	2016	29 467,5	–	–	–	9	6	18 072,5	61,3
153	BY0000153	Prilepskiy	2016	3 391,9	–	–	–	2	1	1 363,5	40,2
154	BY0000154	Ross-Nioman	2016	1 266	–	–	–	–	–	598,7	47,3
155	BY0000155	Setishche	2016	5 58,5	–	–	–	–	–	419	75,0
Candidate sites / Территории-претенденты											
156	BY0000156	Luchosa River Floodplain	2016	12 235,8	–	–	–	12	8	6 29,6	53,1
157	BY0000157	Krivaya River with the complex of Skarputevo springs	2016	1 184,6	–	–	–	4	3	2,5	5,4
158	BY0000158	Springs on Plisa	2016	46,1	–	–	–	–	–	246,4	35,1
159	BY0000159	Babonevskiy Ravines	2016	702,2	–	–	–	1	1	3 763,3	13,3
160	BY0000160	Ozyory	2016	28 342,3	2	9	–	24	16	6 383	54,4
161	BY0000161	Zhada Bog	2016	11 743	–	–	–	12	8	19 380,6	45,0
162	BY0000162	Lower Pripyat Valley	2016	43 109	4	18	–	62	41	418,1	23,6
Proposed sites / Предложенные территории											
163	BY0000163	Chigirinskoye Water Reservoir	2020	17 68,3	–	–	–	11	7	169,5	3,7
164	BY0000164	Dnepro-Braginskoye Water Reservoir	2020	9 41,9	–	–	–	–	–	1 391,2	4,7
165	BY0000165	Loktyshi Fish Farm	2020	4 574,2	–	–	–	6	4	2 246,9	7,6
166	BY0000166	Berezina Valley Bobruysk-Parichi	2020	29 666,4	1	4	–	22	15	5 35,9	2,6
167	BY0000167	Dnepr Valley Berezina-Kholmech	2020	29 561,7	2	9	–	33	22	5 195,6	11,8
168	BY0000168	Lower Berezina Valley	2020	20 958,9	–	–	–	25	17	14 53,7	8,9
169	BY0000169	Middle Dnepr Valley	2020	44 003,4	–	–	–	27	18	41 39,5	13,1
170	BY0000170	Lower Yaselda Valley	2020	16 335,1	–	–	–	23	15	221	15,6
171	BY0000171	Telekhany Bog and Forest Complex	2020	31 628,5	–	–	–	17	11	232,5	4,5
172	BY0000172	Fish farm Tremiya	2020	14 18,3	–	–	–	12	8	6 65,2	5,9
173	BY0000173	Krasnaya Sloboda Fish Farm	2020	5 114,9	–	–	–	9	6	–	–
174	BY0000174	Surazhskiy	2020	11 252,3	–	–	–	7	5	6 78,2	79,0
175	BY0000175	Yushkevichi	2020	119,3	–	–	–	1	1	4 324,6	51,1
176	BY0000176	Chistets	2020	8 58,2	2	9	–	1	1	73 130,7	84,3
177	BY0000177	Borovskoy	2020	8 470,6	–	–	–	–	–	91 893,9	57,8

Стратегия интеграции объектов Изумрудной сети в систему территориальной охраны природы Республики Беларусь включает следующие направления: создание заказников республиканского и местного значения; преобразование уже существующих ООПТ; паспортизация и взятие под охрану редких и типичных биотопов, мест произрастания охраняемых видов растений и мест обитания животных; распространение режима специальной охраны в соответствии с водным и лесным законодательством на объекты Изумрудной сети, не охваченные особой охраной; интеграция с Национальной экологической сетью.

План действий по интеграции объектов Изумрудной сети в систему территориальной охраны природы предполагает следующие мероприятия:

1) создать 2 заказника республиканского значения (в границах объектов ИС – BY0 000 152 Dnepr Flood-plain, BY0 000 176 Chistets);

2) создать 20 заказников местного значения (в границах объектов ИС – BY0 000 036 Ushachskiye Ozyora, BY0 000 039 Volkhva, BY0 000 049 Lva Floodplain, BY0 000 052 Staraya Vits, BY0 000 059 Schara Floodplain, BY0 000 063 Ptich River Valley, BY0 000 093 Losvido Lake, BY0 000 094 Yutskovskiy Spring and Ussa River, BY0 000 096 Myortvoye Lake, BY0 000 097 Pizhevka Riverhead, BY0 000 098 Saryanka River, BY0 000 105 Bog Forest Complex in Krivinka River Valley, BY0 000 109 Vikhra River, BY0 000 110 Ovsyanka River Valley, BY0 000 143 Pronya River Valley, BY0 000 150 Sho Lake, BY0 000 157 Krivaya River with the complex of Skarputevo springs, BY0 000 159 Babonevskiy Ravines, BY0 000 170 Lower Yaselda Valley, BY0 000 171 Telekhany Bog and Forest Complex, BY0 000 177 Borovskoy);

3) преобразовать 3 заказника местного значения в республиканские заказники с изменением границ (BY0 000 018 Golubitskaya Pushcha, BY0 000 048 Liebiediny Mokh, BY0 000 055 Vieluta);

4) преобразовать 5 заказников местного значения с приведением в соответствие с границами объекта ИС (BY0 000 040 Divin-Vielikiy Lies, BY0 000 044 Arekhauskaye, BY0 000 124 Dubovoye Bog, BY0 000 146 Lesnoye, BY0 000 148 Naroch-Uzlyanka);

5) провести паспортизацию редких и типичных биотопов, мест произрастания охраняемых видов растений и мест обитания животных (BY0 000 068 Mukhovets Floodplain, BY0 000 099 Svolna River, BY0 000 100 Uzhitsa River, BY0 000 127 Beloye Lake (Azino), BY0 000 164 Dnepro-Braginskoye Water Reservoir).

Также отмечено, что для 5 объектов изменение охранного статуса невозможно, поскольку территории являются производственными объектами (рыбхозы); территорию Полесского радиационно-экологического заповедника (BY0 000 060 Lower Prypiats) целесообразно перевести в фонд ООПТ в существующих границах.

Прогноз изменения площадей особо охраняемых природных территорий при реализации плана действий. При условии реализации всех предложений по интеграции Изумрудной сети в национальную систему ООПТ увеличение площади природно-заповедного фонда Беларуси составит 307,8 тыс. га (0,14 % площади территории Беларуси), в том числе по областям: Брестская – 130,1 тыс. га (+3,97 % площади области), Витебская – 81,7 тыс. га (+2,02 %), Гомельская – 70,5 тыс. га (+1,76 %), Гродненская 0,8 – тыс. га (+0,03 %), Минская – 11,5 тыс. га (+0,29 %), Могилевская – 13,0 тыс. га (+0,45 %) (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Прогнозируемая оценка изменения площадей природно-заповедного фонда при реализации предложений по интеграции Изумрудной сети в национальную систему ООПТ

Область	Особо охраняемые природные территории						
	заказники местного значения		заказники республиканского значения		всего		
	количество	площадь, га	количество	площадь, га	количество	площадь, га	%, от площади
Брестская	6	76 511,20	1	53 629	7	130 140,2	3,97
Витебская	3	52 267,8	1	29 468	4	81 735,80	2,02
Гомельская	10	26 576,10	2	43 940,2	12	70 516,30	1,76
Гродненская	–	873,9	2	0	2	873,9	0,03
Минская	3	5625,3	2	5936,5	5	11 561,80	0,29
Могилевская	3	8 929,00	1	4082,5	4	13 011,50	0,45
Всего	25	170 783,3	9	137 056,2	34	307 839,5	0,14

Заключение. В настоящее время Изумрудная сеть Республики Беларусь состоит из 155 объектов, утвержденных Постоянным комитетом Бернской конвенции с официальным статусом территорий особого природоохранного значения (Areas of Special Conservation Interest), 7 потенциальных и 15 новых территорий, предложенных к номинации. Последнее обновление сети состоялось в 2021 г., после обновления общая площадь утвержденных объектов (155) составляет 2 326 588,22 га, площадь потенциальных объектов (7) – 97 363,0 га, новых номинируемых территорий – 206 672,0 га. Таким образом, общая площадь Изумрудной сети составит 2 630 623,22 га. В границах этих объектов доля исчезающих типов естественной среды обитания (с использованием классификации местообитаний EUNIS), указанных в резолюции № 6 (1998) Бернской конвенции составляет в среднем 44,7 %. Также в границах объектов ИС в Беларуси охраняется 22 вида сосудистых растений и 150 видов животных, указанных в резолюции № 4 (1996) Бернской конвенции.

Проанализирована существующая сеть объектов ИС на территории Республики Беларусь на наличие национального и международного природоохранного статуса. Дана оценка существующего уровня охраны объектов ИС, определены территории с недостаточным уровнем охраны и разработаны предложения по их сохранению. Выявлено, что 134 объекта ИС обладают высоким уровнем охраны на национальном уровне (являются ООПТ, либо входят в НЭС), 2 – достаточным, 9 – приемлемым, 2 – низким, 11 – недостаточным, у 19 территорий отсутствует статус охраны на национальном уровне.

Разработаны стратегия и план действий по интеграции принципов ИС в систему территориальной охраны природы Республики Беларусь. Стратегия интеграции объектов ИС в систему территориальной охраны природы Республики Беларусь включает следующие направления: создание заказников республиканского и местного значения; преобразование уже существующих ООПТ; паспортизация и взятие под охрану редких и типичных биотопов, мест произрастания охраняемых видов растений и мест обитания животных; распространение режима специальной охраны в соответствии с водным и лесным законодательством на объекты ИС, не охваченные особой охраной.

План действий предполагает ряд конкретных предложений по созданию двух заказников республиканского и 20 заказников местного значения, преобразованию 3 заказников местного значения в республиканские заказники, преобразованию 5 заказников местного значения с изменением границ, паспортизации редких и типичных биотопов, мест произрастания охраняемых видов растений и обитания животных для 5 территорий и прочие мероприятия. Полученные данные оформлены в виде аналитической записки и предложений и переданы в соответствующие природоохранные инстанции.

Благодарности. Научная работа выполнена при поддержке проекта «Полесье – дикая природа без границ: защита одного из крупнейших природных ландшафтов Европы».

Список использованных источников

1. Конвенция об охране дикой фауны, флоры и природных сред обитания в Европе // Биологические ресурсы. [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.sevin.ru/bioresrus/law/international/eu_wildlife_cons.html. – Date of access: 10.02.2021.
2. О присоединении Республики Беларусь к Конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Минск, 2013. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 08.02.2021.
3. Что такое «Изумрудная сеть» // BrestNatura.org. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brestnatura.org/ru/emerald/chto-takoe-izumrudnaya-set/>. – Дата доступа: 08.02.2021.
4. Emerald Network – General Viewer [Электронный ресурс] / European Environment Agency. Режим доступа: <https://emerald.eea.europa.eu/>. – Дата доступа: 10.02.2021.
5. EUNIS biodiversity database – find species, habitats and sites across Europe / European Environment Agency. – [Electronic resource]. – Mode of access: <http://eunis.eea.europa.eu/>. – Date of access: 10.02.2021.
6. Updated list of officially adopted Emerald sites (December 2019) // Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. – 43 p. – [Electronic resource]. – Mode of access: <https://rm.coe.int/updated-list-of-officially-adopted-emerald-sites-december-2019-/168098ef51>. – Date of access: 11.02.2021.
7. Updated list of officially nominated candidate Emerald sites (December 2019) // Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. – 56 p. – [Electronic resource]. – Mode of access: <https://rm.coe.int/updated-list-of-officially-nominated-candidate-emerald-sites-december-/168098ef50>. – Date of access: 11.02.2021.

8. Изумрудная сеть [Electronic resource] / Общественная охрана дикой природы. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://www.bahna.ngo/ru/zashchita-prav/izumrudnaya-set/>. – Дата доступа: 08.02.2021.
9. «Изумрудная сеть» в Беларуси: современное состояние и перспективы [Электронный ресурс] / Дикая природа Беларуси. – Минск, 2015. – Режим доступа: <https://www.wildlife.by/ecology/articles/>. – Дата доступа: 10.02.2021.
10. О реализации проекта «Изумрудная сеть. Фаза II» [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. – Минск, 2015. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/printv/ru/news-ru/view/o-realizatsii-proekta-izumrudnaja-set-faza-ii-1785/>. – Дата доступа: 08.10.2021.
11. Стратегия по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия на 2011-2020 гг.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 19 нояб. 2010 г., № 1707 // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – 2010. – № 743. – Минск, 2010.
12. Национальный план действий по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия на 2016-2020 гг.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 3 сент. 2015 г., № 743 // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2015.
13. Национальная стратегия развития системы ООПТ до 1 января 2030 г.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 2 июля 2014 г., № 649. – Минск, 2014.
14. Об экологической сети: Указ Президента Респ. Беларусь, 13 марта 2018 г., № 108. – Минск, 2018.
15. Проблемы интеграции Национальной экологической сети и Изумрудной сети Беларуси / Н. А. Юргенсон [и др.] // Природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 127–137.
16. Схема рационального размещения ООПТ республиканского значения до 2025 г.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 2 июля 2014 г., № 649. – Минск, 2014.
17. Об особо охраняемых природных территориях: Закон Респ. Беларусь, 15 нояб. 2018 г., № 150-З. – Минск, 2018.
18. Разработать стратегию и план действий – дорожную карту по интеграции принципов Изумрудной сети в систему территориальной охраны природы Республики Беларусь: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т эксперимент. ботаники НАН Беларуси; рук. Н. А. Зеленкевич. – Минск, 2021. – 70 с. – № ГР 20201812.
19. Редкие и типичные биотопы в проектном регионе Припятское Полесье: инвентаризация, разработка стратегии их охраны, основа для расширения Изумрудной сети: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т эксперимент. ботаники НАН Беларуси; рук. Д. Г. Груммо. – Минск, 2021. – 68 с. – № ГР 20200209.

Поступила 15.02.2022

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 597.551.4 :591.65 (476.7)

Ю. И. Охременко, Е. С. Гайдученко

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: okhremenko.yulia@yandex.by

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АМЕРИКАНСКОГО СОМИКА *AMEIURUS NEBULOSUS* (LESUEUR, 1819) В ВОДОЕМАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ

Аннотация. Представлены данные о популяционно-биологических показателях (линейные размеры, масса, половой и возрастной состав) американского сомика в водоемах юго-запада Беларуси. Проведенные исследования показали, что предельные значения меристических признаков американского сомика из водоемов нативного ареала заметно отличались от таковых у особей из приобретенного ареала (водоемы юго-запада Беларуси). Сравнение пластических признаков показало, что у самцов достоверно меньшие значения по одному показателю (длина вентрального плавника) и большие по двум показателям (антедорсальное расстояние и длина основания дорсального плавника), чем у самок.

Ключевые слова: чужеродные виды, *Ameiurus nebulosus*, американский сомик, размерно-возрастная характеристика, меристические и пластические признаки

Yu. I. Okhremenko, H. S. Gajduchenko

Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: okhremenko.yulia@yandex.by

MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF THE BROWN BULLHEAD *AMEIURUS NEBULOSUS* (LESUEUR, 1819) IN THE WATER BODIES OF THE SOUTH-WEST OF BELARUS

Abstract. The article presents the results of the study on population and biological parameters (linear dimensions, weight, sex and age composition) of the brown bullhead in the water bodies of the southwestern Belarus. The conducted studies showed that the limit values of meristic characters of the brown bullhead from the water bodies of the native range of Belarus differed from those of individuals from the non-native range (water bodies of the southwest). A comparison of morphometric characteristics showed that males have lower values for one parameter (ventral fin length) and higher values for two parameters (antedorsal distance and dorsal fin length) than females of the native range of Belarus differed from those of individuals from the non-native range (water bodies of the southwest). Comparison of plastic characteristics showed that males have lower values for 1 parameter (ventral fin length) and higher values for 2 parameters (predorsal distance and dorsal fin length) than females.

Keywords: alien species, *Ameiurus nebulosus*, brown bullhead, size and age characteristics, morphometric and meristic characters

Ю. І. Ахрэменка, А. С. Гайдучэнка

Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,
e-mail: okhremenko.yulia@yandex.by

МАРФАМЕТРЫЧНЫЯ ПАКАЗЧЫКІ АМЕРЫКАНСКАГА СОМІКА *AMEIURUS NEBULOSUS* (LESUEUR, 1819) У ВАДАЁМАХ ПАЎДНЁВА-ЗАХАДНЯЙ ЧАСТКІ БЕЛАРУСІ

Анатацыя. Прадстаўлены даныя аб папуляцыйна-біялагічных паказчыках (лінейныя памеры, маса, палавы і ўзроставы склад), амерыканскага соміка ў вадаёмах паўднёвага захаду Беларусі. Праведзеныя даследаванні паказалі, што гранічныя значэнні мерыстычных прыкмет амерыканскага соміка з вадаёмаў натыўнага арэала Беларусі адрозніваліся ад такіх у асобін з набытага арэала (вадаёмы паўднёвага захаду). Параўнанне пластычных прыкмет паказала, што ў самцоў выяўляюцца меншыя значэнні па аднаму паказчыку (даўжыня вентральнага плаўніка) і большыя па двух паказчыках (антэдарсальнае значэнне і праява дарсальнага плаўніка), чым у самак.

Ключавыя словы: чужародныя віды, *Ameiurus nebulosus*, амерыканскі сомік, размерна-узроставая характарыстыка, мерыстычныя і пластычныя прыкметы.

Введение. Одним из важнейших и наименее изученных факторов изменения состояния водных экосистем является интродукция чужеродных видов [1, 2]. Меньше чем за одно столетие в Европу были интродуцированы неаборигенные виды рыб как преднамеренно, так и случайно [3]. Чужеродные виды могут повлиять на структуру гидробиоценоза через конкуренцию за пищевые ресурсы, хищничество, привнесение специфической паразитофауны и т.д., нарушая сложившиеся природные взаимодействия [4].

Американский сомик *Ameiurus nebulosus* (Lesueur, 1819) – один из представителей чужеродных видов рыб, был завезен в Европу из Северной Америки. С 1871 г. *A. nebulosus* широко рас-

пространен в таких странах Европы, как Франция, Германия, Бельгия [5–8]. Впоследствии в первой половине XX в. вид расселился в Венгрии, Румынии, бывшей Чехословакии и водоемах Закарпатья [9–12].

В 1935 г. завезен из Германии в пределы западных областей БССР [13]. В середине 50-х годов XX в. встречался в отдельных озерах и прудах Брестской области [14]. В настоящее время на территории Беларуси распространен в большинстве водоемов Брестской области [15–17].

Согласно ряду научных работ [11], американский сомик способен оказывать значительное негативное влияние на биотическую составляющую экосистем пресных водоемов приобретенного ареала. В 1951 г. в Беларуси была опубликована единственная монография М. Е. Макушка, посвященная биологическим особенностям и хозяйственному значению американского (карликового) сомика [14]. Современное изучение данного вида в водных объектах Беларуси необходимо для установления состояния его популяции на территории республики и выявления характера влияния данного чужеродного вида на аборигенную фауну.

Таким образом, цель данной статьи – анализ популяционно-биологических показателей (линейные размеры, масса, половой и возрастной состав) американского сомика в водоемах юго-запада Беларуси.

Материалы и методы. В ноябре 2020 г. нами были обловлены 6 водоемов, в которых обитает американский сомик. Все водоемы, на которых проводился отлов, находятся на территории Брестской области: озера Ореховское, Олтушское и пруд Карпин (Малоритский район), озера Каташи, Верхолесье и мелиоративный канал Каташи (Кобринский район).

Сбор материала проведен на глубине от 30 см до 1 м. В качестве орудия лова использовали экспериментальные ловушки зонтичного типа на 4 входа из сетного полотна размером 80 × 80 см, размер ячеей – 0,5 см.

Обработку материала производили в лабораторных условиях. Определяли массу, пол и возраст особей. Возраст определяли по годовым кольцам на позвонках [18]. Морфометрические измерения рыбы проводили в соответствии со стандартными ихтиологическими методиками [19]. Данные статистически обрабатывались в программе Statistica 6.0. Проводили вычисления

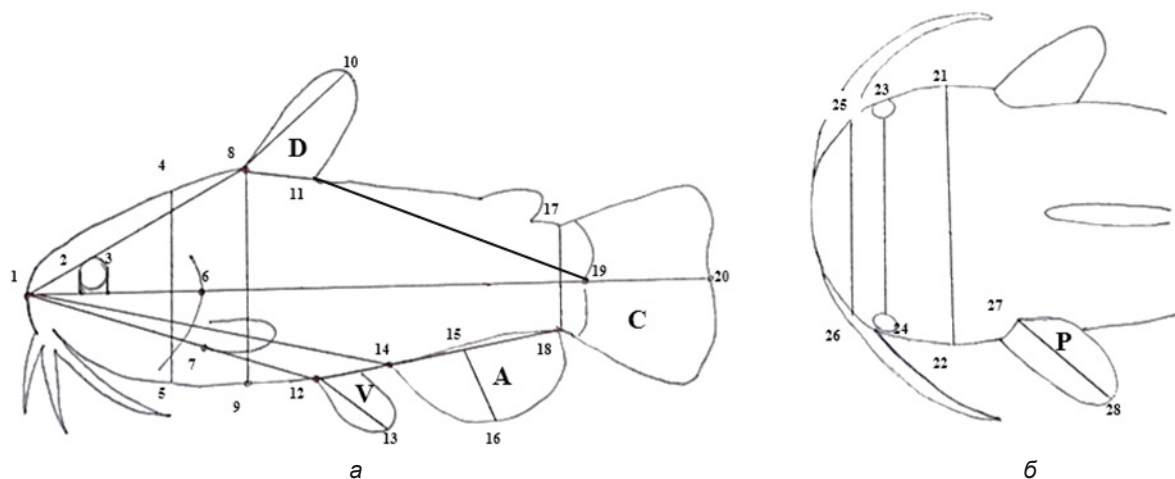


Рис. 1. Схематическое изображение морфометрических признаков сбоку (а) и сверху (б): *D* – количество лучей в дорсальном плавнике; *A* – количество лучей в анальном плавнике; *P* – количество лучей в пектральных плавниках; *V* – количество лучей в вентральных плавниках; *C* – количество лучей в каудальном плавнике; 1–19 – *l*, длина тела без хвоста; 8–9 – *H*, наибольшая высота тела; 17–18 – *h*, наименьшая высота тела; 1–8 – *aD*, антедорсальное расстояние; 11–19 – *pD*, постдорсальное расстояние; 1–7 – *aP*, антепектральное расстояние; 1–12 – *aV*, антевентральное расстояние; 1–14 – *aA*, антеанальное расстояние; 29–19 – *pl*, длина хвостового стебля; 7–12 – *PV*, пектровоентральное расстояние; 12–14 – *VA*, вентроанальное расстояние; 8–11 – *ID*, длина основания дорсального плавника; 8–10 – *hD*, высота дорсального плавника; 14–18 – *IA*, длина основания анального плавника; 15–16 – *hA*, высота анального плавника; 27–28 – *IP*, длина пектрального плавника; 12–13 – *IV*, длина вентрального плавника; 19–20 – *IC*, длина каудального плавника; 1–6 – *c*, длина головы; 21–22 – *ic*, ширина головы; 1–2 – *r*, длина рыла; 2–3 – *o*, диаметр глаза; 3–6 – *op*, заглазничный отдел головы; 25–26 – *or*, расстояние между углами рта; 4–5 – *hc*, высота головы у затылка; 23–24 – *io*, ширина лба; *cir* (1–4) – длина усов

средней арифметической (M), ее ошибки (m) и границ вариации признаков (lim). При оценке различий пластических признаков самцов и самок американского сомика использовали непараметрический критерий Манна–Уитни. Различия признавали достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$. Всего было проанализировано 5 меристических и 30 пластических признаков (рисунок).

Значения всех пластических признаков приведены в процентах по отношению к длине тела особей без хвостового плавника, характерных для туловищного отдела и по отношению к длине головы, характерных для головного отдела.

Результаты и их обсуждение. Всего было исследовано 108 особей американского сомика. Из них 58 самок и 50 самцов. Данные линейно-весовых показателей представлены в табл. 1.

Таблица 1. Линейно-весовые показатели *A. nebulosus* в уловах экспериментальными ловушками зонтичного типа в водоемах юго-запада Беларуси

Название	Количество экземпляров, n	Длина, мм		Масса, г	
		lim	$M \pm m$	lim	$M \pm m$
Оз. Олтушское	22	130–203	$154,9 \pm 3,29$	24,72–107,63	$39,09 \pm 3,64$
Оз. Ореховское	26	90–170	$128,50 \pm 5,70$	7,39–44,52	$22,56 \pm 2,58$
Пруд Карпин	25	118–157	$138,4 \pm 2,14$	18,31–46,02	$29,79 \pm 1,52$
Оз. Каташи	4	102–135	$121,43 \pm 3,85$	13,34–26,15	$20,17 \pm 1,69$
Оз. Верховесье	4	120–150	$130,25 \pm 6,74$	16,85–36,98	$23,64 \pm 4,57$
Мелиоративный канал Каташи	24	144–206	$181,5 \pm 3,68$	35,39–126,64	$80,39 \pm 5,02$

Согласно литературным данным, максимальная длина тела американского сомика в водоемах нативного ареала составляет 500 мм, массой тела до 3000 г [20], в водоемах центральной Европы максимальная длина тела этого вида составляет 200–250 мм и максимально известная масса тела – 500 г [21].

По нашим данным наибольшая длина и масса тела была отмечена у особей из оз. Олтушское и мелиоративного канала Каташи (203 мм, 107,63 г и 206 мм, 126,64 г соответственно), что значительно меньше длины и массы в водоемах нативного ареала.

Данные по продолжительности жизни сомика американского у разных авторов существенно отличаются. По данным одних авторов американский сомик живет не более 5 лет, по другим – до 9 [13, 14]. В результате определения возраста и распределения по возрастным группам всех отловленных особей оказалось, что американский сомик в наших уловах представлен пятью возрастными группами, начиная с двухлеток (группа 1+) и заканчивая шестилетками (группа 5+). Распределение особей в отдельных пробах по возрастным группам в указанных пределах приведено в табл. 2.

Таблица 2. Возрастной состав *A. nebulosus* в уловах экспериментальными ловушками зонтичного типа в водоемах юго-запада Беларуси

Название	Количество экземпляров, n	Возрастные группы				
		1+	2+	3+	4+	5+
Оз. Олтушское	22	–	50	31,82	13,64	4,54
Оз. Ореховское	26	50	7,69	19,23	23,08	–
Пруд Карпин	25	4	32	52	12	–
Оз. Каташи	7	28,57	71,43	–	–	–
Оз. Верховесье	4	25	75	–	–	–
Мелиоративный канал Каташи	24	–	4,17	25	41,66	29,17
Всего	108	17	30	31	22	8
Всего, %		15,74	27,78	28,7	20,37	7,41

Наибольший процент трехлеток (группа 2+) составил 50, 71,43 и 75 % от общего улова для озер Олтушское, Каташи и Верховесье соответственно. Двухлетки (группа 1+) 50 % и четырехлетки (группа 3+) 52 % от общего улова составляли особи оз. Ореховское и пруда Карпин.

Основную массу особей, выловленных в мелиоративном канале, составляли пятилетки (группа 4+) 41,66 % и шестилетки (группа 5+) 29,17 % от общего улова.

В целом в процентном соотношении основу улова американского сомика составили особи четырехлетнего (группа 3+) и трехлетнего возраста (группа 2+). Всего в данные возрастные группы было отнесено 31 особь или 28,7 % и 30 особей или 27,78 % от общей численности соответственно. Пятилетние особи (группа 4+) составляют 22 особи или 20,27 % от общей численности. На остальные возрастные группы приходилось 23,15 % от общей численности (табл. 2).

На основе полученных данных по размерно-возрастной характеристике американского сомика был рассчитан прирост рыбы (Δl и ΔW) в каждой возрастной группе. Данные табл. 3 показывают, что американский сомик растет медленно, достигая 201,5 мм средней длины только в возрасте неполных шести лет.

Т а б л и ц а 3. Годовые приросты длины и массы *A. nebulosus* в уловах экспериментальными ловушками зонтичного типа в водоемах юго-запада Беларуси

Возрастные группы	Количество экземпляров, <i>n</i>	<i>l</i> , мм		<i>W</i> , г	
		<i>M</i> ± <i>m</i>	Δl	<i>M</i> ± <i>m</i>	ΔW
1+	17	104,71±2,58	104,71	12,02±0,93	12,02
2+	30	135,59±1,88	30,88	26,52±0,98	14,5
3+	31	150,94±1,88	15,38	37,99±2,08	11,47
4+	22	171,95±2,72	21,01	58,74±4,27	20,75
5+	8	201,5±1,15	29,55	109,36±4,16	50,62

П р и м е ч а н и е. *l* – длина, *W* – масса.

Из полученных данных следует, что прирост длины тела у американского сомика в первый и второй годы жизни происходит более интенсивно и составляет в возрасте 1+ (двухлетки) – 104,71 мм. Начиная с четырехлетнего возраста (3+) рост особей замедляется до 15,38 мм в год. В последующие же годы, начиная с пятилетнего возраста, темп роста тела в длину повышается: годовые приросты тела возрастают. Так, прирост пятилеток (4+) составляет 21,01 мм в год, шестилеток (5+) – 29,55 мм в год.

Средние годовые нарастания массы тела в течение первых двух лет увеличиваются. На четвертом году (3+) темп нарастания массы тела, как и длины несколько замедляется, составляя в среднем 11,47 г за год. Начиная с пятого года жизни (4+), годовые нарастания массы тела снова повышаются и к шестилетнему возрасту (5+) прирост массы составляет 50,62 г.

Меристические признаки особей, отловленных в водоемах Брестской области (наши данные, Беларусь), существенно не отличались от таковых у особей из оз. Олтушское, исследованных ранее в середине XX в. М. Е. Макушом [14]. В то же время предельные значения меристических признаков американского сомика из водоемов нативного ареала заметно отличались от таковых у особей из других мест обитания, в том числе и у изученных нами. В частности, это касается анального и каудального плавников (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Меристические признаки *A. nebulosus* естественного и приобретенного ареалов

Регион		D	P	V	A	C	Источник
Естественный ареал	Северная Америка	16–7	18	8	21–24	18–19	[20]
Приобретенный ареал (Украина)	Украина, Закарпатье	16–7	17–9	–	18–22	–	[22]
Приобретенный ареал (БССР, 1951 г.)	Оз. Олтушское	16–7	17–9	6–8	19–22	–	[14]
Приобретенный ареал (Беларусь)	Оз. Олтушское	16–7	16–8	6–8	17–20	15–18	Наши данные
	Оз. Ореховское	16–7	16–8	6–8	16–20	14–18	
	Пруд Карпин	16	17–9	6–8	17–20	15–18	
	Оз. Каташи	16	16–8	7–8	18–21	17–19	
	Оз. Верхолесье	16	17–8	8	20–22	18	
	Мелиоративный канал Каташи	16–7	16–8	7–9	16–21	15–18	

П р и м е ч а н и е. Полужирным шрифтом выделены наши данные.

Также в ходе исследований нами было проведено сравнение пластических признаков самцов и самок американского сомика из исследуемых водоемов (табл. 5). Для сравнения были выбраны особи двух возрастных групп: трехлетки (2+) и четырехлетки (3+).

Т а б л и ц а 5. Сравнительная характеристика пластических признаков самцов и самок американского сомика в водоемах юго-запада Беларуси

Признак	Самцы (n = 72)	Самки (n = 34)	p
	$M \pm m$	$M \pm m$	
Длина без С, см	119±2,27	117,79±2	0,8
<i>в % от длины без С</i>			
<i>H</i>	29,11±1,09	27,6±0,67	0,47
<i>iH</i>	25,61±1,18	25,56±0,78	0,09
<i>h</i>	15,54±3,38	14,67±2,25	0,58
<i>ih</i>	5,53±1,25	5,0±0,87	0,45
<i>aD</i>	53,89±1,56	50,92±1,59	0,05
<i>pD</i>	74,69±2,65	72,16±2,14	0,5
<i>aP</i>	33,36±1,26	31,93±1,25	0,97
<i>aV</i>	67,22±2,77	65,17±1,98	0,15
<i>aA</i>	91,60±2,85	87,32±2,83	0,23
<i>pl</i>	22,89±0,65	22,15±0,72	0,82
<i>P-V</i>	35,25±1,27	34,91±1,19	0,68
<i>V-A</i>	25,82±1,03	25,05±1,37	0,6
<i>ID</i>	12,11±0,42	11,15±0,34	0,01
<i>hD</i>	21,7±0,8	20,81±0,79	0,57
<i>IA</i>	33,99±1,23	31,70±1,05	0,08
<i>hA</i>	17,48±0,6	16,63±0,56	0,67
<i>IP</i>	21,78±0,79	21,66±0,71	0,12
<i>IV</i>	17,35±0,83	18,26±0,61	0,05
<i>IC</i>	28,68±1,11	27,23±0,9	0,73
<i>c</i>	42,22±1,17	41,1±1,41	0,55
<i>% от длины головы</i>			
<i>ic</i>	9,31±0,27	8,92±0,33	0,84
<i>r</i>	8,24±0,27	7,98±0,31	0,87
<i>o</i>	2,01±0,07	1,92±0,08	0,55
<i>op</i>	6,60±1,18	6,42±0,23	0,69
<i>or</i>	6,42±0,29	6,13±0,26	0,54
<i>hc</i>	6,94±0,29	6,5±0,27	0,96
<i>io</i>	5,72±0,29	5,54±0,22	0,45
<i>Cir-1</i>	6,44±0,25	6,26±0,22	0,8
<i>Cir-2</i>	12,51±0,59	12,68±0,32	0,59
<i>Cir-3</i>	8,26±0,46	8,01±0,27	0,66
<i>Cir-4</i>	5,43±0,22	5,25±0,19	0,77

П р и м е ч а н и е. Полужирным шрифтом выделены значения *p* достоверные при $p \leq 0,05$.

Существенных статистически значимых различий между пластическими признаками самцов и самок не обнаружено, за исключением антедорсального расстояния, длины основания дорсального плавника (значения у самок достоверно ниже, чем у самцов) и длины вентрального плавника (у самцов достоверно ниже, чем у самок).

Закключение. Исследования морфометрических показателей американского сомика, обитающего в водоемах юго-запада Беларуси, показали, что наибольшими размерами (масса и длина тела) характеризуются особи из оз. Олтушское и мелиоративного канала Каташи (Малоритский район).

Установлено, что сомик американский в водоемах юго-запада Беларуси представлен пятью возрастными группами. По нашим данным американский сомик растет медленно, достигая 201,5 мм средней длины только в возрасте неполных шести лет. Прирост длины и массы тела

у американского сомика наиболее интенсивно происходит в первый и второй годы жизни и составляет в возрасте 1+ (двухлетки) – 104,74 мм и 12,02 г. Начиная с четырехлетнего возраста (3+) рост особей замедляется, что обусловлено началом репродуктивного периода, который наступает на 3–4-м году жизни. В последующие же годы, начиная с пятилетнего возраста, годовые приросты снова возрастают.

Полученные значения меристических признаков американского сомика на территории Беларуси с учетом опубликованных ранее сведений в целом входят в диапазоны значений, показанных для вида в приобретенном ареале (на примере из Закарпатской области Украины), за исключением количества лучей в пектральных и анальном плавниках. Однако предельные значения меристических признаков американского сомика из водоемов нативного ареала достоверно отличались от наших данных. В частности, это касается меньшего количества лучей в анальном и каудальном плавниках.

В ходе сравнения пластических признаков у американского сомика из водоемов юго-запада Беларуси установлено, что у самцов достоверно меньшие значения по одному показателю (длина вентрального плавника) и большие по двум показателям (антедорсальное расстояние и длина основания дорсального плавника), чем у самок.

Список использованных источников

1. Non-indigenous crayfish threaten North American freshwater biodiversity: lesson from Europe / D. M. Lodge [et al.] // Fisheries. – 2000. – Vol. 25, N 8. – P. 7–20.
2. Biotic Invasion: Causes, Epidemiology, Global Consequences and Control. Issues in Ecology / R. N. Mack [et al.] // Biotic Invasion: Causes, Epidemiology, Global Consequences and Control. Issues in Ecology. – 2000. – Vol. 5. – P. 1–19.
3. To be, or not to be, a non-native freshwater fish? / G. H. Copp [et al.] // J. Appl. Ichthyol. – 2005. – Vol. 4. – P. 242–262.
4. Crivelli, A. J. Are fish introductions a threat to endemic freshwater fishes in the northern Mediterranean region? / A. J. Crivelli // Biol. Conserv. – 1995. – Vol. 72. – P. 311–319.
5. Vivier, P. Poissons et crustacés d'eau douce acclimatés en France en eaux libres depuis le début du siècle / P. Vivier // Terre Vie. – 1951. – Vol. 98. – P. 57–82.
6. Schindler, O. Unsere Süßwasserfische / O. Schindler // Stuttgart: Kosmos. – 1953. – 222 p.
7. Spillmann, J. Faune de France / J. Spillmann // Poissons d'eau douce. – Paris, 1961. – Vol. 65. – 303 p.
8. Kendal, W. C. American catfishes: habits, culture and commercial importance / W. C. Kendal // Rep. U. S. Commn. Fish. – 1910. – Vol. 733. – 39 p.
9. Balon, E. Verzeichnis, Arten und quantitative Zusammen set zung sowie Veränderung der Ichthyofauna de Längs- und Querprofilis des tschechoslowakischen Donau abschnittes / E. Balon // Zool. Anz. – 1964. – Vol. 172, N 2. – P. 113–130.
10. Antonescu, C. S. Elemente noi în fauna apelor dulci din România / C. S. Antonescu // Volumul Jubiliar "Grigore Antipa". – 1938. – P. 85–91.
11. Holčík, J. The systematic status of bullhead (Rafinesque, 1820) (Osteichthyes: Ictaluridae) in Czechoslovakia / J. Holčík // Vest. Českoslov. Spol. Zool. – 1972. – Vol. 36. – P. 187–191.
12. Movchan, Yu. V. Fauna of Ukraine / Yu. V. Movchan // Vol. 8. Fishes. Part 3. – Kyiv: Naukovadumka, 1988. – 368 p.
13. Жуков, П. И. Рыбы Белоруссии / П. И. Жуков. – Минск: Наука и техника, 1965. – С. 339–344.
14. Макушок, М. Е. Карликовый сомик, его хозяйственное значение и биологические особенности / М. Е. Макушок. – Минск: Акад. наук БССР, 1951. – 64 с.
15. Охременко, Ю. И. Сведения о распространении инвазивного вида рыб американского сомика *Ameiurus nebulosus* (Lesueur, 1819) в водоемах Беларуси / Ю. И. Охременко, Е. С. Гайдученко // Актуальные проблемы экологии: сб. науч. ст. / М-во образования Респ. Беларусь, ГрГУ им. Янки Купалы, Гродн. обл. ком. природ. ресурсов и охраны окр. среды; редкол.: А. Е. Караевский (гл. ред.), Г. Г. Юхневич, И. М. Колесник. – Гродно: ГрГУ, 2021. – С. 43–44.
16. Ризевский, В. К. Чужеродные виды рыб Беларуси / В. К. Ризевский, И. А. Ермолаева // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы II междунар. науч.-практ. конф., Минск, Беларусь, 22–26 окт. 2012 г. Минск: Минститипроек, 2012. – С. 495–497.
17. Зубей А. В. Сомик американский (*Ictalurus nebulosus* (Lesueur, 1819)) – новый вид рыб ихтиофауны водоемов ГПУНП «Беловежская пуща» / А. В. Зубей // Беловежская пуща. Исследования. – 2009. – № 13. – С. 125–132.
18. Чугунова, Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб / Н. И. Чугунова. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1959. – 164 с.
19. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – М.: изд-во Пищ. пром-сть, 1966. – 372 с.
20. Scott, W. B. Freshwater fisher of Canada. Channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) / W. B. Scott, E. I. Grossman // Bull. Fish. res. board Canada. – 1973. – N 184. – P. 604–610.
21. First record of brown bullhead, *Ameiurus nebulosus* (Lesueur), in the Łyna River drainage basin (northeast Poland) / A. Kapusta [et al.] // Archives of Polish Fisheries. – 2010. – Vol. 18. – P. 261–265.
22. Fishes of the genus *Ameiurus* (Ictaluridae, Siluriformes) in the transcarpatian water bodies / Y. V. Movchan [et al.] // Vestnik zoologii. – 2014. – Vol. 48(2). – P. 149–156.

Поступила 28.01.2022

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 598.244.2, 661.164.22

П. А. Пакуль¹, М. Г. Дмитренко¹, С. Г. Кавитова², М. В. Тарантович¹

¹Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: anderer@tut.by

²ИПТУП «Риб-Фарма», Минск, Беларусь, e-mail: chematl@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЯЙЦАХ ЧЕРНОГО АИСТА (*CICONIA NIGRA*) В БЕЛАРУСИ

Аннотация. Черный аист (*Ciconia nigra*) – редкий охраняемый вид птиц, включенный в 3-ю категорию Красной книги Республики Беларусь. Его численность на территории Беларуси составляет 950–1300 пар. Авторы исследовали неоплодотворенные яйца черного аиста, собранные в период с 2012 по 2017 г., на содержание хлорорганических соединений. Исследование проводилось на территории заказника «Средняя Припять» (Брестская область), где наблюдается одна из самых больших плотностей гнездования черного аиста в Европе, Осиповичского района Могилевской области и Воложинского района Минской области. Выявлено содержание дихлордифенилтрихлорметилметана (далее ДДТ) в значительной концентрации и гексахлорана (далее ГХЦГ). Обсуждаются экспонированные дозы, возможные пути поступления пестицидов в организм и возможные сроки накопления ДДТ черными аистами.

Ключевые слова. Черный аист, *Ciconia nigra*, ДДТ пестициды, яйца

P. A. Pakul¹, M. G. Dmitrenok¹, S. G. Kavitava², M. V. Tarantovich¹

¹Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: anderer@tut.by

²FPTUE «REB PHARMA», e-mail: chematl@mail.ru

ORGANOCHLORINE PESTICIDES CONTENT IN BLACK STORK (*CICONIA NIGRA*) EGGS IN BELARUS

Abstract. The Black Stork (*Ciconia nigra*) is a rare protected species included in the Red Book of the Republic of Belarus. Its number is about 950–1300 pairs. In 2012–2017, we collected unfertilized eggs from the nests of the black stork during the ringing of chicks in the summer. The research was conducted on the territory of the “Middle Pripyat” nature reserve (Brest region), in the Osipovichi district (Mogilev region) and Volozhin district (Minsk region). The density of the black stork in the “Middle Pripyat” reserve is one of the highest in Europe – about 30 pairs per 100 square kilometers of forest. Significant concentration of Dichlorodiphenyltrichloroethane and Hexachlorocyclohexane were found in black stork eggs. Potential ways of contamination and the timing of accumulation of pesticides are described.

Keywords: Black Stork, *Ciconia nigra*, DDT contamination, eggs

П. А. Пакуль¹, М. Г. Дзмітронак¹, С. Г. Кавітава², М. В. Тарантовіч¹

¹Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,
e-mail: anderer@tut.by

²ЗВГУП «Рэб-Фарма», Мінск, Беларусь, e-mail: chematl@mail.ru

УТРИМАННЕ ХЛОРАОРГАНИЧНЫХ ЗЛУЧЭННЯЎ У ЯЙКАХ ЧОРНАГА БУСЛА (*CICONIA NIGRA*) У БЕЛАРУСІ

Анатацыя. Чорны бусел (*Ciconia nigra*) – рэдка ахоўны від птушак, які ўключаны ў 3-ю катэгорыю Чырвонай кнігі Рэспублікі Беларусь. Яго колькасць на тэрыторыі Беларусі складае 950–1300 пар. Аўтары даследавалі неаплодненыя яйкі чорнага бусла, сабраныя ў перыяд з 2012 па 2017 г., на ўтрыманне хлорарганічных злучэнняў. Даследаванне праводзілася на тэрыторыі заказніка «Сярэдняя Прыпяць» (Брэсцкая вобласць), дзе назіраецца адна з самых вялікіх шчыльнасцей гнездавання чорнага бусла ў Еўропе, Асіповіцкага раёна Могілёўскай вобласці і Валожынскага раёна Мінскай вобласці. Выяўлена ўтрыманне дыхлордыфенілтрыхлорметылметана (далей ДДТ) у значнай канцэнтрацыі і гексахлорана (далей ГХЦГ). Абмяркоўваюцца экспанаваныя дозы, магчымыя шляхі паступлення пестыцыдаў у арганізм і магчымыя тэрміны назапашвання ДДТ чорнымі бусламі.

Ключавыя словы: чорны бусел, *Ciconia nigra*, пестыцыды ДДТ, яйкі

Введение. Инсектицидные свойства ДДТ были открыты в 1939 г. [1]. После этого открытия в мире начато широкое применение данного пестицида в качестве средства борьбы с вредителями сельского хозяйства. Однако позже было выявлено серьезное негативное влияние этого соединения не только на вредителей, против которых он применялся, но и на другие биологические объекты [2]. Поэтому в СССР использование ДДТ и ДХЦГ запрещено с 70-х годов XX века [3]. Однако в некоторых странах он производится и применяется и в настоящее время. ДДТ включен в Приложение В Стокгольмской конвенции по стойким органическим загрязнителям [4]. Известно воздействие ДДТ на репродуктивную систему птиц [5]: ДДТ утончает стенку скорлупы

и приводит к гибели кладок. Вопрос влияния хлорорганических соединений в яйцах черного аиста (*Ciconia nigra*) впервые был изучен в Латвии [6], где была обнаружена угроза высоких концентраций ДДТ для размножения черного аиста.

Черный аист – редкий вид птиц, относящийся к 3-й категории Красной книги Республики Беларусь [7]. Этот вид является дальним мигрантом, места зимовки которого располагаются в центральной части Африки, где продолжается использование ДДТ. Это повышает риск накопления пестицидов в организме гнездящихся в Беларуси черных аистов. В настоящее время европейская часть популяции вида относительно стабильна, но имеет тенденцию к снижению и вызывает опасения [8]. В Беларуси популяция черного аиста также относительно стабильна, но в последние годы состояние становится менее благополучным [9].

Материалы и методы. Для исследования содержания хлорорганических соединений собирались неоплодотворенные яйца черного аиста в центральной и южной частях Республики Беларусь (рис 1).

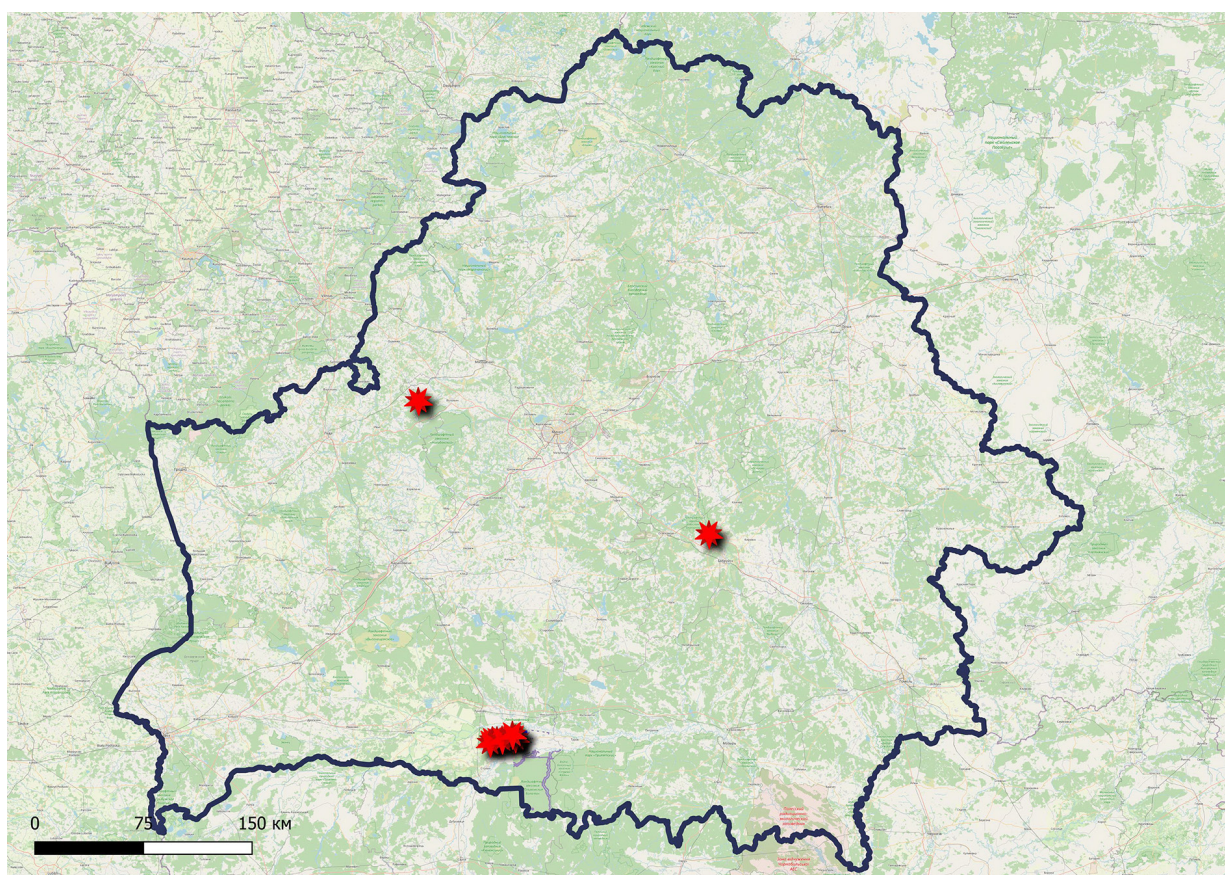


Рис. 1. Расположение мест сбора неоплодотворенных яиц черного аиста

Материал собирался в рамках исследовательской программы по мониторингу во время плановой инспекции охраняемых гнезд черного аиста. С целью минимизации фактора беспокойства для птиц в период размножения гнезда посещались лишь однократно, в период проведения работ по кольцеванию птенцов (возраст 24–45 дней). Неоплодотворенные яйца обнаружены в 10 гнездах черного аиста. Из них 8 гнезд располагались на территории заказника «Средняя Припять», расположенном в Столинском районе Брестской области (N 52° 05' E 27° 05'), одно гнездо в Воложинском районе Минской области (N 54° 07' E 26° 09'), одно в Осиповичском районе Могилевской области (N 53° 20' E 28° 53'). Всего отобрано 19 образцов в период с 2012 по 2017 г. В 3 случаях в качестве образцов была собрана только скорлупа, жидкая фракция яйца была утеряна до момента сбора образцов. На некоторых гнездах удалось собрать образцы несколько

раз за весь период исследования. Содержание пестицидов в яйцах черного аиста анализировали отдельно для скорлупы и самого содержимого яйца (желток+белок) при помощи газового хроматографа HP 6890 System с детектором электронного захвата. Для разделения экстракта использовали колонки HP-5MS, длиной 30 м, внутренним диаметром 0,25 мм. Степень извлечения определяли посредством прямого ввода стандартных растворов в растворитель. Калибровку хроматографа проводили методом внешнего стандарта. Государственные стандартные образцы (ГСО) хлорорганических пестицидов (2,4-ДДТ, 4,4-ДДТ, 2,4-ДДД, 4,4-ДДД, 2,4-ДДЕ, 4,4-ДДЕ, гептахлора, α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, альдрина, диэldrина) использовали в качестве образцов для калибровки хроматографа. За результат измерения (нг/мг) принимается среднее арифметическое трех параллельных измерений. Статистическая обработка проводилась стандартными методами.

Результаты и их обсуждение. Практически во всех образцах были обнаружены ДДТ и его метаболиты. Результаты исследования представлены в табл. 1 и 2. В желтке содержание хлорорганических соединений ($608,309 \pm 187,22SD$ нг/мг) было достоверно ($P = 0,0124$) больше, чем в скорлупе ($179,761 \pm 67,95SD$ нг/мг). В одном из образцов был также выявлен гексахлоран в концентрации 3,72 нг/мл.

Таблица 1. Концентрация хлорорганических соединений во внутреннем содержимом яиц черного аиста

Номер образца	Гнездо	Год	Концентрация ДДТ	Концентрация ДДД + ДДЕ	Концентрация хлорорганических соединений
1	CN1	2014	8,5106	320,9726	329,4833
2	CN2	2015	0,0000	22,2510	22,2510
3	CN3	2012	0,0000	2663,1579	2663,1579
4	CN4	2013	99,4792	1754,6875	1854,1667
5	CN5	2013	6,6548	1108,6957	1115,3505
6	CN6	2013	0,0000	517,9856	517,9856
7	CN7	2013	5,5866	742,5870	748,1736
8	CN8	2014	3,9063	29,1667	33,0729
9	CN8	2014	4,8187	167,2786	172,0973
10	CN5	2012	4,6021	8,9334	13,5355
11	CN9	2014	4,1520	112,7258	116,8777
12	CN9	2014	0,0000	255,6103	255,6103
13	CN4	2016	0,0000	970,0000	970,0000
15	CN7	2017	4,9277	739,1570	744,0847
16	CN4	2017	0,0000	117,2719	117,2719
19	CN10	2017	6,1926	49,9121	59,8203

Таблица 2. Концентрация хлорорганических соединений в скорлупе яиц черного аиста

Номер образца	Гнездо	Год	Концентрация ДДТ	Концентрация ДДД + ДДЕ	Концентрация хлорорганических соединений
1	CN1	2014	0,0000	0,0000	0,0000
2	CN2	2015	0,0000	13,1004	13,1004
3	CN3	2012	0,0000	0,0000	0,0000
4	CN4	2013	4,4776	271,6418	276,1194
5	CN5	2013	6,0870	755,6522	761,7391
6	CN6	2013	0,0000	0,0000	0,0000
7	CN7	2013	4,8356	496,1315	500,9671
8	CN8	2014	5,2576	139,8528	145,1104
9	CN8	2014	0,0000	0,0000	0,0000
10	CN5	2012	4,3796	4,3796	8,7591
11	CN9	2014	0,0000	0,0000	0,0000
12	CN9	2014	6,6335	1077,9436	1084,5771
13	CN4	2016	0,0000	99,5669	99,5669
14	CN5	2017	0,0000	35,3018	35,3018
15	CN7	2017	0,0000	197,6393	197,6393
16	CN4	2017	0,0000	63,6843	63,6843
17	CN2	2017	0,0000	31,4623	31,4623
18	CN2	2017	0,0000	180,2707	180,2707
19	CN10	2017	0,0000	17,1591	17,1591

Общий пул данных кластеризуется на 3 группы: 50 % всех проб хлорорганических соединений содержат менее 200 нг/мг, 37,5 % проб – от 400 до 1200 нг/мг, 12,5 % проб – более 1200 нг/мг.

В работе Тао и др. [10] оценивается суточное поступление ДДТ в яйца домашних кур с различными кормами, выводится фоновое значение ДДТ, которое достигает 30 нг/мг. Для понимания уровня значимости содержания хлорорганических соединений также будем принимать во внимание ПДК, установленный для куриных яиц в США [11] и Европе – 500 нг/мг [12]. Таким образом, мы получаем, что 37,5 % всех проб яиц черного аиста, полученных в Беларуси, содержит ДДТ и его метаболиты в концентрации до 2,5 раза более ПДК, а 12,5 % превышают ПДК более чем в 2,5 раза. Эти данные схожи с результатами, полученными в Латвии [6].

Известно, что длительное экспонирование доз ДДТ организмом самки приводит к утончению скорлуповой оболочки яиц [13, 14]. В рамках работы не измеряли физические параметры скорлупы яиц, но изучали концентрацию пестицидов в скорлупе. В 26 % случаев в скорлупе пестицидов не обнаружено, а в 10,5 % – концентрация хлорорганических соединений была больше, чем в содержимом яйца.

Для оценки времени выброса ДДТ в окружающую среду [15] используют коэффициент соотношения ДДТ к общему количеству хлорорганических соединений (ДДТ+ДДД+ДДЕ). При значениях от 0,5 до 1 можно говорить о недавнем применении ДДТ. Можно предположить, что значения ниже 0,5 соответствуют остаточным последствиям применения ДДТ до введения запрета на использование (70-е годы XX века) и отсутствия последующего поступления свежих доз ДДТ в организм последнее время. В яйцах черного аиста соотношение ДДТ к метаболитам составляло $0,03779 \pm 0,08$, а в скорлупе – $0,03033 \pm 0,11$, но в одном случае соотношение ДДТ и метаболитов в скорлупе составило 0,5. Во внутреннем содержимом этой пробы доля ДДТ составила 0,34. Этот случай может свидетельствовать о том, что на пути миграции или даже на охотничьей территории черным аистом была получена свежая доза ДДТ. При этом концентрация хлорорганических соединений в пробе составила 13,5 нг/мг в желтке и 8,7 нг/мг в скорлупе, что значительно меньше фонового значения. Можно предположить, что аист получил дозу ДДТ из воды и почвы или даже из воздуха [16]. Отметим, что не найдено существенных различий в пробах, взятых из разных регионов Беларуси, что также свидетельствует в пользу версии о получении ДДТ и его метаболитов не в Беларуси, а на зимовке и путях миграции.

По результатам спутникового мечения известно (рис. 2), что гнездящиеся на территории Беларуси черные аисты зимуют в Республике Чад и в Эритрее. Согласно отчету Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях [4], Эритрея входит в список стран, использующих ДДТ. Длительные остановки во время миграции черный аист совершает также на территории таких стран, как Болгария. Согласно отчету рабочей группы IPEN по СОЗ/пестицидам, в пробах куриных яиц, полученных из Болгарии, концентрация ДДТ превышала ПДК [1].

Анализ показал, что с 2012 по 2017 г. средняя концентрация хлорорганических соединений в яйцах черных аистов достоверно не изменялась. В 2014–2015 гг. аномальная засуха в Беларуси повлияла на успех гнездования черного аиста и, вероятно, была причиной смены кормовой базы [9]. Основным способом попадания значительных доз ДДТ в организм следует считать экспозицию через корм. Смена кормовой базы (амфибии/рыбы) могла привести к изменениям концентрации пестицидов в яйцах, чего не отмечалось. Эти факты также свидетельствуют в пользу того, что основной источник хлорорганических соединений лежит за пределами гнездовой территории исследованных пар черного аиста. ДДТ и его метаболиты достаточно долго выводятся из организма (годами) [17], потому эффект может быть растянут во времени. При этом поступление новых доз ДДТ и его метаболитов могут существенно повышать уровень пестицидов в организме.

В яйце, взятом из гнезда CN4 в 2017 г., концентрация ДДТ резко снизилась по сравнению с яйцами, взятыми из того же гнезда в 2013 и в 2016 гг., когда она была очень высока. Этот факт можно объяснить как тем, что, вероятно, самка в этой паре сменилась, так и сменой птицами мест зимовки. Достоверно известно, что в 2018 г. старого самца в этом гнезде сместил молодой самец 5-летнего возраста (определен по наличию кольца).

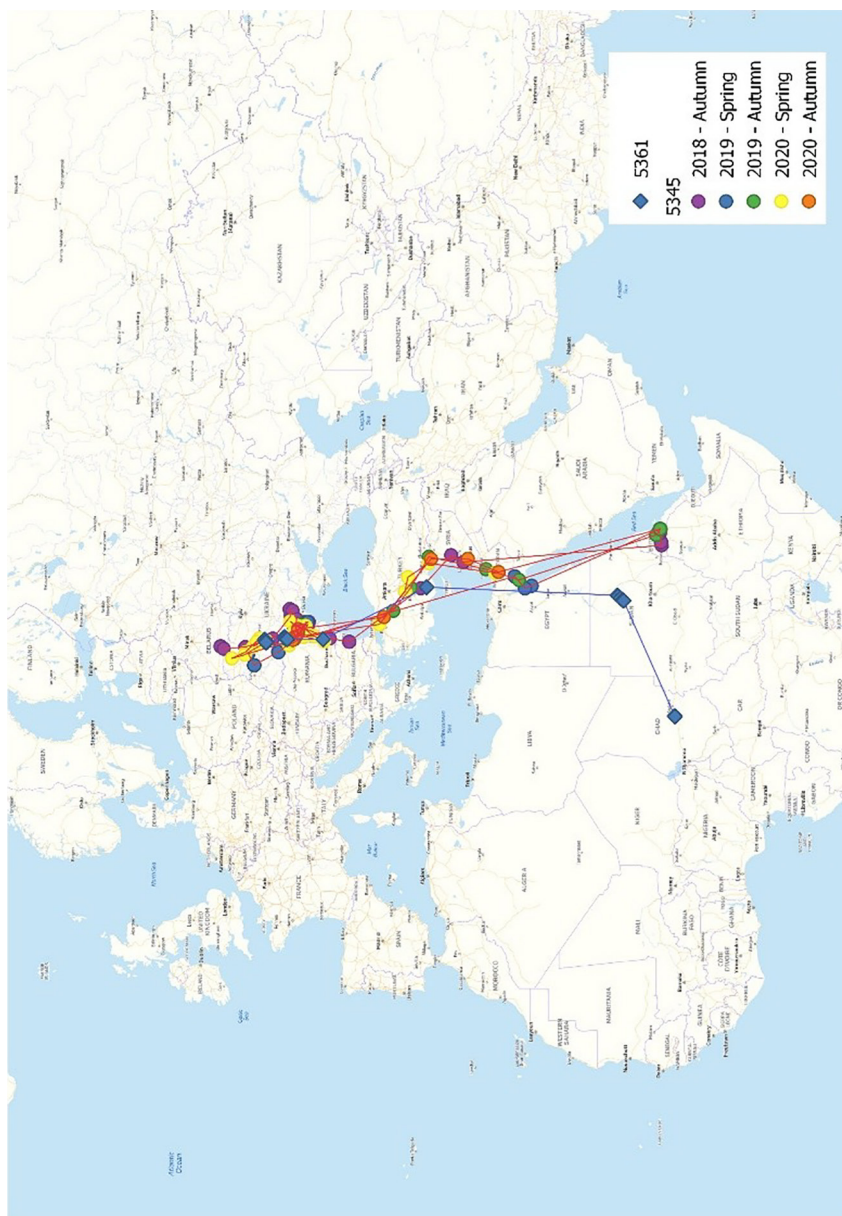


Рис. 2. Миграционные пути белорусских черных аистов по результатам спутникового мечения

Заключение. В ходе исследования выявлено наличие ДДТ и его метаболитов в яйцах черного аиста в значимой концентрации. Учитывая уязвимое состояние популяции черного аиста в Беларуси, любая угроза гнездованию является значительной. Результаты исследования говорят о том, что черный аист получает дозы пестицидов, скорее, на местах зимовки, чем на местах постоянного гнездования. Тем не менее нет достоверных данных по путям распространения и степени влияния выявленных хлорорганических соединений на популяцию черного аиста. Важно учитывать и тот факт, что продолжительность жизни черного аиста значительна, и кумулятивный эффект с возрастом может влиять сильнее. Учитывая довольно низкий успех гнездования черного аиста в последние годы, влияние пестицидов может усиливаться, что должно привлекать больше внимания исследователей.

Благодарность. Авторы выражают благодарность фонду «Цикония» (Лихтенштейн) за финансовую поддержку исследования.

Список использованных источников

1. Digangi, J. The Egg Report / J. Digangi, J. Petrlik // Technical report. – 2005. – Vol. 53. – P. 66–76/ DOI: 10.13140/RG.2.2.19316.76166
2. Rachel Carson. The New Yorker, Silent Spring. – 1962, June 30. – Vol. 64.
3. Рахматуллаев, А. Р. Пестицидная буря над Узбекистаном (ДДТ и ГХЦГ) / А. Р. Рахматуллаев // Журн. Природа. – 1993. – № 9. – С. 84–88.
4. Report of the expert group on assessment of the production and use of DDT and its alternatives for disease vector control. Conference of the Parties of the Stockholm UNEP/POPS/COP.4/5. 2009. 12 p.
5. Falk, K. A long-term increase in eggshell thickness of Greenlandic Peregrine Falcons *Falco peregrinus tundrius* / K. Falk, S. Møller, W. G. Mattox // Science of The Total Environment. – 2006. – Vol. 355(1-3) – P. 127–134. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.02.024
6. Recent impact of DDT contamination on Black Stork eggs / M. Strazds [et al.] // J. Ornithology. – 2015. – Vol. 156. – 14 p. DOI: 10.1007/s10336-015-1244-z
7. Самусенко, И. Э. Черный аист / И. Э. Самусенко, В. В. Ивановски, М. Г. Дмитренко // Красная книга Республики Беларусь. Животные. – Минск, 2015. – С. 53–54.
8. Sellis, U. Will the Black Stork remain to breed in Estonia? / U. Sellis // Hirundo. – 2000. – Vol. 13. – P. 19–30.
9. Дмитренко, М. Г. Современное состояние гнездовой группировки черного аиста в центральной части Белорусского Полесья / М. Г. Дмитренко, П. А. Пакуль // Орнитологические исследования в странах северной Евразии: тез. XV Междунар. орнитолог. конф. Северной Евразии. Дмитренко М. Г., Пакуль П. А. – М., 2020. – С. 160–161.
10. Organochlorine pesticide residuals in chickens and eggs at a poultry farm in Beijing, China / S. Tao // Environmental Pollution. – 2008. – Vol. 157. – P. 497–502. DOI: 10.1016/j.envpol.2008.09.005
11. FDA. Guidance for Industry: Action Levels for Poisonous or Deleterious Substances in Human Food and Animal Feed. Август, 2000. Электронный ресурс: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-action-levels-poisonous-or-deleterious-substances-human-food-and-animal-feed#ddt>
12. EU. Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council of 23 February 2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC // Official Journal of the European Union, 16.3.2005. P. 1–16.
13. Hickey, J. J. Chlorinated hydrocarbons and eggshell changes in raptorial and fish-eating birds / J. J. Hickey, D. W. Anderson // Science. – 1968. – Vol. 162. P. 271–273. DOI: 10.1126/science.162.3850.271
14. Becker, D. Eggshell Quality and Organochlorine Residues in Eggs of Merlins, *Falco columbarius*, in Southeastern Montana / D. Becker, C. Hullsieg // The Canadian Field-Naturalist. – 1987. – Vol. 101. – P. 369–372.
15. Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview J. Fu [et al.] // Chemosphere. – 2003. – Vol. 52. – P. 1411–1422. DOI: 10.1016/S0045-6535(03)00477-6
16. Polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in surface soils from the Qinghai-Tibetan plateau S. Tao [et al.] // J. Environmental Monitoring. – 2011. – Vol. 13. – P. 175–181. DOI: 10.1039/c0em00298d
17. Lackmann, G. M. Neonatal serum p,p'-DDE concentrations in Germany: chronological changes during the past 20 years and proposed tolerance level / G. M. Lackmann // Paediatr Perinat Epidemiol. – 2005. – Vol. 19, N 1. – P. 31–35. DOI: 10.1111/j.1365-3016.2004.00621.x.

Поступила 20.01.2022

Е. В. Феськова¹, В. Н. Леонтьев¹, В. В. Титок², Б. Ю. Анощенко²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: lena.feskova@mail.ru, leontiev@belstu.by

²Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: V.Titok@cbg.org.by, B.Anoshenko@cbg.org.by

ЖИРНО-КИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ЛИПИДОВ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА ЯСНОТКОВЫЕ (LAMIACEAE)

Аннотация. Семейство Яснотковые включает в себя широкий спектр растений с биологическим и фармацевтическим потенциалом. Многие представители данного семейства являются лекарственными, пряными, эфиромасличными и декоративными растениями и имеют большое хозяйственное значение. В каждом из лекарственных растений содержится минимум одно вещество, обладающее фармакологической активностью. Для оценки фармацевтического потенциала растений необходимо провести идентификацию биологически активных соединений и систематизировать их в соответствии с Международной анатомо-терапевтической-химической (АТХ) классификацией. АТХ классификация – это международная система классификации лекарственных средств в зависимости от органа или системы, на которые они действуют, а также на основе их химических и фармакологических свойств. Приведены результаты исследования жирно-кислотного состава липидов семян некоторых представителей семейства Яснотковые, интродуцированных Центральным ботаническим садом НАН Беларуси. Отмечено высокое содержание α-линоленовой кислоты в липидах семян Melissa officinalis L.) 48,2 %, лаванды узколистной (Lavandula angustifolia Mill.) 58,4 %, иссопа лекарственного (Hyssopus officinalis L.) 54,5 %, монарды дудчатой (Monarda fistulosa L.) 63,2 % и многоколосника морщинистого (Agastache rugosa (Fisch. & C.A.Mey.) 53,2 %, а линолевой кислоты – в липидах семян Melissa officinalis L.) 32,5 %, пустырника сердечного (Leonurus cardiaca L.) 47,4 %, белокудренника черного (Ballota nigra L.) 53,4 % и буквицы лекарственной (Betonica officinalis L.) 56,9 %.

Ключевые слова: Яснотковые, АТХ классификация, жирно-кислотный состав, линолевая кислота, линоленовая кислота

A. U. Feskova¹, V. N. Leontiev¹, V. V. Titok², B. Yu. Anoshenko²

¹Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, e-mail: lena.feskova@mail.ru, leontiev@belstu.by

²Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: V.Titok@cbg.org.by, B.Anoshenko@cbg.org.by

FATTY ACID COMPOSITION OF SEED LIPIDS OF SOME REPRESENTATIVES OF THE LAMIACEAE FAMILY

Abstract. The Lamiaceae family includes a wide range of plants with biological and pharmaceutical potential. Many representatives of this family are medicinal, spice, aromatic and ornamental plants and are of great economic importance. Each of the medicinal plants contains at least one substance with pharmacological activity. To assess the pharmaceutical potential of plants, it is necessary to identify biologically active compounds and systematize them in accordance with the International Anatomical Therapeutic Chemical (ATC) Classification. The ATC classification is an international system for classifying the active ingredients of drugs according to the organ or system on which they act and their chemical and pharmacological properties. This paper presents the results of a study of the fatty acid composition of lipids of seeds of some representatives of the Lamiaceae family, introduced by the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. A high content of α-linolenic acid was noted in the lipids of the seeds of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) 48.2 %, true lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) 58.4 %, hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) 54.5 %, bee balm (*Monarda fistulosa* L.) 63.2 % and wrinkled giant hyssop (*Agastache rugosa* (Fisch. & C.A.Mey.) 53.2 %, and linoleic acid – in the lipids of the seeds of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) 32.5 %, motherwort (*Leonurus cardiaca* L.) 47.4 %, black horehound (*Ballota nigra* L.) 53.4 % and common betony (*Betonica officinalis* L.) 56.9 %.

Keywords: Lamiaceae, ATC classification, fatty acid composition, linoleic acid, linolenic acid

A. У. Феськова¹, В. М. Лявонцьеў¹, У. У. Ціток², Б. Ю. Аношанка²

¹Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: lena.feskova@mail.ru, leontiev@belstu.by

²Цэнтральны батанічны сад Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: V.Titok@cbg.org.by, B.Anoshenko@cbg.org.by

СКЛАД ТЛУСТЫХ КИСЛОТ ЛИПИДОВ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВЛЯТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА ЯСНОТКОВЫЕ (LAMIACEAE)

Анатацыя. Сямейства Ясноткавыя ўключае ў сябе шырокі спектр раслін з біялагічным і фармацэўтычным патэнцыялам. Шмат прадстаўнікоў з дадзенага сямейства з'яўляюцца лекавымі, рэзкімі, эфіраалейнымі, дэкарэтыўнымі раслінамі і маюць вялікае гаспадарчае значэнне. У кожнай з лекавых раслін утрымліваецца, як мінімум, адно рэчыва, якое валодае фармакалагічнай актыўнасцю. Для ацэнкі фармацэўтычнага патэнцыялу раслін неабходна правесці ідэнтыфікацыю біялагічна актыўных рэчываў і сістэматызаваць іх у адпаведнасці з Міжнароднай анатама-тэрапеўтычна-хімічнай (АТХ) класіфікацыяй. АТХ класіфікацыя – гэта міжнародная сістэма класіфікацыі лекавых сродкаў у залежнасці ад органа або сістэмы, на якія яны дзейнічаюць, а таксама на аснове іх хімічных і фармакалагічных уласцівасцей.

Приведены вынікі даследавання складу тлустых кіслот ліпідаў сям'яў некаторых прадстаўнікоў сямейства Ясноткавыя, інтрадукаваных Цэнтральным батанічным садамі НАН Беларусі. Адзначана высокае ўтрыманне α-ліналенавай кіслаты ў ліпідах сям'яў мелісы лекавай (*Melissa officinalis* L.) 48,2 %, лаванды вузкалістай (*Lavandula angustifolia* Mill.) 58,4 %, ісопу лекавага (*Hyssopus officinalis* L.) 54,5 %, манарды дудкаватай (*Monarda fistulosa* L.) 63,2 % і шматкалосніка маршчыністага (*Agastache rugosa* (Fisch. & C.A.Mey.) 53,2 %, а ліналевай кіслаты – у ліпідах сям'яў мелісы лекавай (*Melissa officinalis* L.) 32,5 %, сардэчніку шчырага (*Leonurus cardiaca* L.) 47,4 %, белакудраніку чорнага (*Ballota nigra* L.) 53,4 % і буквіцы лекавай (*Betonica officinalis* L.) 56,9 %.

Ключавыя словы: Ясноткавыя, АТХ класіфікацыя, склад тлустых кіслот, ліналевая кіслата, ліналенавая кіслата

Введение. Семейство Яснотковые (*Lamiaceae*) или Губоцветные (*Labiatae*) входит в основную группу покрытосеменных (цветковых) растений, включающее по одним данным 236 [1], по другим – около 250 родов [2]. По информации базы данных Germplasm Resources Information Network (GRIN) в составе семейства выделяют семь подсемейств: аюговые или живучковые (*Ajugoideae*), яснотковые (*Lamioideae*), котовниковые (*Nepetoideae*), простантеровые (*Prostantheroideae*), шлемниковые (*Scutellarioideae*), симфоремовые (*Symphorematoideae*) и витексовые (*Viticoideae*) [3].

Большинство видов яснотковых – это однолетние и многолетние травы, реже полукустарники и кустарники, и лишь некоторые представляют собой древовидные формы. Данное семейство растений распространено почти по всему земному шару с преобладанием в зоне от Канарских островов до Западных Гималаев. Почти полностью отсутствуют губоцветные в Арктике и Антарктике, очень мало представителей этого семейства в зоне тайги. Довольно богаты губоцветными горные районы тропиков, особенно Центральная и Южная Америка. В Австралии представлены главным образом эндемичные для этого континента роды подсемейства простантеровых (*Prostantheroideae*) [4].

На территории Республики Беларусь произрастает около 54 видов семейства Яснотковые. Наиболее распространенными родами являются: яснотка (*Lamium*), пикульник (*Galeopsis*), мята (*Mentha*), чистец (*Stachys*), шалфей (*Salvia*), тимьян (*Thymus*), живучка (*Ajuga*), шлемник (*Scutellaria*), пустырник (*Leonurus*), черноголовка (*Prunella*), будра (*Glechoma*). В Красную книгу Республики Беларусь занесены живучка пирамидальная (*Ajuga pyramidalis*), кадило сарматское (*Melittis sarmatica*), змееголовник Руйша (*Dracocephalum Ruyschiana*), черноголовка крупноцветковая (*Prunella grandiflora*) и шалфей луговой (*Salvia pratensis*) [5, 6].

Семейство *Lamiaceae* включает в себя широкий спектр растений с биологическим и фармацевтическим потенциалом [7]. Многие представители данного семейства являются лекарственными (обладают успокаивающим и расслабляющим эффектом), пряными, эфиромасличными и декоративными растениями и имеют большое хозяйственное значение [5, 8].

Биологически активные соединения, присутствующие в растениях семейства губоцветных, обладают различными свойствами. Так, Melissa лекарственная (*Melissa officinalis* L.) проявляет антибактериальные и антиоксидантные свойства [1, 9–11], обладает противогрибковым [12] и противоопухолевым действием [13]. Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) в медицине применяют как вяжущее и противовоспалительное средство для полосканий при заболевании полости рта, глотки, гортани [5], обладает антибактериальными и антиоксидантными свойствами [9, 10]. Тимьян ползучий (*Thymus serpyllum* L.) и тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.) проявляют антибактериальные и антиоксидантные свойства. Кроме того антибактериальные свойства проявляют чабер садовый (*Satureja hortensis* L.) и чабер душистый (*Satureja hortensis* L.), антиоксидантные свойства – базилик душистый (*Ocimum basilicum* L.), чабер горный (*Satureja montana* L.), дубровник обыкновенный (*Teucrium chamaedrys* L.), розмарин лекарственный (*Rosmarinus officinalis* L.) и другие представители семейства Яснотковые [1]. Ценными лекарственными растениями являются пустырник сердечный (*Leonurus cardiaca*) и кадило мелиссолистное (*Melittis melissophyllum*) [5]. Этот факт позволяет предположить, что растения семейства Губоцветные могут служить альтернативой синтетическим препаратам в терапии различных заболеваний.

В каждом из лекарственных растений содержится как минимум одно вещество, обладающее фармакологической активностью. Для оценки фармацевтического потенциала растений необходимо провести идентификацию биологически активных соединений и систематизиро-

вать их в соответствии с Международной анатомо-терапевтической-химической (АТХ) классификацией. АТХ классификация – это международная система классификации лекарственных средств в зависимости от органа или системы, на которые они действуют, а также на основе их химических и фармакологических свойств. Ведение этой классификации осуществляется Центром по сотрудничеству в методологии статистических исследований лекарственных средств Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Используется с целью статистического исследования структуры потребления лекарственных средств, а также для изучения безопасности их применения [14]. В системе АТХ каждое лекарственное средство получает пятиуровневый код, каждый символ которого определяет его принадлежность к той или иной группе. В табл. 1 приведены представители семейства Яснотковые, внесенные в АТХ классификацию [15, 16].

Т а б л и ц а 1. Представители семейства Яснотковые, внесенные в АТХ классификацию

Сырье	АТХ код	Группа по АТХ классификации
Шалфей (<i>Salvia</i>) листья	A01AD11	Прочие препараты для местного применения при заболеваниях полости рта
	A01AP03	Травяная стоматология
	D06BP02	Растительные химиотерапевтические препараты, включая противовирусные средства для местного применения
	D11AA01 D11AA51	Препараты для лечения потливости
Будра плющевидная (<i>Glechoma hederacea</i>) трава	A05AP09	Травы для лечения желчного пузыря
Шандра обыкновенная (<i>Marrubium vulgare</i>) трава	R05CP16	Растительные отхаркивающие средства
Мелисса лекарственная (<i>Melissa officinalis</i>) листья	A03AP04	Другие растительные лекарственные средства для лечения функциональных расстройств желудочно-кишечного тракта
	D06BP01	Растительные химиотерапевтические препараты, включая противовирусные средства для местного применения
Мелисса лекарственная (<i>Melissa officinalis</i>) трава	N05CP04	Травяные снотворные и седативные средства
Мята перечная (<i>Mentha × piperita</i>) листья	A03AP01	Другие растительные лекарственные средства для лечения функциональных расстройств желудочно-кишечного тракта
Мята перечная (<i>Mentha × piperita</i>) масло	A05AP05	Травы для лечения желчного пузыря
	R04AP06	Травяные растирания грудной клетки и ингаляции, включая ванны
Ортосифон (<i>Orthosiphon</i>) листья	G04BP03	Травяные урологические препараты
Тимьян обыкновенный (<i>Thymus vulgaris</i>)	M09AH02	Прочие гомеопатические и антропософские препараты для лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата
Тимьян обыкновенный (<i>Thymus vulgaris</i>) масло	R04AP02	Травяные растирания грудной клетки и ингаляции, включая ванны
Тимьян обыкновенный (<i>Thymus vulgaris</i>) трава	R05CP01 R05CP51	Растительные отхаркивающие средства

Одним из критериев качества растительного сырья является его жирно-кислотный состав, так как он может быть использован для идентификации перспективного растительного сырья для пищевой, фармацевтической и косметической промышленности.

В данной работе приведены результаты исследования жирно-кислотного состава липидов семян некоторых представителей семейства Яснотковые, интродуцированных Центральным ботаническим садом НАН Беларуси: мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.), лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.), пустырник сердечный (*Leonurus cardiac* L.), иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.), монарда дудчатая (*Monarda fistulosa* L.), многоколосник морщинистый (*Agastache rugosa* (Fisch. & C.A.Mey.)), белокудренник черный (*Ballota nigra* L.), буквица лекарственная (*Betonica officinalis* L.) урожая 2021 г.

Методы исследований. Количественное определение жирно-кислотного состава липидов в семенах проводили по модифицированному методу Welch [17]. Навески образцов помещали

в стеклянные ампулы, приливали 1 см³ раствора 2 %-ной серной кислоты в метаноле с внутренним стандартом – маргариновой кислотой (C_{17:0}; 1,35 мг/см³). Ампулы запаивали на газовой горелке, гидролиз триацилглицеридов с одновременным метилированием образующихся жирных кислот проводили при температуре (80 ± 1) °С в течение 4 ч. Затем ампулы охлаждали до комнатной температуры, вскрывали и экстрагировали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) гексаном (0,5 см³). МЭЖК разделяли методом газовой хроматографии на приборе Agilent 7820A GC (Agilent Technologies, США), оснащенный пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой ZB-WAX 30 м×0,25 мм×0,25 мкм (полиэтиленгликоль). Анализ проводили при скорости потока гелия через колонку – 1,34 мл/мин, при температуре инжектора – 250 °С, детектора – 275 °С, колонки – 150 °С в течение 1 мин с последующим повышением до 250 °С со скоростью 2,9 °С/мин и выдержкой при 250 °С 3 мин. Объем анализируемой пробы – 1 мкл.

Идентификацию МЭЖК производили по времени удерживания при разделении стандартных смесей этих веществ (AccuStandart, США) и оценивали в процентах от массового суммарного содержания по отношению к внутреннему стандарту.

Результаты и их обсуждение. Результаты определения жирно-кислотного состава липидов семян растений семейства Яснотковые представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Жирно-кислотный состав липидов семян растений семейства Яснотковые

Жирная кислота (C a:b)*	Мелисса лекарственная (<i>Melissa officinalis</i> L.)	Лаванда узколистная (<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)	Пустырник сердечный (<i>Leonurus cardiaca</i> L.)	Иссоп лекарственный (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)	Монарда дудчатая (<i>Monarda fistulosa</i> L.)	Многоколосник морщинистый (<i>Agastache rugosa</i> (Fisch. & C.A. Mey.)	Белокудренник черный (<i>Ballota nigra</i> L.)	Буквица лекарственная (<i>Betonica officinalis</i> L.)
C _{8:0}	0,028	0,040	0,026	0,027	0,021	0,008	0,003	0,005
C _{10:0}	0,033	0,045	0,027	–	0,033	0,009	0,009	0,008
C _{12:0}	–	0,461	0,112	0,081	0,111	0,054	0,063	0,039
C _{14:0}	–	–	0,096	0,067	0,066	0,038	0,057	0,086
C _{15:0}	–	0,078	0,049	0,057	0,057	0,032	0,036	0,044
C _{16:0}	5,976	6,834	4,385	5,421	3,767	4,019	7,497	4,405
C _{16:1}	–	–	0,103	0,069	0,043	0,067	0,094	0,136
C _{18:0}	3,002	2,052	2,388	3,031	2,486	2,284	2,767	2,199
C _{18:1}	5,500	12,167	24,091	10,955	10,927	11,633	19,675	24,528
C _{18:2}	32,525	13,595	47,428	21,634	15,289	24,286	53,405	56,915
C _{18:3} (cis-9,12,15)	48,206	58,392	1,991	54,472	63,157	53,202	1,868	0,790
C _{20:0}	0,241	0,218	0,454	0,144	0,235	0,229	0,321	0,278
C _{20:1}	0,173	0,312	0,251	0,493	0,484	0,345	0,162	0,221
C _{20:2}	–	0,299	0,095	0,160	0,150	0,005	0,081	0,076
C _{21:0}	–	–	0,027	0,013	0,025	–	0,023	0,019
C _{22:0}	0,083	0,093	0,742	0,115	0,090	0,144	0,138	0,222
C _{22:1}	–	0,048	0,101	0,066	0,017	0,024	0,026	0,019
C _{23:0}	–	0,044	0,073	0,016	0,014	–	0,374	0,073
C _{24:0}	0,226	0,141	1,016	0,074	0,071	0,110	0,165	0,525
C _{22:6} + C _{24:1}	0,012	0,034	0,336	0,132	–	–	0,045	0,020

*a:b – число атомов углерода : количество двойных связей.

Особую ценность представляют полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая и линоленовая), которые относятся к незаменимым жирным кислотам и в организме человека не синтезируются. Линоленовая и линолевая кислоты обладают АТХ кодами: C10AX06 (омега-3 триглицериды, включая другие эфиры и кислоты) [18] и D02AC02, D02AC52 (препараты, содержащие мягкий парафин и жиры) соответственно [19].

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что наибольшее содержание α-линоленовой кислоты (C18:3 (cis-9,12,15)) отмечено в липидах семян мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis* L.), лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.), иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.).

nalis L.), монарды дудчатой (*Monarda fistulosa* L.) и многоколосника морщинистого (*Agastache rugosa* (Fisch. & C.A.Mey.)), а линолевой кислоты (C18:2) – в липидах семян мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis* L.), пустырника сердечного (*Leonurus cardiaca* L.), белокудренника черного (*Ballota nigra* L.) и буквицы лекарственной (*Betonica officinalis* L.).

Заключение. Таким образом, исследование жирно-кислотного состава липидов семян показало, что лучшее сбалансированное содержание полиненасыщенных жирных кислот (линолевой и α -линоленовой) отмечено у мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis* L.) 80,731 %, монарды дудчатой (*Monarda fistulosa* L.) 78,446 %, многоколосника морщинистого (*Agastache rugosa* (Fisch. & C.A.Mey.)) 77,446 % и иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.) 76,106 %, а наименьшее – у пустырника сердечного (*Leonurus cardiaca* L.) 49,419 %, белокудренника черного (*Ballota nigra* L.) 55,273 % и буквицы лекарственной (*Betonica officinalis* L.) 57,705 %.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках НИР «Идентификация и анатомо-терапевтическо-химическая классификация биологически активных соединений коллекции лекарственных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганомия» (№ госрегистрации в ГУ «БелИСА» 20211495 от 21.05.2021).

Список использованных источников

1. Phytochemical constituents of *Lamiaceae* family / H. Bendif [et al.] // Rhazes: Green and Applied Chemistry. – 2021. – Vol. 11, N 2. – P. 71–88.
2. The Plant List. [Electronic resources] / Lamiaceae. – Mode of access: <http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Lamiaceae/>. – Date of access: 27.01.2022.
3. The GRIN-Global Project. [Electronic resources] / Family Lamiaceae Martinov, nom. cons. – Mode of access: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomyfamily?id=619>. – Date of access: 27.01.2022.
4. Цвелев, Н. Н. Семейство губоцветные (*Lamiaceae*, или *Labiatae*) / Н. Н. Цвелев ; в кн.: Жизнь растений. – М.: Просвещение, 1981. – Т. 5, Ч. 2. – С. 404–412.
5. Лазаревич, С. В. Систематика покрытосеменных : уч. пособие. – Горки: Бел. гос. с/х акад., 2007. – 76 с.
6. Государственная инспекция охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь. [Электронный ресурс] / Красная книга Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://gosinspekciya.gov.by/actual/rybolovstvo-i-rybolovnoe-khozyaystvo/339/>. – Дата доступа: 01.02.2022.
7. Medicinal Plants of the Family Lamiaceae in Pain Therapy: A Review / C. M. Uritu [et al.] // Pain Res Manag. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–44. <https://doi.org/10.1155/2018/7801543>
8. Phytochemical screening and biological activity of Lamiaceae family plant extracts / I. Cocan [et al.] // Experimental and therapeutic medicine. – 2018. – Vol. 15. – P. 1863–1870. <https://doi.org/10.3892/etm.2017.5640>
9. In vitro synergistic antibacterial activity of *Melissa officinalis* L. and some preservatives / D. Stanojević [et al.] // Spanish journal of agricultural research. – 2010. – Vol. 8. – P. 109–115. <https://doi.org/10.5424/sjar/2010081-1149>
10. Comparative study regarding the importance of sage (*Salvia officinalis* L.) in terms of antioxidant capacity and antimicrobial activities / A. Pop [et al.] // Hop Med Plants. – 2013. – Vol. 21, N 1–2 (41–42). – P. 66–74.
11. Antioxidant activity, genotoxicity and cytotoxicity evaluation of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) ethanolic extract: Its potential role in neuroprotection / J. P. Kamdem [et al.] // Ind Crops Prod. – 2013. – Vol. 51. – P. 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.056>
12. Antifungal activity of selected essential oils against fungi isolated from medicinal plant / T. Stević, [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2014. – Vol. 55. – P. 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.011>
13. *Melissa officinalis* L. essential oil: antitumoral and antioxidant activities / A. C. de Sousa [et al.] // Journal of Pharmacy and Pharmacology. – 2004. – Vol. 56, N 5. – P. 677–681. <https://doi.org/10.1211/002235702357023321>
14. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. [Электронный ресурс] / Решение коллегии евразийской экономической комиссии об анатомо-терапевтическом химическом классификаторе лекарственных средств. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=F91800098>. – Дата доступа: 01.02.2022.
15. ICD and ATC codes. [Electronic resources] / ICD-10-GM-Codes und ATC-Index. – Mode of access: <https://icdcode.info/deutsch/>. – Date of access: 02.02.2022.
16. Справочник Видаль. [Электронный ресурс] / Шалфей (Sage) инструкция по применению. – Режим доступа: https://www.vidal.ru/drugs/salvia__1212. – Дата доступа: 02.02.2022.
17. Welch, R. W. A micro-method for the estimation of oil content and composition in seed crops / R. W. Welch // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1977. – Vol. 28, N 4. – P. 635–638. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740280710>
18. ATX. [Электронный ресурс] / ATX-код C10AX06. – Режим доступа: <https://icdcode.info/russian/search/p0/s9/C10AX06>. – Дата доступа: 02.02.2022.
19. ICD and ATC codes. [Electronic resources] / Suchergebnisse. – Mode of access: <https://icdcode.info/deutsch/search/p0/s9/Linols%C3%A4ure>. – Date of access: 02.02.2022.

Поступила 14.02.2022

А. М. Островский

*Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь,
e-mail: Arti301989@mail.ru*

**OXYCHILUS TRANSLUCIDUS (MORTILLET, 1854) –
НОВЫЙ ИНВАЗИВНЫЙ ВИД НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКОВ
(MOLLUSCA: GASTROPODA: STYLOMMATOPHORA: ZONITIDAE) В ФАУНЕ БЕЛАРУСИ**

Аннотация. Обсуждается первая в Беларуси находка кавказской инвазивной наземной улитки *Oxychilus translucidus* (Mortillet, 1854). Материал собран в июле 2019 г. на территории частного сектора г. Минска. Находка явно синантропная.

Ключевые слова: наземные моллюски, фаунистика, синантропия, Беларусь

A. M. Ostrovsky

Gomel State Medical University, Gomel, Belarus, e-mail: Arti301989@mail.ru

**OXYCHILUS TRANSLUCIDUS (MORTILLET, 1854) – A NEW INVASIVE LAND SNAIL SPECIES
(MOLLUSCA: GASTROPODA: STYLOMMATOPHORA: ZONITIDAE) IN THE FAUNA OF BELARUS**

Abstract. This paper discusses the first finding of the Caucasian invasive land snail *Oxychilus translucidus* (Mortillet, 1854) in Belarus. The material was collected in July 2019 on the territory of the private sector of Minsk. The discovery is clearly synanthropic.

Keywords: terrestrial molluscs, faunistics, synanthropy, Belarus

А. М. Астроўскі

Гомельскі дзяржаўны медыцынскі ўніверсітэт, Гомель, Беларусь, e-mail: Arti301989@mail.ru

**OXYCHILUS TRANSLUCIDUS (MORTILLET, 1854) – НОВЫ ІНВАЗІЎНЫ ВІД НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКАЎ
(MOLLUSCA: GASTROPODA: STYLOMMATOPHORA: ZONITIDAE) У ФАУНЕ БЕЛАРУСІ**

Анацыя. Абмяркоўваецца першая ў Беларусі знаходка каўказскага інвазіўнага наземнага смаўжа *Oxychilus translucidus* (Mortillet, 1854). Матэрыял сабраны ў ліпені 2019 г. на тэрыторыі прыватнага сектара г. Мінска. Знаходка відавочна сінантропная.

Ключавыя словы: наземныя малюскі, фаўністыка, сінантрапія, Беларусь

Согласно данным К. В. Земоглядчука [1], фауна Беларуси в настоящее время включает 78 видов наземных моллюсков. Интенсификация товарооборота между странами и климатические изменения последних десятилетий привели к активному проникновению чужеродных элементов флоры и фауны, в том числе и различных видов моллюсков [2–4]. Некоторые из них найдены только в городах и рассматриваются как виды-вселенцы.

Присутствие в городской среде инвазивных видов является характерной чертой городской фауны. Это обусловлено, с одной стороны, тем, что в города стекаются транспортные потоки из других регионов, а с другой – более высокой по сравнению с прилегающими территориями температурой воздуха [5, 6], что делает возможным обитание в условиях города более теплолюбивых видов. Проникая в естественные экосистемы, чужеродные виды нарушают сложившееся экологическое равновесие и вытесняют аборигенные виды. По этой причине особенно важно своевременно выявлять такие виды и анализировать их влияние на экосистемы.

Настоящее сообщение представляет первую находку ранее неизвестного для белорусской фауны кавказской наземной улитки сем. Zonitidae – *Oxychilus translucidus* (Mortillet, 1854). Материал (4 взрослых экземпляра) собран автором 14.07.2019 г. под камнями и строительным мусором на месте стихийной свалки бытовых отходов по переулку Красивому в частном секторе г. Минска (GPS 53°53'9,5" N, 27°32'40,7" E). Улитки находились на ограниченном участке площадью ~ 3–4 м², рядом располагается железная дорога. Из других видов наземной малакофауны в данном биотопе отмечены *Cochlicopa lubrica* (Müller, 1774), *Helix pomatia* Linnaeus, 1758 и *Trichia hispida* (Linnaeus, 1758).

Ширина раковины изученных экземпляров варьирует от 7 до 9 мм при 5 оборотах, а ширина пупка составляет около 1/9 – 1/11 ширины раковины (рисунок). По этим параметрам (умеренно мелкий *Oxuchilus* с узким пупком) *O. translucidus* невозможно спутать с каким-либо другим видом, встречающимся на территории Восточной Европы, в том числе и Беларуси [7].

Естественный ареал *O. translucidus* занимает Кавказ и восток Малой Азии. Со второй половины XX века этот моллюск был интродуцирован во многие регионы Центральной и Восточной Европы, где приспособился к жизни в антропогенной среде. Обитает в парках, на пустырях, кладбищах и т. п. Чаще всего держится под камнями, в подземных полостях, также встречается на мертвой древесине и в подстилке [7, 8].

Таким образом, зарегистрированная находка может являться результатом относительно недавнего антропохорного расширения ареала *O. translucidus*. Успешной экспансии данного вида в природно-климатических условиях нашей республики могли способствовать относительно мягкие зимы последних лет, а также его хищный образ жизни.

Направление инвазии *O. translucidus* на территорию Беларуси пока остается неясным в силу того, что этот вид известен по единственной точке находки. Однако, учитывая высокий потенциал к расселению, можно прогнозировать интенсивное распространение *O. translucidus* в Беларуси.

Благодарности. Автор выражает благодарность кандидату биологических наук Е. В. Шикову (Тверской государственной университет, Россия) за подтверждение достоверности определения материала.



Вид кавказской инвазивной наземной улитки *Oxuchilus translucidus* (Mortillet, 1854)

Список использованных источников

1. Земоглядчук, К. В. Наземные моллюски Беларуси: таксономический состав, зоогеографическая и экологическая структура: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.04 / К. В. Земоглядчук; НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам. – Минск, 2016. – 17 с.
2. Земоглядчук, К. В. Чужеродные виды наземных моллюсков (Mollusca: Gastropoda: Stylommatophora) в фауне Беларуси / К. В. Земоглядчук // Вестн. БарГУ. Сер. биол. науки (общ. биология), сельхознауки (агрономия). – 2020. – Вып. 8. – С. 34–45.
3. Островский, А. М. Новые находки синантропных видов слизней *Limacus flavus* (Linnaeus 1758) и *Krynickillus melanocephalus* Kaleniczenko, 1851 (Mollusca, Gastropoda, Stylommatophora) в Беларуси / А. М. Островский // Ruthenica. – 2017. – Т. 27, № 14. – С. 155–158.
4. Островский, А. М. История расселения и первые находки кавказского садового слизня *Deroceras caucasicum* (Simroth, 1901) (Mollusca, Gastropoda, Stylommatophora) в Беларуси / А. М. Островский // Рос. журн. биол. инвазий. – 2018. – № 2. – С. 47–52.
5. Клауснитцер, Б. Экология городской фауны / Б. Клауснитцер. – М.: Мир, 1990. – 246 с.
6. Земоглядчук, К. В. Формирования фауны наземных моллюсков в условиях города / К. В. Земоглядчук // Сахаровские чтения 2004 г: экологические проблемы XXI века: материалы междунар. науч. конф., Минск, 21–22 мая 2004 г. / Междунар. гос. эколог. ун-т им. А. Д. Сахарова; под общ. ред.: С. П. Кундас, В. А. Чудаков. – Минск: Бестпринт, 2004. – С. 64–66.
7. Балашов, И. А. Стебельчатоглазые (Stylommatophora) / И. А. Балашов // Фауна Украины. Моллюски. – Киев: Наукова думка, 2016. – Т. 29, вып. 5. – 592 с.
8. Welter-Schultes, F. W. European non-marine molluscs, a guide for species identification / F. W. Welter-Schultes. – Göttingen: Planet Poster Editions, 2012. – 679 p.

Поступила 31.01.2022

Д. Г. Груммо

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: zm.hrmo@gmail.com*

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Аннотация. Приводятся результаты анализа многолетней серии данных дистанционного зондирования (ежемесячный продукт MCD64A1) как для оценки площадей, подвергшихся воздействию природных пожаров всей территории Беларуси, так и ее отдельных районов. Установлено, что в период с 2001 по 2020 г. по стране за год выгорало от 17,1 до 184,46 тыс. га. Выявлены сезонные пики пожарной активности, закономерности пространственного распределения очагов пожаров в пределах Беларуси и основные типы выгоревшей растительности для отдельных модельных территорий. Оценена точность определения площадей, поврежденных пожарами по данным низкого пространственного разрешения (500 м) с использованием данных среднего пространственного разрешения (30 м), которая составила в среднем 81,7 %. Однако вместе с тем показано, что площади пожаров менее 250 га фиксируются со значительной погрешностью (точность в среднем 19,6 %), что ограничивает возможность использования продукта MCD64A1 для локального и регионального мониторинга при незначительных площадях повреждения пожарами.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, спутниковый мониторинг, геоинформатика, растительный покров, природные пожары, продукт MCD64A1, Ельня, Ольманские болот

D. G. Grummo

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Science of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: zm.hrmo@gmail.com*

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE NATURAL FIRES DYNAMICS ON THE TERRITORY OF BELARUS BASED ON REMOTE SENSING DATA

Abstract. The results of the analysis of a long-term series of remote sensing data (monthly product MCD64A1) are presented to estimate the areas affected by wildfires both for the territory of Belarus as a whole and for its regions. It has been established that in the period from 2001 to 2020, from 17.1 to 184.46 thousand hectares burned out across the country per year. Seasonal peaks of fire activity, patterns of spatial distribution of fire spots within Belarus and the main types of burnt vegetation for some areas have been identified. The accuracy of determining burnt areas using low (500 m) and medium (30 m) spatial resolution data was estimated at an average of 81.7%. However, at the same time, it has been shown that burnt areas of less than 250 hectares are recorded with a significant error (an average accuracy of 19.6 %). This is a limitation of the ability to use the MCD64A1 for local and regional monitoring with small areas of fire damage.

Keywords: Earth remote sensing, satellite monitoring, geoinformatics, vegetation cover, natural fires, burnt areas, MCD64A1 product, Yelnya, Olmany mire

Дз. Г. Грумо

*Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Курпэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
Мінск, Беларусь, e-mail: zm.hrmo@gmail.com*

РЭТРАСПЕКТЫЎНЫ АНАЛІЗ ДЫНАМІКІ ПРЫРОДНЫХ ПАЖАРАЎ НА ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ ПА ДАДЗЕННЫХ ДЫСТАНЦЫЙНАГА ЗАНДЗІРАВАННЯ

Анатацыя. Прыводзяцца вынікі аналізу шматгадовай серыі дадзеных дыстанцыйнага зандзіравання (штомесечны прадукт MCD64A1), як для ацэнкі плошчаў, якія падвяргаліся ўздзеянню прыродных пажараў на ўсёй тэрыторыі Беларусі, так і асобных раёнаў. Устаноўлена, што за перыяд з 2001 па 2020 г. па краіне за год выгарала ад 17,1 да 184,46 тыс. га. Выяўлены сезонныя пікі пажарнай актыўнасці, заканамернасці прасторавага размеркавання ачагоў пажараў у межах Беларусі і асноўныя тыпы гарэлай расліннасці для асобных мадэльных тэрыторый. Ацэнена дакладнасць вызначэння плошчаў, пашкоджаных пажарамі па дадзеных нізкага прасторавага дазволу (500 м) з выкарыстаннем дадзеных сярэдняга прасторавага дазволу (30 м), якая склала ў сярэднім 81,7 %. Аднак разам з тым паказана, што плошчы пашкоджання пажарамі менш за 250 га фіксуюцца са значнай хібнасцю (дакладнасць у сярэднім 19,6 %), што абмяжоўвае магчымасць выкарыстання прадукта MCD64A1 для лакальнага і рэгіянальнага маніторынгу пры незначных плошчах пашкоджання пажарамі.

Ключавыя словы: дыстанцыйнае зандзіраванне Зямлі, спадарожнікавы маніторынг, геаінфарматыка, расліннае покрыва, прыродныя пажары, пашкоджанні пажарамі, прадукт MCD64A1, Ельня, Альманскія балоты

Введение. Пожары являются одним из факторов, оказывающим негативное влияние на состояние природных экосистем [1–3]. Причиной большинства природных пожаров является деятельность человека (79 %), из них сельскохозяйственные палы, сжигание порубочных остатков,

пожары от транспортных систем составляют лишь 9,1 % и около 70 % пожаров – неосторожное обращение человека с огнем [4–6].

Стоит признать, что в настоящее время обеспеченность объективной и регулярно обновляемой информации о частоте и площади повреждения пожарами является недостаточной и не отвечает современным экономическим и экологическим требованиям. Разрозненные данные отдельных ведомств и региональных административных органов зачастую не дают целостной картины об масштабах пожаров часто несопоставимы [1, 4, 5, 7–11].

В последние годы при решении задач обнаружения активных пожаров, определения выгораемых при этом площадей, оценки влияния природных пожаров на хозяйственную деятельность человека и их экологических последствий все более широкое применение находит космический мониторинг [5, 6–9, 11–17].

Современные системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и методы обработки спутниковых изображений позволяют не только получать оперативную информацию, но и строить непрерывные временные ряды исследуемого параметра с возможностями выделения тренда на основе статистического анализа, что дает возможность решать задачи долгосрочного моделирования и прогнозирования пожароопасных ситуаций [6, 8, 13, 18–26].

Для выявления и оценки площадей выгоревших территорий по данным ДЗЗ используется несколько подходов: анализ активных очагов горения (Hotpoint), определяемых по тепловым каналам ДЗЗ [5–9, 11, 27]; анализ выгоревших площадей (Burned Area), определяемых по спектрально-отражательным характеристикам растительного покрова в ближней инфракрасной (ИК) области спектра [11, 28]; комбинированное использования первого и второго подходов [11, 29].

Расчет площадей выгоревших территорий в результате различных видов природных пожаров проводится по спутниковым данным низкого (TERRA, AQUA, NOAA, SuomiNPP, Метеор-М, FY-3 и др.), среднего и высокого (Landsat, IRS, Канопус и др.) пространственного разрешения в зависимости от масштабов исследования [6]. Наряду с возможностью обрабатывать отдельные спутниковые изображения пользователям доступны долговременные серии информационных продуктов по выгоревшим территориям на глобальном и региональном уровне с различным пространственным разрешением, в том числе: 1 км – L3JRC и EKA GLOBCARBON SPOT-ENVISAT; 500 м – MODIS Burned Area MCD45, MCD64; 300 м – Copernicus PROBA-V Burnt Area и Fire_cci v4.1 MERIS; 250 м – Fire_cci v5.0 MERIS/MODIS [29] и др. [3, 6, 30].

Согласно исследованию [31], в котором сравнивались продукты MCD64A1, MCD45A1, Copernicus Burnt Area и Fire CCI, наилучшие результаты по обнаружению выгоревших площадей продемонстрировали продукты MCD64A1 и Fire CCI. Вместе с тем в продукте Fire CCI были выявлены крупные артефакты по краям изображений, что иногда приводило к возникновению необоснованно больших площадей горения [31]. Следует отметить также, что в отличие от 5-й коллекции, данные MCD64A1 6-й коллекции менее чувствительны к облачности и аэрозольному загрязнению. Это позволяет выявить на 25 % больше выгоревших территорий, включая участки с площадью менее 1 км² [6, 29, 31].

В настоящей публикации анализируется динамика природных пожаров на территории Беларуси за период 2001–2020 гг. Исследования включали решения следующих задач: 1) выполнить анализ истории пожаров за 20-летний цикл; 2) выделить основные проблемные территории в разрезе административного районирования, а также среди особо охраняемых природных территорий (ООПТ); 3) оценить сезонную изменчивость частоты и площади повреждения пожарами; 4) на примере модельных территорий провести анализ выгоревших площадей с различным типом растительности; 5) провести оценку точности определения площадей выгоревших территорий.

Материалы, методы и объекты исследования. Количественные оценки пожаров за 20-летний цикл исследований проводили для всей территории Беларуси. Логическая схема последовательности научно-исследовательских работ состоит из 5 этапов.

1. *Подготовка производных спутниковых, тематических и картографических продуктов.* Для выявления пространственно-временных вариаций площадей участков, выгораемых в ре-

зультате природных пожаров на территории Беларуси, был выбран ежемесячный продукт MCD64A1 «Burned Area» 6-й коллекции (аппаратура MODIS, спутники Terra/Aqua). В этом продукте применяется гибридный алгоритм, работающий на совместном использовании данных тепловых аномалий и измерений отражательной способности в ближних ИК-каналах [29]. Алгоритм определяет дату пожара для 500-метровых ячеек сетки в каждом отдельном тайле MODIS [29].

Следует отметить, что продукт MODIS не всегда подходит для надежного мониторинга на региональном и локальном уровнях и точного расчета площадей палов сельскохозяйственных земель, которые характеризуются небольшими площадями, скоротечностью пожаров и сложным мозаичным характером границ участков. Вместе с тем анализ этих данных в разрезе сезонных и многолетних циклических компонентов позволит выделить основные пожароопасные территории в пределах Беларуси, выявить сезонные пики пожарной активности, оценить масштабы природных пожаров на территории страны за последние 20 лет.

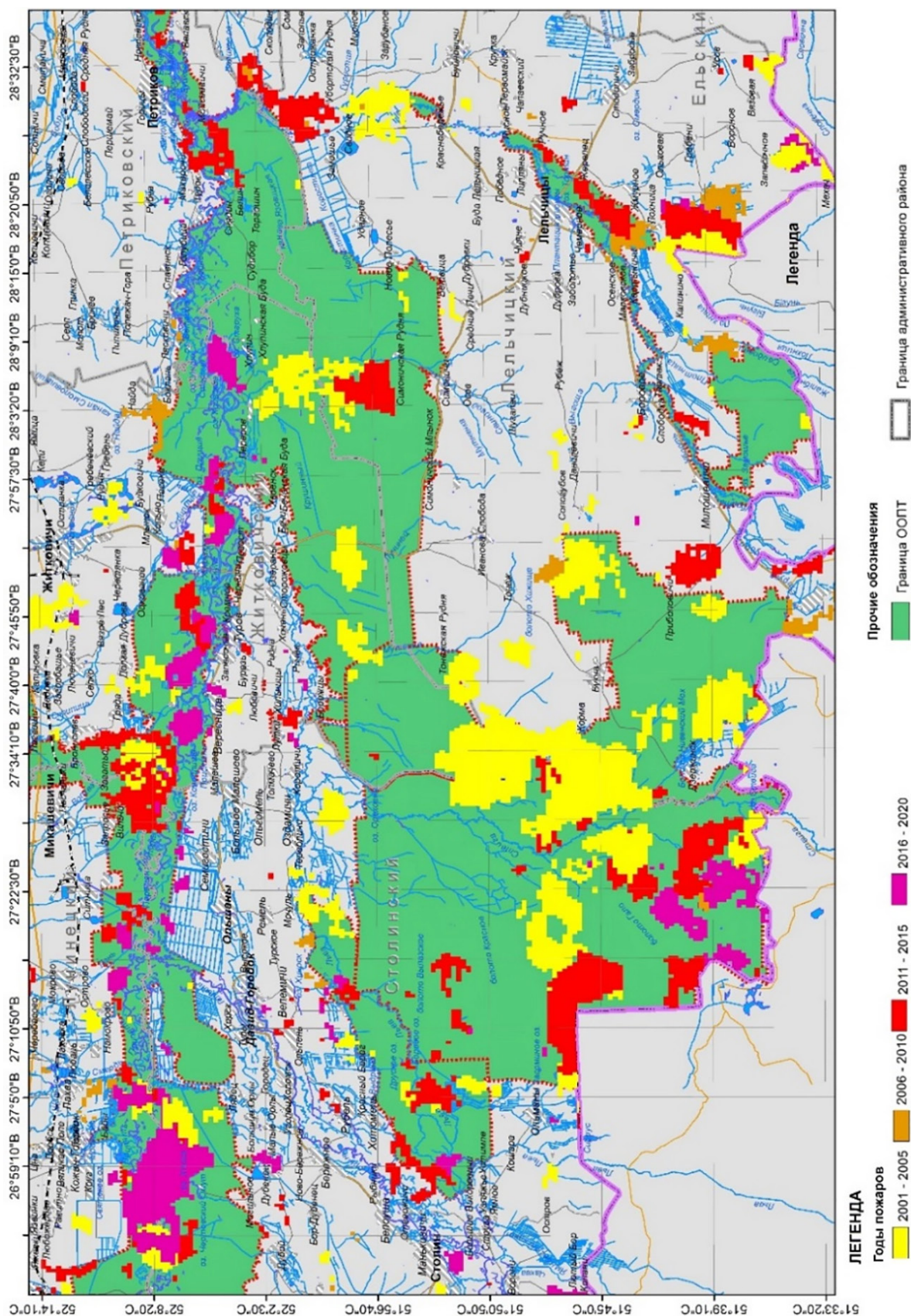
Для оценки повторяемости пожаров использован индекс (Fire Recurrence Index), который рассчитывается как количество событий (годы, когда были пожары), разделенный на продолжительность серии мониторинга (в данном случае составляет 20 лет). Значения горения, близкие к единице, означают по крайней мере одно горение каждый год, а значения 0,1 указывают на одно горение каждые 10 лет [32]. Тематический продукт, отражающий пространственное распределение значений Fire Recurrence Index (FRI), представлен на платформе облачных вычислений Google Earth Engine. Для обработки и анализа были выбраны не только данные на пожароопасный период (с апреля по октябрь), но и на весь год в целом. На основании анализа спутниковых продуктов для территории Беларуси создавалась база данных истории пожаров за период 2001–2020 гг., а также составлялись тематические карты (рис. 1, 2).

2. Оценка точности определения площадей выгоревших территорий. Существуют различные подходы к валидации результатов, получаемых при космическом мониторинге. Большинство из них основаны на сопоставлении с наземными данными. Однако такой подход требует значительных временных и трудовых затрат на получение и обработку информации, а получение наземных данных зачастую просто невозможно. При проведении работ по валидации результатов мониторинга на глобальном и региональном уровнях дополнительного решения требует вопрос сопоставления масштабов данных, так как наземные данные локальны, более детальны и дискретны, чем космические.

В настоящей работе для валидации использовали подход, при котором космические данные низкого пространственного разрешения (MCD64A1, 500 м) сравнивались с результатами, полученными на основе обработки данных спутников более высокого пространственного разрешения (спутников серии Landsat) с построением модели на основе динамики вегетационных индексов NDVI, NBR, BAI [33].

Модельными полигонами были выбраны 4 лесоболотных комплекса (ЛБК) в Миорском (ЛБК «Ельня», «Болото Мох»), Шарковщинском (ЛБК «Долбенишки») и Столинском (ЛБК «Ольманские болота») районах, поврежденных пожарами в 2002–2019 гг. [33, 34]. Преимуществом рассматриваемого подхода является общий/единый пространственно-временной охват и сопоставимый масштабный ряд сопоставляемых данных [6]. В пределах модельных территорий использовано 1000 контрольных точек (референсные значения). В результате сопоставления были получены значения точности и ошибки классификации по двум классам (выгоревшие участки, фон). Для подтверждения гарей для отдельных лесных территорий также был привлечен ежегодный продукт Global Forest Change 2000-2020 Data с пространственным разрешением 30 м, получаемый с аппаратуры спутников серии Landsat [35], а также цифровая карта растительности болот, отображающая в том числе и постпирогенные растительные сообщества [36].

3. Выявление типов экосистем, подвергшихся воздействию природных пожаров. Для этих целей использовалась серия крупномасштабных карт растительного покрова двух модельных полигонов общей площадью 92,93 тыс. км² (42,3 % площади страны) в пределах северной, центральной (тестовая территория № 1, площадь 87,18 тыс. км²) и южной (тестовая территория № 2, площадь 5,75 тыс. км²) частей страны.



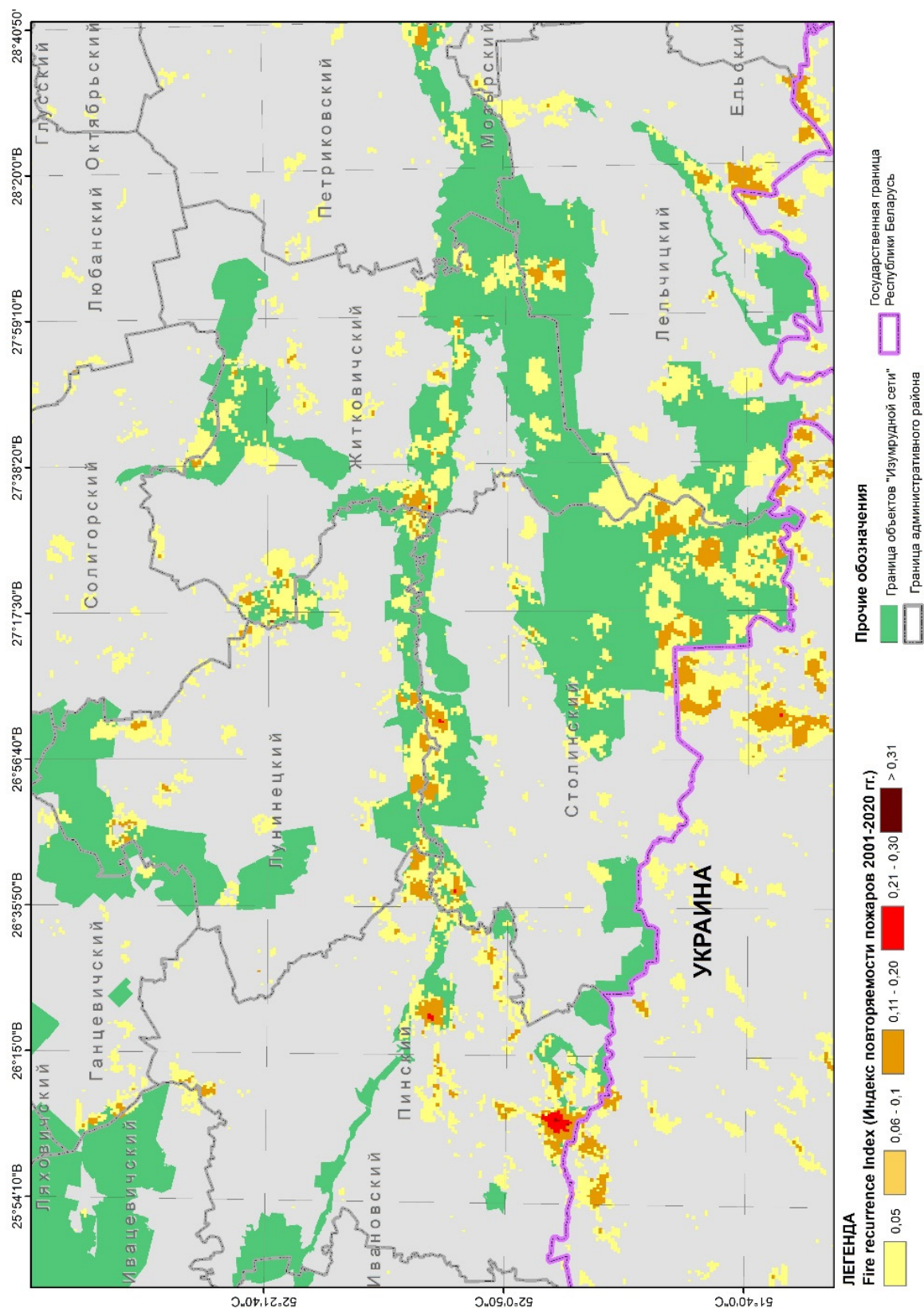


Рис. 2. Фрагмент карты пространственного распределения значений Fire Resurgence Index в пределах Республики Беларусь (районы Припятского Полесья и приграничные украинские территории)

Средствами геоинформационных систем (ГИС) картографические данные космического мониторинга пожаров сопоставлялись с картами растительности тестовых участков и рассчитывались выгоревшие площади для различных типов экосистем.

4. Увязка на панели ГИС производных картографических продуктов с опорными территориальными единицами анализа (административный район, особо охраняемая природная территория).

5. Комплексная пространственная и статистическая обработка спутниковых, тематических и картографических продуктов средствами ГИС. Для каждой опорной территориальной единицы анализа рассчитывались частота и площадь пожаров (по месяцам и годам), а также статистические показатели. Расчеты производились с помощью стандартных процедур пространственного и статистического анализа в среде ArcGIS 10.7 и MS Excel.

Результаты и их обсуждение. По данным MCD64A1 за период 2001–2020 гг. зафиксировано 10,5 тыс. природных пожаров на площади 888,9 тыс. га (4,3 % территории Беларуси). Наибольшее количество природных пожаров и выгоревших площадей выявлено в 2002 (1679 случаев – 184,8 тыс. га), 2003 (380 пожаров – 72,3 тыс. га), 2006 (673 пожара – 71,4 тыс. га), 2016 (116 эпизодов – 66,8 тыс. га), 2015 (1358 пожаров – 92,9 тыс. га) и 2020 гг. (505 случаев – 50,8 тыс. га). Средняя площадь пожара составила $148,0 \pm 5,4$ га (табл. 1, рис. 3). Наиболее крупный по площади (23,7 тыс. га) природный пожар произошел в период с 24.03. по 31.03.2006 г. и охватывал территории трех смежных административных районов Гомельской области (Калинковичский, Хойникский, Речицкий).

Т а б л и ц а 1. Сведения о прохождении природных пожаров на территории Беларуси в 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)

Год	Количество пожаров	Общая выгоревшая площадь, га	Статистические параметры выгоревшей площади каждого эпизода пожара, га			
			среднее	стандартная ошибка	стандартное отклонение	максимум
2001	267	17081,3	97,4	9,9	161,7	1224,6
2002	1679	184791,0	177,9	17,6	719,8	14569,9
2003	380	72310,5	288,1	25,1	489,2	4434,6
2004	230	20160,6	138,1	11,4	173,4	1105,0
2005	451	40588,0	116,0	8,3	175,4	1070,1
2006	673	71384,4	115,0	36,8	954,3	23674,4
2007	277	20583,3	101,4	7,2	119,1	750,5
2008	585	41822,1	105,4	7,2	174,3	1562,8
2009	571	37266,5	82,1	5,2	124,6	1250,3
2010	244	13083,2	92,1	9,6	149,8	964,5
2011	117	5887,9	95,0	14,2	153,7	879,9
2012	633	43398,2	177,9	16,2	407,7	3309,5
2013	171	11327,4	169,1	20,0	260,9	1316,2
2014	1066	66807,7	172,2	10,5	342,9	3036,5
2015	1358	92867,4	158,2	14,9	549,3	10334,4
2016	116	7141,8	115,2	16,6	178,9	800,9
2017	110	6273,2	104,6	13,7	143,5	888,9
2018	345	50565,6	218,9	55,7	1034,0	14898,5
2019	756	34748,8	107,6	7,5	207,5	1966,5
2020	505	50821,4	249,1	29,4	659,7	7494,1
За период	10 534	888 910,3	148,0	5,40	553,9	23 674,4

В последнее десятилетие (2011–2020 гг.) выгоревшие от природных пожаров площади по сравнению с предыдущей декадой (2001–2010 гг.) сократились в 1,4 раза и составили 369,8 тыс. га. Эта тенденция является следствием эффективности проведения землепользователями комплекса противопожарных мероприятий, усиления системы оперативного мониторинга. Наболь-

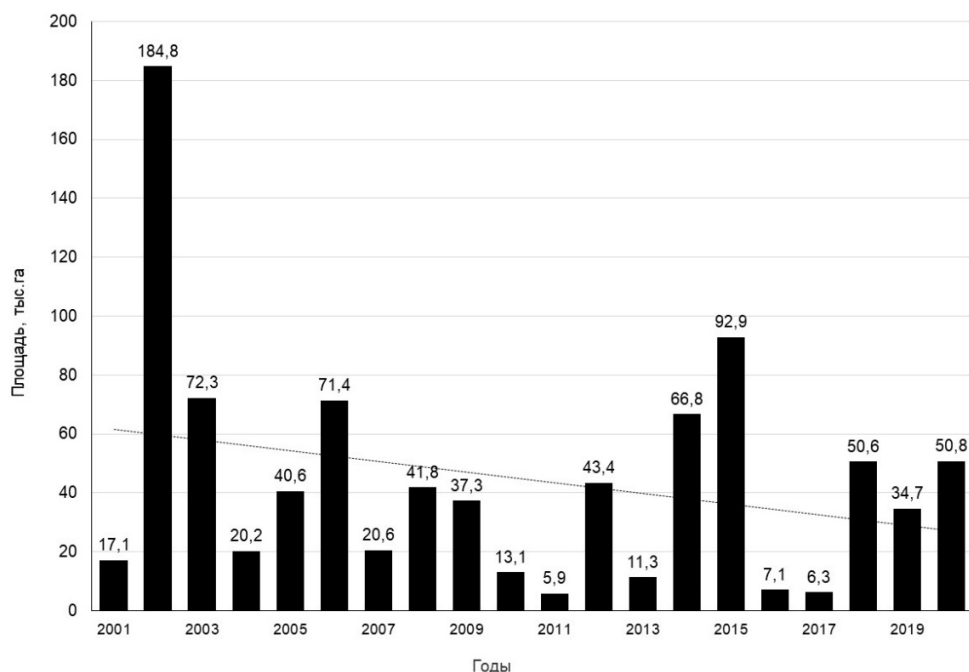


Рис. 3. Динамика выгоревших в результате природных пожаров площадей на территории Беларуси в 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)

шие площади территорий, выгоревших в результате пожаров последнего десятилетия, отмечены в Столинском (35,4 тыс. га), Пинском (33,4 тыс. га), Городокском (16,9 тыс. га), Лунинецком (14,0 тыс. га), Лельчицком (13,9 тыс. га) и Житковичском (13,1 тыс. га) районах.

В целом следует особо обратить внимание на южную часть Беларуси, где в результате осушительной мелиорации в сочетании с экстремальными погодными-климатическими условиями сформировался пожароопасный пояс, который требует проведения комплекса мероприятий, прежде всего по восстановлению гидрологического режима в нарушенных экосистемах. Также весьма напряженная пирологическая обстановка сложилась в юго-восточных районах Беларуси, подверженных радиоактивному загрязнению после аварии на ЧАЭС (Брагинский, Хойникский, Костюковичский, Краснопольский). Пожары в этом регионе приводят к локальному вторичному радиоактивному загрязнению (рис. 4).

Анализ результатов исследований (рис. 5, 6) показал, что площадь ООПТ, пройденная пожарами за последние 20 лет, составляет 342,1 тыс. га (38,5 % от общей площади пожаров). Наибольшие площади поврежденных пожарами на объектах природно-заповедного фонда выявлены в 2002 (83,0 тыс. га), 2012 (21,4 тыс. га), 2014 (25,1 тыс. га), 2015 (35,3 тыс. га) и 2020 гг. (28,9 тыс. га). Рейтинг наиболее пожароопасных территорий возглавляют республиканские заказники (РЗ) «Средняя Припять» (сумма площадей за 2001–2020 гг. – 42,8 тыс. га), «Ольманские болота» (33,8 тыс. га), «Ельня» (14,3 тыс. га), «Простырь» (13,1 тыс. га), Национальный парк «Припятский» (11,8 тыс. га).

Наиболее крупные пожары в последние 20 лет были отмечены на территории РЗ «Ельня» (05.09–26.09.2002 г.) – 14,0 тыс. га, Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (10.06–22.06.2015 г.) – 10,3 тыс. га, РЗ «Ольманские болота» (1–13.09.2015 г.) – 8,8 тыс. га. Анализ табл. 2 показал, что за 20-летний период наблюдений большая часть выгоревших площадей (91,6 %) подверглась воздействию природных пожаров один раз; 8,2 % выгорала 2–4 раза. Менее 0,2 % подвергались выгоранию до 7 раз.

Наиболее высокие значения индекса повторяемости пожаров характерны (рис. 7) для Пинского (FRI = 0,0692), Ивановского (0,065), Речицкого (0,0619), Оршанского (0,0609) и Мозырского (0,0608) административных районов.

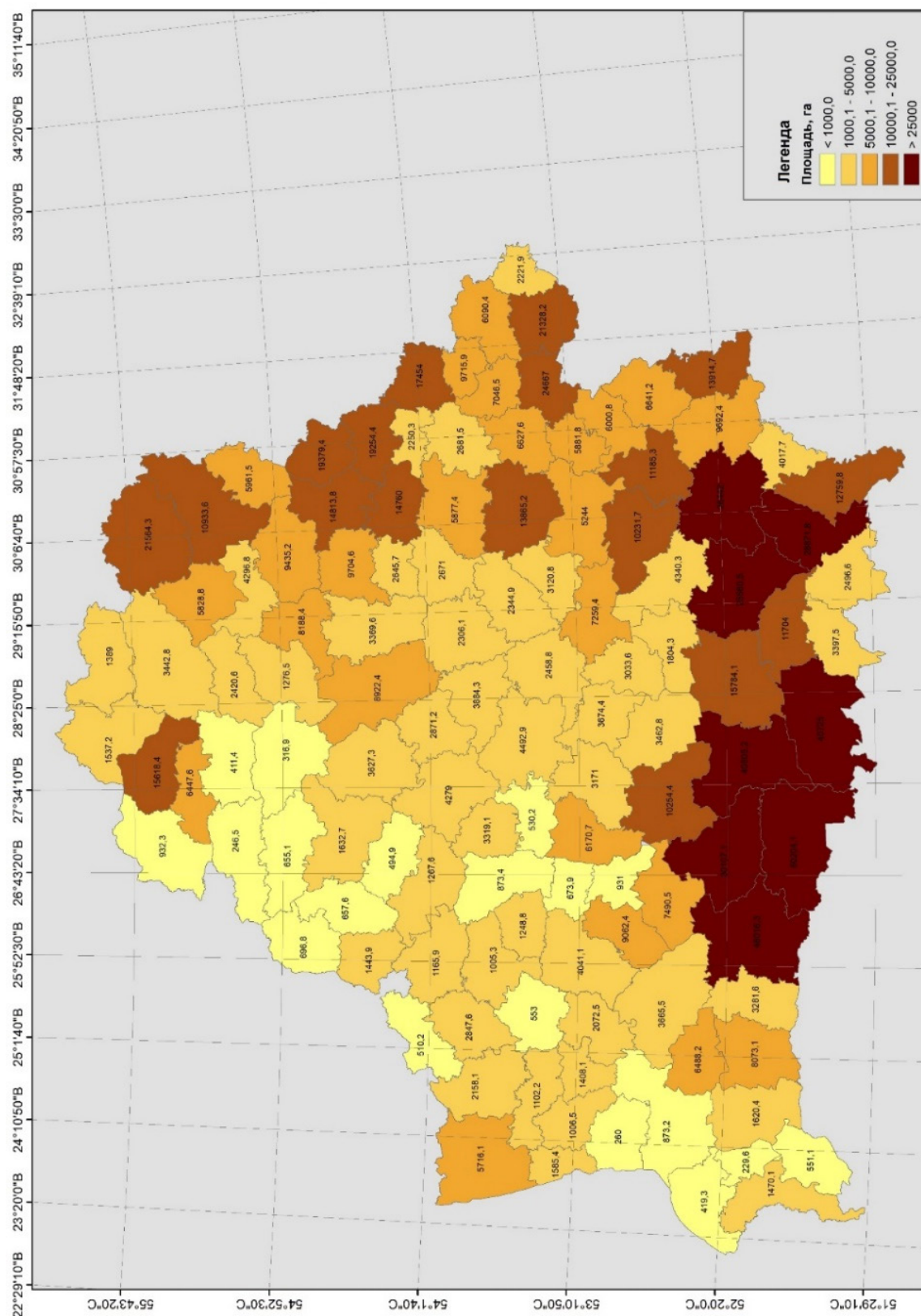


Рис. 4. Распределение площадей экосистем, поврежденных пожарами в 2001–2020 гг. по административным районам Беларуси
(по данным MCD64A1)

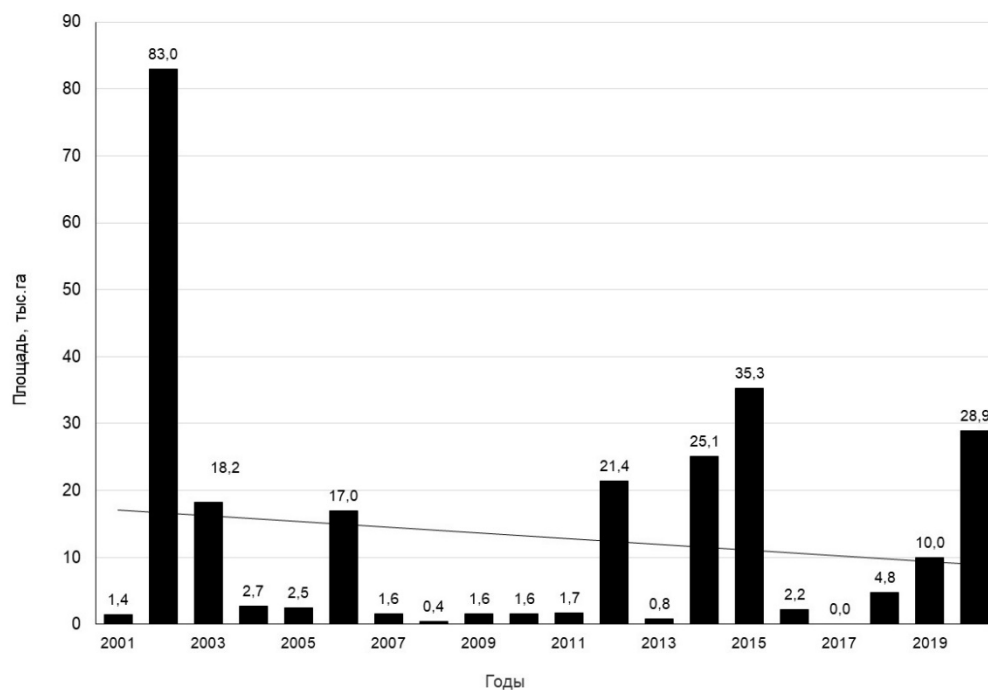


Рис. 5. Динамика пожаров на особо охраняемых природных территориях Беларуси за период 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)

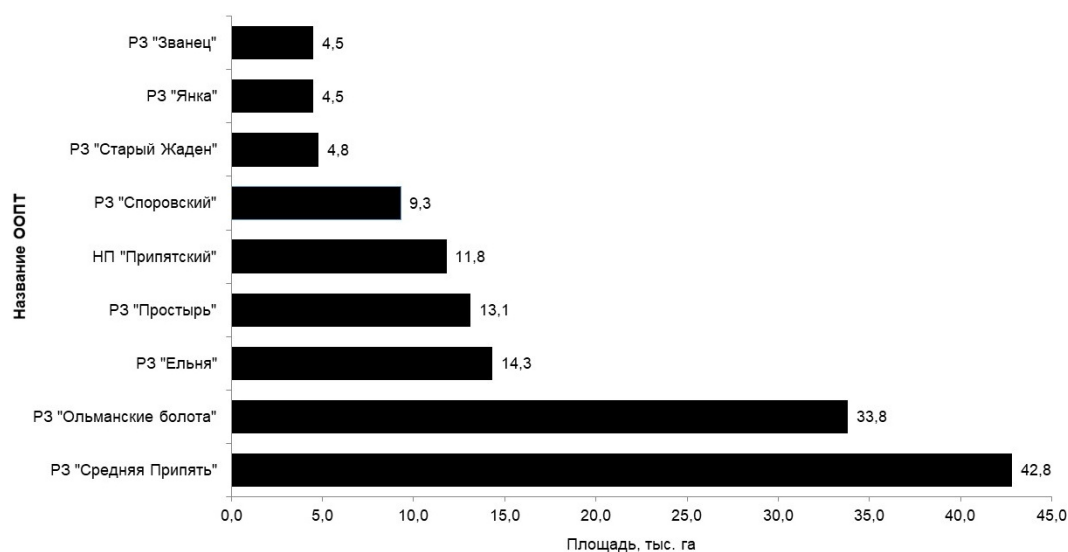


Рис. 6. Распределение выгоревших площадей на особо охраняемых природных территориях (приводится для наиболее пострадавших от природных пожаров ООПТ) за период 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)

Т а б л и ц а 2. Распределение площадей выгоревших участков по частоте возгораний в 2001–2020 гг. (по данным карты распределения значений Fire Recurrence Index)

Частота возгораний за 2001–2020 гг.	Площадь	
	га	%
1	814291,8	91,6
2–3	72953,5	8,2
4–6	1616,5	0,2
>6	48,5	<0,1
Всего	888910,3	100,0

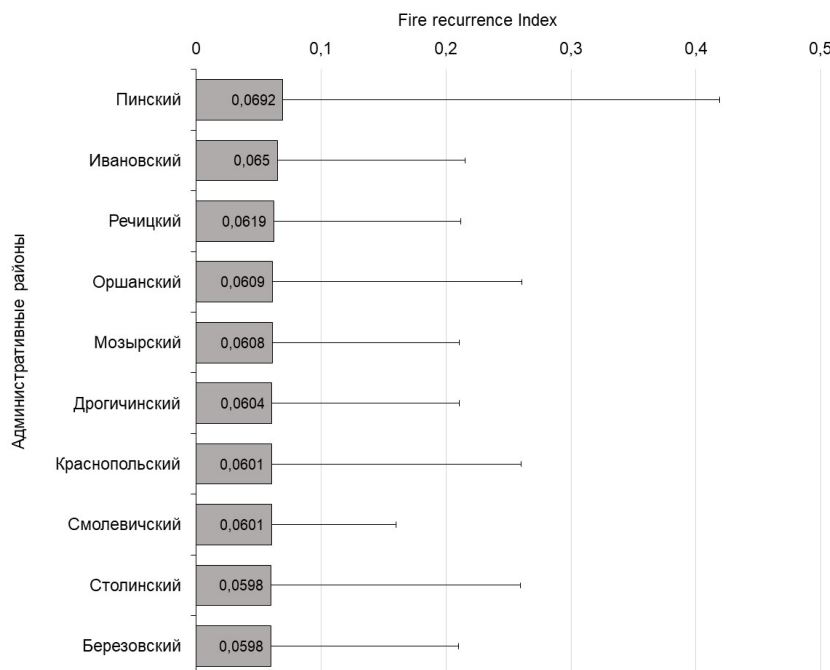


Рис. 7. Вариабельность (среднее и максимальное значения) Fire recurrence Index в разрезе административных районов (приводится для 10 районов с наиболее высоким значением индекса)

Сезонная изменчивость площадей выгоревших территорий за период представлена в табл. 3 и на рис. 8, 9. Наиболее пожароопасные месяцы за цикл наблюдений – март (31,9 % от общей площади выгоревших территорий), апрель (33,9 %), сентябрь (9,1 %). Анализ по отдельным десятилетним периодам показал:

в последнее десятилетие (2011–2020 гг.) резко сократилась площадь летних пожаров: в 2001–2010 гг. их доля составляла в среднем 20,8 % в общей площади пожаров, а в 2011–2020 гг. только 5,5 %;

отмечается существенное снижение доли «осенних» пожаров (сентябрь–ноябрь): с 26,2 (2001–2010 гг.) до 13,8 % (2011–2020 гг.);

возрастающий тренд характерен для «весенних» пожаров, пик которых сместился с марта на апрель: от 51,1 (2001–2010 гг.) до 72,9 % (2011–2020 гг.);

Т а б л и ц а 3. Распределение площадей выгоревших территорий, поврежденных пожарами по месяцам и временным периодам (по данным MCD64A1)

Месяц	Доля от общей площади выгоревших территорий по временным периодам, %		
	2001–2010 гг.	2011–2020 гг.	2001–2021 гг.
Январь	–	0,1	–
Февраль	0,2	7,3	4,9
Март	34,1	30,8	31,9
Апрель	17,0	42,1	33,9
Май	1,7	0,4	0,9
Июнь	1,2	2,3	1,9
Июль	8,9	1,1	3,7
Август	10,7	2,1	4,9
Сентябрь	21	3,2	9,1
Октябрь	5,1	10	8,4
Ноябрь	0,1	0,6	0,4
Общая площадь выгоревших территорий, тыс. га	519,1	369,8	888,9

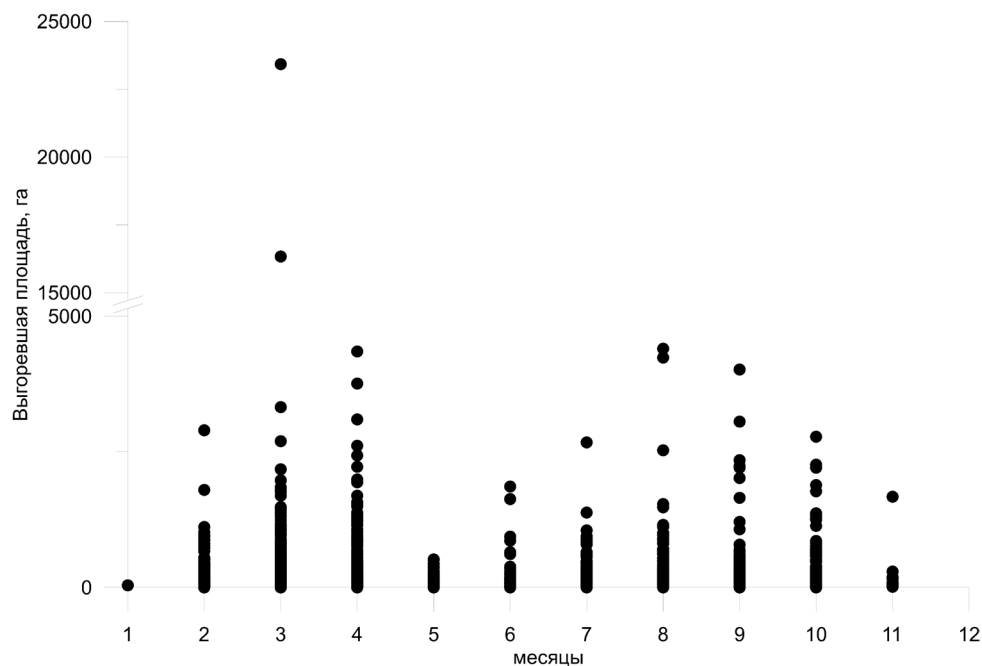


Рис. 8. Сезонная изменчивость площадей выгоревших территорий за период 2000–2020 гг. (по данным MCD64A1)

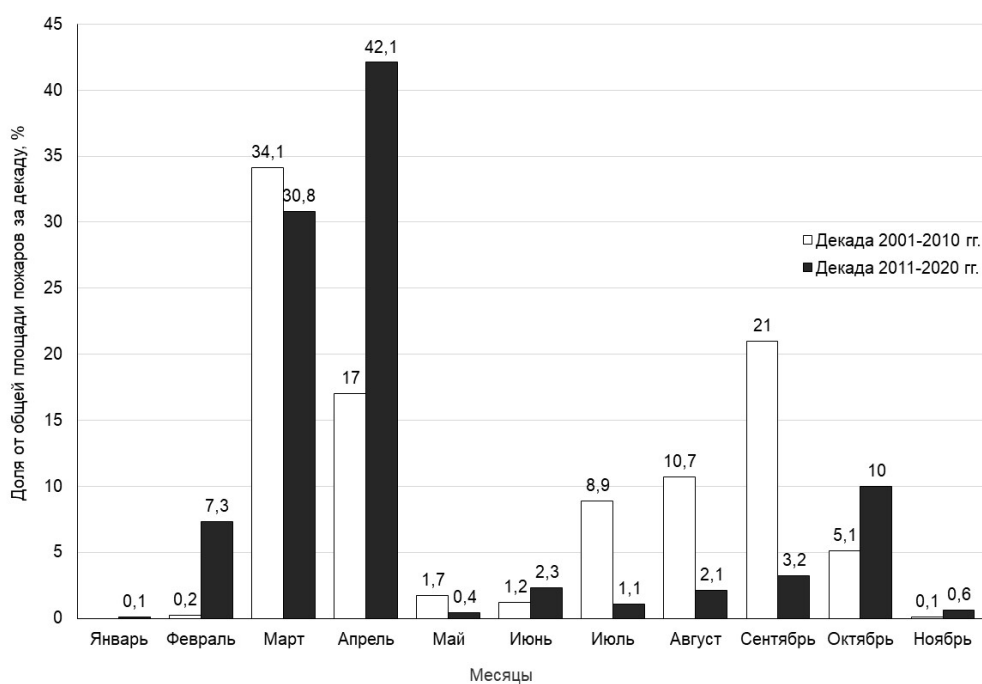


Рис. 9. Распределение площадей, выгоревших от пожаров по месяцам и десятилетним циклам (по данным MCD64A1)

климатические аномалии (малоснежные зимы) объясняют стремительный рост площадей пожаров в зимний период: в декаде 2011–2020 гг. доля пожаров в январе–феврале составила 7,4 %, что существенно выше, чем в предыдущей декаде (2001–2010 гг.), где аналогичный показатель составил 0,2 %.

Результаты совместного анализа данных спутникового мониторинга на основе продукта MCD64A1 и карт растительности тестовых участков позволил сопоставить выгоревшие площа-

ди и преобладающие типы экосистем (табл. 4). Следует отметить, что тенденции по различным секторам Беларуси не являются одинаковыми, что, на наш взгляд, связано с практикой землепользования, а также особенностями структуры растительного покрова.

В северном (Витебская, частично Могилевская области) центральном (частично Минская область) секторах Беларуси основная доля возгораний характерна для агроэкосистем (52,4 %) и лесов (32,6 %). На долю болот и производных внепойменных лугов приходится соответственно 5,5 и 4,7 % выгоревших площадей. В южном тестовом участке (Столинский район Брестской области, Житковичский, Лельчицкий, Петриковский районы Гомельской области) наиболее значительные площади выгорания приходятся на лесные (36,3 %) и болотные экосистемы (32,9 %). На долю пахотных земель приходится 11,9 % выгоревших площадей, кустарниковых зарослей – 7,5 %, пойменных лугов – 6,4 %, нарушенных торфяников – 3,7 %.

Т а б л и ц а 4. Суммарные значения выгоревших площадей с различным типом растительности и доля от общей выгоревшей площади по тестовым территориям за период с 2001 по 2020 г.

Экосистемы	Тестовая территория № 1 (северный и центральный секторы Беларуси)		Тестовая территория № 2 (южный сектор Беларуси)	
	га	%	га	%
Леса	96 408,6	32,6	30 793,3	36,3
Леса недостаточного и неустойчивого увлажнения	4 316,8	1,5	4604,6	5,4
Леса нормального увлажнения	30 793,2	10,4	2877,9	3,4
Леса повышенного увлажнения	50 362,7	17,0	11 223,7	13,2
Леса на торфяных болотах	8 058,0	2,7	11 511,5	13,6
Леса на торфяных болотах (осушенные)	2 877,9	1,0	575,6	0,7
Болота	16 691,6	5,5	27 915,2	32,9
Болота кустарничково-сфагновые верховые	5 467,9	1,8	16 979,4	20,0
Грядово-мочажинные верховые болота	4 604,6	1,5	1 151,1	1,4
Топаи на верховых и переходных болотах, низинные болота	4 892,4	1,6	3 741,2	4,4
Осоково-сфагновые переходные	1 726,7	0,6	6 043,5	7,1
Кустарники	6 331,3	2,1	6 331,3	7,5
Кустарники	6 331,3	2,1	6 331,3	7,5
Пойменные луга	3 453,4	1,2	5 468,0	6,4
Настоящие пойменные луга	2 302,3	0,8	5 180,2	6,1
Сырые и болотистые пойменные луга	1 151,1	0,4	287,8	0,3
Внепойменные луга	13 813,7	4,7	1 151,2	1,3
Настоящие внепойменные луга	12 087,0	4,1	863,4	1,0
Сырые и болотистые внепойменные луга	1 726,7	0,6	287,8	0,3
Антропогенно-нарушенные земли	159 433,9	53,9	13 238,2	15,6
Нарушенные торфяники	4 316,8	1,5	3 165,7	3,7
Агроэкосистемы (пахотные земли)	155 117,1	52,4	10 072,5	11,9

Т а б л и ц а 5. Площади выгоревших участков тестовых территорий, рассчитанные по различным продуктам на основе данных космического мониторинга 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)

Тестовая территория	Сравнение определения площадей выгоревших в 2001–2020 гг. участков по различным спутниковым продуктам, га		Общая точность определения выгоревших территорий, %		
	модель на основе динамики индексов NDVI, NBR, BAI, рассчитанные по данным спутника Landsat [33]	продукт MCD64A1	число контрольных точек	число точно определивших	общая точность
ЛБК «Ольманские болота»	30 967,5	34 504,2	531	424	79,8
ЛБК «Ельня»	12 629,1	14 093,5	330	278	84,2
ЛБК «Болото Мох»	786,8	847,9	19	19	100,0
ЛБК «Долбенишки»	3 884,9	4 408,8	120	96	80,0
Итого	48 268,3	52 676,9	1000	817	81,7

Оценка точностей определения площадей выгоревших участков по различным спутниковым продуктам представлена в табл. 5. Расчет площадей выгоревших территорий на основе динамики индексов NDVI, NBR, BAI и данных продукта MCD64A1 показал сходство моделей в сред-

нем на 91,6 % (пределы по тестовым участкам от 88,1 до 97,8 %). Точность классификации по двум классам (выгоревшая территория, фон) в сравнении с результатами, полученными на основе обработки данных спутников более высокого пространственного разрешения, составила в среднем 81,7 % (пределы 79,8–100 %). В целом площади пожаров <250 га фиксируются со значительной погрешностью (точность в среднем 19,6 %), что ограничивает возможность использования продукта MCD64A1 для локального и регионального мониторинга при незначительных площадях повреждения пожарами.

Закключение. Проанализированы ежегодные серии данных спутникового мониторинга, получаемые со спутников Terra/Aqua. На основании проведенного анализа выявлены пространственно-временные вариации выгораемых площадей, а также их статистические характеристики как для всей территории Беларуси, так и для всех административных районов страны.

Установлено, что наибольшие суммарные значения площадей, выгоревших в результате природных пожаров в 2001–2020 гг., были зафиксированы в 2002 (184,8 тыс. га), 2015 (92,9 тыс. га), 2003 (72,3 тыс. га), 2006 (71,4 тыс. га), 2016 (66,8 тыс. га) и 2020 гг. (50,8 тыс. га). В последнее десятилетие (2011–2020 гг.) площади пожаров по сравнению с предыдущей декадой (2001–2010 гг.) сократились в 1,4 раза. Для территории Беларуси были выделены сезонные пики пожарной активности. Наиболее пожароопасные месяцы за цикл наблюдений: март (31,9 % от общей площади выгоревших территорий), апрель (33,9 %), сентябрь (9,1 %). Анализ частоты горимости площадей на территории Беларуси показал, что за 20-летний период среди поврежденных пожарами территорий 8,4 % площади выгорало в 2 и более раз. В северном и центральном секторах Беларуси основная доля возгораний характерна для агроэкосистем (52,4 %) и лесов (32,6 %). В южном тестовом участке наиболее значительные площади выгорания приходятся на леса (36,3 %) и болота (32,9 %).

Установлено, что общая точность определения границ полностью выгоревших территорий (при минимальной выгоревшей площади в эпизоде пожара – 787 га) по данным MCD64A1 в среднем составляет 81,7 %. Показано, что площади пожаров менее 250 га фиксируются со значительной погрешностью (точность в среднем 19,6 %), что ограничивает возможность использования продукта MCD64A1 для локального и регионального мониторинга при незначительных площадях (<250 га) повреждения пожарами. Для этих целей мониторинг пожаров необходимо дополнять данными спутников более высокого пространственного разрешения.

Вместе с тем предложенные подходы позволяют получать качественное и экономически выгодное информационное обеспечение для систем принятия управленческих решений по уменьшению и предотвращению ущерба от природных пожаров на региональных уровнях на основе данных дистанционного зондирования.

Список использованных источников

1. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами / Н. В. Лукина [и др.] // Лесоведение. – 2015. – № 4. – С. 243–254.
2. Ильина, В. Н. Пирогенное воздействие на растительный покров / В. Н. Ильина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2011. – Т. 20, № 2. – С. 4–30.
3. Chu, T. Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review / T. Chu, X. Guo // Remote Sensing. – 2014. – N 6. – P. 470–520.
4. Воробьев, Ю. Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
5. Бондур, В. Г. Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. / В. Г. Бондур // Исследование Земли из космоса. – 2011. – № 3. – С. 3–13.
6. Бондур, В. Г. Космический мониторинг воздействия природных пожаров на состояние различных типов растительного покрова в федеральных округах Российской Федерации / В. Г. Бондур, М. Н. Цидилина, Е. В. Черепанова // Исследование Земли из космоса. – 2019. – № 3. – С. 13–32.
7. Бондур, В. Г. Космический мониторинг эмиссий малых газовых компонент и аэрозолей при природных пожарах в России / В. Г. Бондур // Исследование Земли из космоса. – 2015. – № 6. – С. 21–35.
8. Бондур, В. Г. Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей на территории северной Евразии по данным космического мониторинга / В. Г. Бондур, К. А. Гордо, В. Л. Кладов // Исследование Земли из космоса. – 2016. – № 6. – С. 3–20.

9. Бондур, В. Г. Космический мониторинг площадей, пройденных огнем, и объемов эмиссий вредных примесей при лесных и других природных пожарах на территории Российской Федерации / В. Г. Бондур, К. А. Гордо // Исследование Земли из космоса. – 2018. – № 3. – С. 41–55.
10. Швиденко, А. З. Климатические изменения и лесные пожары в России / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко // Лесоведение. – 2013. – № 5. – С. 50–61.
11. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ / С. А. Барталев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 2. – С. 9–27.
12. Бондур, В. Г. Принципы построения космической системы мониторинга Земли в экологических и природно-ресурсных целях / В. Г. Бондур // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1995. – № 2. – С. 14–38.
13. Бондур, В. Г. Методы аэрокосмической диагностики лесных экосистем / В. Г. Бондур, В. Ф. Крапивин, И. И. Потапов // Экологические системы и приборы. – 2010. – № 3. – С. 17–26.
14. Бондур, В. Г. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф / В. Г. Бондур, В. Ф. Крапивин, В. П. Савиных. – М.: Научный мир, 2009. – 692 с.
15. Бондур, В. Г. Концепция создания систем мониторинга окружающей среды в экологических и природно-ресурсных целях / В. Г. Бондур, А. И. Савин // Исследование Земли из космоса. – 1992. – № 6. – С. 70–78.
16. Савин, А. И. Научные основы создания и диверсификации глобальных аэрокосмических систем / А. И. Савин, В. Г. Бондур // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 1. – С. 46–62.
17. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. В. Г. Бондура. – М.: Научный мир, 2012. – 558 с.
18. Бондур, В. Г. Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации / В. Г. Бондур // Исследование Земли из космоса. – 2014. – № 1. – С. 4–16.
19. Бондур, В. Г. Методы и программы обработки и классификации аэрокосмических изображений / В. Г. Бондур, С. А. Старченков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – № 3. – С. 118–143.
20. Бондур, В. Г. Анализ текстуры радиолокационных изображений растительности / В. Г. Бондур, Т. Н. Чимитдоржиев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2008. – № 5. – С. 9–14.
21. Бондур, В. Г. Дистанционное зондирование растительности оптико-микроволновыми методами / В. Г. Бондур, Т. Н. Чимитдоржиев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2008. – № 6. – С. 64–73.
22. Pan-Eurasian Experiment (PEEX): Towards a holistic understanding of the feedbacks and interactions in the land-atmosphere-ocean-society continuum in the Northern Eurasian region / H. K. Lappalainen [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2016. – Vol. 16 (22). – P. 14421–14461.
23. Analysing forest recovery after wildfire disturbance in boreal Siberia using remotely sensed vegetation indices / C. M. Gonzalez [et al.] // Global Change Biology. – 2009. – Vol. 15. – P. 561–577.
24. Chu, T. Remote sensing approach to detect post-fire vegetation regrowth in Siberian boreal larch forest / T. Chu, X. Guo, K. Takeda // Ecological Indicators. – 2016. – Vol. 62. – P. 32–46.
25. Post-Fire Vegetation Succession and Surface Energy Fluxes Derived from Remote Sensing / X. Li [et al.] // Remote Sensing. – 2018. – Vol. 10. – P. 1000.
26. Analyzing spatial and temporal variability in short-term rates of post-fire vegetation return from Landsat time series / R. J. Frazier [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2018. – Vol. 205. – P. 32–45.
27. Bondur, V. G. Satellite monitoring of wildfires and their effects in the Northern Eurasia / V. G. Bondur, K. A. Gordo // 17-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, 29 June – 5 July, 2017. – Albena, Bulgaria. – P. 227–238.
28. Satellite-based Mapping of Fires in Russia: New Products for Fire Management and Carbon Cycle Studies / A. I. Sukhinin [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2005. – Vol. 94. – P. 428.
29. Giglio, L. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product / L. Giglio [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2018. – Vol. 217. – P. 72–85.
30. Ten Years of Global Burned Area Products from Spaceborne Remote Sensing – A Review: Analysis of User Needs and Recommendations for Future Developments / F. Mouillot [et al.] // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2014. – Vol. 26. – P. 64–79.
31. Spatial and temporal intercomparison of four global burned area products / M. L. Humber [et al.] // International Journal of Digital Earth. – 2018. – N 23. – P. 1–25.
32. Overview of Land Degradation Neutrality (LDN) in Europe and Central Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, 2022. – 88 p.
33. Русецкий, С. Г. Оценка современной пирологической ситуации на территории лесоболотного комплекса «Ольманские болота». История пожаров / С. Г. Русецкий, Д. Ю. Жилинский, Д. Г. Груммо // Ботаника: исследования. – 2020. – Вып. 49. – С. 124–133.
34. Флора и растительность ландшафтного заказника «Ельня» / Д. Г. Груммо [и др.]; под ред. Н. Н. Бамбалова. – Минск: Минсктиппроект, 2010. – 200 с.
35. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change / M. C. Hansen [et al.] // Science. – 2013. – Vol. 342. – P. 850–853.
36. Картографирование растительности торфяных 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 (22–24 сентября 2021 г., Минск–Витебск) / Ин-т эксперимент. ботаники НАН Беларуси, Витеб. гос. ун-т им. П. М. Машерова. – Минск: Колорград, 2021. – С. 29–37.

Поступила 23.02.2022

А. Ю. Карпаева

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com*

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВИДОВОГО СОСТАВА И ЧИСЛЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В ПОДОГРЕВАЕМОЙ И НЕ ПОДОГРЕВАЕМОЙ ЗОНАХ ОЗЕРА ЛУКОМСКОЕ

Аннотация. Изучена сезонная динамика видового состава и численности фитопланктона в подогреваемой и не подогреваемой, а также литоральной и пелагических зонах оз. Лукомское. Структура сообщества и уровень развития фитопланктона в зонах с различным температурным режимом закономерно отличаются, и в каждый из сезонов имеют свои закономерности. Уровень количественного развития фитопланктона выше в зонах с подогревом только в ноябре и практически одинаковый в апреле. Для этих месяцев для подогреваемой зоны характерно более интенсивное развитие синезелёных (цианобактерий) и менее интенсивное диатомовых. В летний период общая численность фитопланктона выше в зоне с естественным температурным режимом, где преобладает отдел Cyanophyta.

Ключевые слова: фитопланктон, сезонная динамика, видовой состав, численность, температура

A. U. Karpaeva

*¹Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com*

SEASONAL DYNAMICS OF THE SPECIES COMPOSITION AND ABUNDANCE OF PHYTOPLANKTON IN THE HEATED AND NON-HEATED ZONES OF LAKE LUKOMSKOE

Abstract. The seasonal dynamics in the species composition and abundance of phytoplankton in the heated and unheated, as well as littoral and pelagic zones of Lake Lukomskoe were studied. The community structure and the level of phytoplankton development in zones with different temperature regimes naturally vary, and each of the seasons has its own patterns. The level of quantitative development of phytoplankton is higher in heated zones only in November. In April, the abundance of phytoplankton in both zones is practically the same. In these months, the heated zone is characterized by a more intensive development of Cyanophyta and less intensive of diatoms. In summer, the total abundance of phytoplankton is higher in the zone with a natural temperature regime, where the Cyanophyta division predominates.

Keywords: phytoplankton, seasonal dynamics, species composition, abundance, temperature

А. Ю. Карпаева

*Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com*

СЕЗОННАЯ ДЫНАМІКА ВІДАВОГА СКЛАДУ І КОЛЬКАСЦІ ФІТАПЛАНКТОНА Ў ПАДАГРАВАЕМАЙ І НЕ ПАДАГРЭВАЕМАЙ ЗОНАХ ВОЗЕРА ЛУКОМСКАЕ

Анатацыя. Вывучана сезонная дынаміка змены відавога складу і колькасці фітапланктону ў падаграваемай, не падаграваемай, а таксама літаральнай і пелагічнай зонах возера Лукомскае. Структура супольнасці і ўзровень развіцця фітапланктону ў зонах з розным тэмпературным рэжымам заканамерна адрозніваюцца і ў кожны з сезонаў мае свае заканамернасці. Узровень колькаснага развіцця фітапланктону вышэй у зонах з падагрэвам толькі ў лістападзе, і практычна аднолькавы ў красавіку. Для гэтых месяцаў у зоне, якая мае падагрэў, характэрна больш інтэнсіўнае развіццё сінезелёных (цыянабактэрыяў) і меней інтэнсіўнае дыятомавых. У летні перыяд агульная колькасць фітапланктону вышэй у зоне з натуральным тэмпературным рэжымам, дзе пераважае аддзел Cyanophyta.

Ключавыя словы: фітапланктон, сезонная дынаміка, відавы склад, колькасць, тэмпература

Введение. При проведении экологического мониторинга водных экосистем важное место занимает исследование сообщества планктонных водорослей. Фитопланктон, являясь начальным звеном трофической цепи водоема, первым откликается на изменение условий обитания. Реакция фитопланктона выражается в изменении видового состава водорослей, характера сезонной сукцессии и в изменении количественных характеристик.

Интерес к изучению экосистемы оз. Лукомское обусловлен интенсивным и разноплановым использованием его в хозяйственной деятельности [1]. Экосистема оз. Лукомское последние 49 лет находится в условиях интенсивного антропогенного воздействия, основными факторами которого являются сброс подогретой воды с охладительных установок ГРЭС, дополнительное поступление биогенных элементов с комбикормами садкового комплекса, расположенного

в сбросном канале ГРЭС и др. Влияние подогрева особенно распространяется на северную, прилегающую к сбросу, часть водоема [2].

Цель данного исследования – оценить сезонную динамику видового состава фитопланктона в зонах с различным температурным режимом.

Материалы и методы. Одно из наиболее крупных озер Беларуси – оз. Лукомское с 1973 г. используется в качестве водоема-охладителя Лукомской ГРЭС. Котловина озера подпрудного типа имеет площадь 36,7 км², среднюю глубину 6,7 м, объем водной массы 243 млн м³ [3].

Особенности строения котловины способствуют интенсивному ветровому перемешиванию водных масс как по вертикали, так и по акватории. В период открытой воды преобладает гомотермия, относительно устойчивое понижение температуры к придонным горизонтам отмечается крайне редко – в периоды длительного штиля. Распространение и мощность зоны подогрева непостоянны и также зависят от направления и силы ветра. Зона с естественным температурным режимом может достигать 90 %-ной водной массы и дна озера. Согласно расчетам, среднегодовая температура воды в результате функционирования озера в качестве водоема-охладителя возросла в среднем на 1,4 °С, что является одной из причин усиления продукционных процессов в экосистеме [2]. В настоящее время среднее за год превышение температур воды на сбросе над температурами забираемой из озера воды составляет 5,53–8,18 °С [4].

Материалом для настоящей работы послужили пробы фитопланктона, собранные в период 22.04. по 10.11.2020 г. Отбор проб проводили на четырех станциях в подогреваемой литоральной и пелагической зонах и не подогреваемой литоральной и пелагической зонах соответственно. С каждой станции отбирали по три пробы фитопланктона. Разница температуры воды в поверхностном слое составила в среднем 1,8–2,0 °С, у дна – около 1 °С.

Отбор и камеральную обработку проб производили по общепринятым гидробиологическим методам [3]. На месте отбора проводили фиксацию формалином, концентрация которого составляла 2 %. Концентрировали фитопланктон методом отстаивания от изначального объема 0,5 л. Плотность (численность) фитопланктона определяли счетным методом в камере Фукса–Розенталя.

Исследования проводили с помощью светового микроскопа фирмы micro Austria и CarlZeiss (модель Axiostarplus) при увеличении $\times 100$, $\times 200$ и $\times 400$.

Результаты и их обсуждение. *Общая характеристика таксономического состава фитопланктона оз. Лукомское.* Определяли и проанализировали видовой состав водорослей фитопланктона на различных станциях (подогреваемой литорали, подогреваемой пелагиали, не подогреваемой пелагиали, не подогреваемой литорали). В результате исследований выявлено 54 вида водорослей.

Анализ таксономической структуры фитопланктона оз. Лукомское показал, что здесь представлены 7 отделов водорослей, включающих 10 классов, 14 порядков, 32 семейства, 38 родов и 54 вида.

Количество видов в отделах распределено неравнозначно (таблица). Наибольшее видовое богатство характерно для отдела Chlorophyta (39 % общего числа видов). Зелёные водоросли представлены 21 видом, которые относятся к 13 родам из 12 семейств, объединенных в 4 порядка. По числу видов выделяются роды Oocystis (3), Ankistrodesmus (3), Scenedesmus (3). Остальные роды представлены одним-двумя видами. Значительную часть видового богатства также составляют представители отдела Bacillariophyta. На долю этого отдела приходится 35 % общего числа видов. Среди видов этого отдела выделяются Cymbella (3) и Fragilaria (3). Большой вклад в видовое богатство вносит отдел Cyanophyta – 8 видов, что составляет 15 % от общего числа видов. Такое соотношение числа видов водорослей фитопланктона в оз. Лукомское в целом характерно для такого типа озёр и совпадает с результатами предыдущих исследований [5].

Таксономический состав альгофлоры фитопланктона приведен в таблице. Список таксономического состава водорослей составлен в соответствии с системой, предложенной Т. М. Михеевой [6].

Таксономическая структура фитопланктона оз. Лукомское

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
Cyanophyta	1	2	6	7	8
Cryptophyta	1	1	1	1	2
Dinophyta	1	1	1	1	1
Chrysophyta	1	1	1	1	2
Bacillariophyta	2	4	10	14	19
Chlorophyta	3	4	12	13	21
Euglenophyta	1	1	1	1	1
Всего	10	14	32	38	54

Таким образом, соотношение отделов водорослей фитопланктона в водоеме-охладителе в целом соответствует структуре альгофлоры Беларуси [5].

Сезонная динамика численности фитопланктона оз. Лукомское в 2020 г. Характер сезонных изменений состава сообщества и уровня развития фитопланктона оз. Лукомское в разные вегетационные сезоны имел значительные различия (рис. 1). Большая часть исследований были приурочены к летнему периоду и началу осени – середине вегетационного сезона [5].

Во второй половине апреля наблюдался пик вегетации диатомовых, что связано прежде всего с прогреванием воды и повышением концентрации биогенных элементов. Среди доминирующих видов преобладали *Asterionella formosa* (Hassall, 1850), *Cyclotella* sp. (F.T. Kützing), *Fragillaria crotonensis* (Kitton, 1869). В роли субдоминанта выступал *Scenedesmus quadricauda* (Hansgirg 1890). Средняя численность фитопланктона в этот период составила 1,89 млн кл./л.

В начале июня, после пика диатомей средняя численность фитопланктона резко снизилась до 0,90 млн кл./л. Доминирующие в апреле виды диатомовых замещались представителями отдела Chlorophyta. Наибольшая численность была характерна для *Closterium gracili* (Bréb. ex Ralfs, 1848). В качестве субдоминанта выступала *Cyclotella* sp., а также представитель синезелёных *Anabaena spiroides* (Klebahn 1895). Их численность составила 0,2 и 0,4 млн кл./л соответственно.

В сентябре 2020 г. массового развития синезелёных не наблюдалось. Это можно объяснить относительно невысокими температурами, а также низким содержанием биогенных элементов: азота (1,85 мг/л) и фосфора (0,60 мг/л). Поэтому пик численности в этом году приходился на весенний период. В сентябре в качестве доминантов выступали такие виды, как *Aphanotece clathrata* (West & G.S. West, 1906), *Microcystis aeruginosa* (Kützing, 1846), *Microcystis pulverea* (Elenkin 1938). Наиболее разнообразны в этот период были протококковые. Среди них преобла-

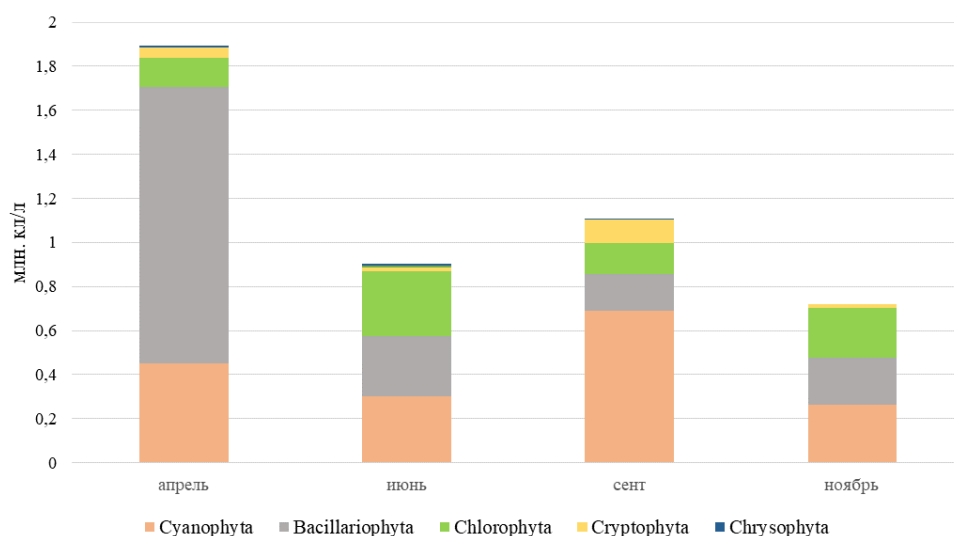


Рис. 1. Сезонные изменения средней численности разных отделов в фитопланктоне для всех станций оз. Лукомское

дали *Pediastrum tetras* (Ralfs, J. 1845), а также виды рода *Oocystis*. Средняя численность в этот период составила 1,11 млн кл./л.

К ноябрю количественные показатели снижались. Численность в подогреваемой пелагиале была максимальной и составила 1,06 млн кл./л, в среднем по озеру она равнялась 0,72 млн кл./л. Снижалась доля *Cyanophyta*, хотя их численность была значительно выше, чем в прошлые годы. Это также можно объяснить высокими для ноября средними температурами (+8,5 °C). Из диатомовых преобладали *A. formosa*, *Cyclotella sp.*, *F. crotonensis*.

Сезонная динамика видового состава и численности фитопланктона в подогреваемой и не подогреваемой зонах оз. Лукомское. Для исследования влияния подогреваемых вод ГРЭС на фитопланктонные сообщества проводили отбор проб на четырех станциях: подогреваемой и не подогреваемой пелагиале и в подогреваемой и не подогреваемой литорали.

Апрель. В апреле обе зоны практически не отличались по численности и видовому составу. Численность в подогреваемой и не подогреваемой пелагиале составила 1,87 и 1,90 млн кл./л соответственно.

Видовой состав на станциях отличался незначительно. В подогреваемой зоне доля отдела *Chlorophyta* была несколько выше (30 % от общего количества видов), чем в не подогреваемой

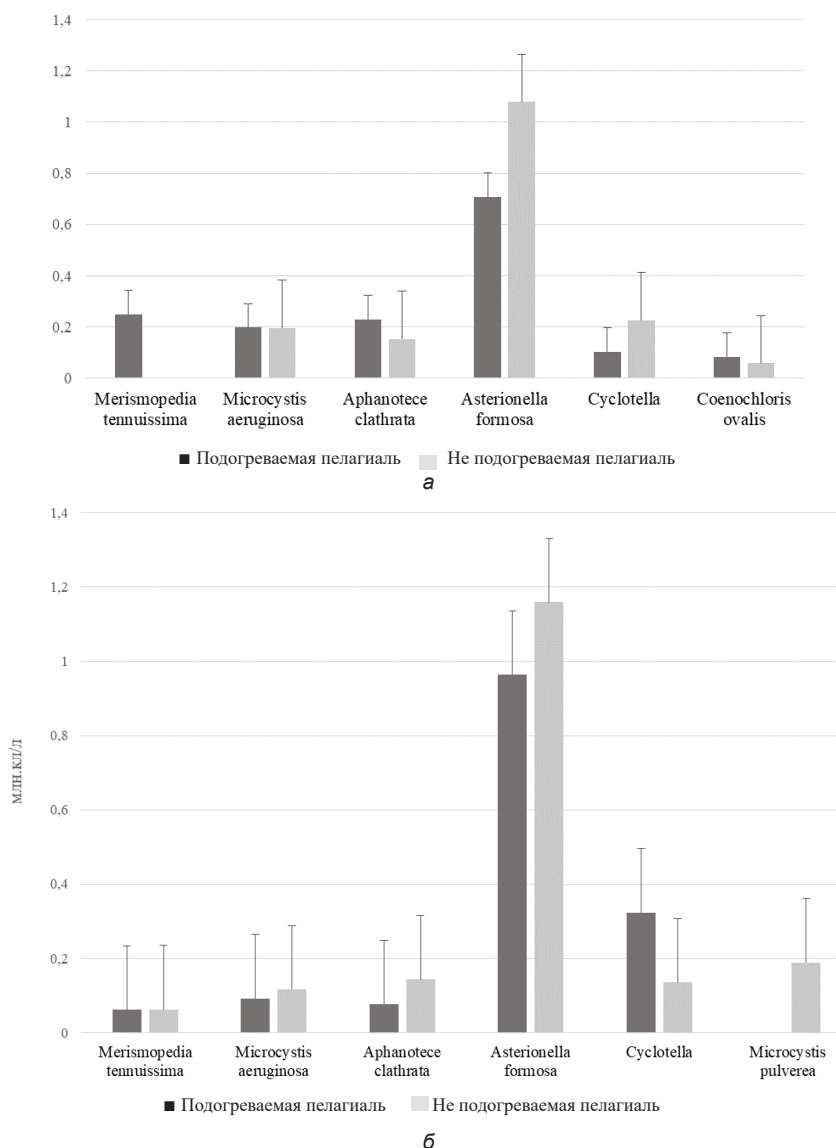


Рис. 2. Численность некоторых видов фитопланктона в апреле на разных станциях: а – литераль, б – пелагиаль

(19 % от общего количества). Количество обнаруженных видов на не подогреваемой станции было меньше, чем на подогреваемой и составило 16 и 12 видов соответственно.

На всех станциях в этот период по численности доминировали диатомовые. Наибольшая численность была характерна для *A. formosa*, 0,96 млн кл./л на станции с подогревом и 1,16 млн кл./л на станции без подогрева. Численность *Cyclotella sp.* составила 0,32 млн кл./л на станции с подогревом и 0,135 млн кл./л на станции без подогрева.

Такие же закономерности были характерны и для литоральной зоны. Численность в подогреваемой и не подогреваемой литорали составила 1,86 и 1,96 млн кл./л соответственно. В подогреваемой зоне доля диатомовых была ниже (30 % от общего количества видов), чем в не подогреваемой (47 % от общего количества). На станции с подогревом по количеству видов преобладали зелёные водоросли – 6 видов и только 4 вида диатомовых. Общее количество обнаруженных видов на подогреваемой станции было меньше, чем на не подогреваемой и составило 15 и 17 видов соответственно. Однако эти отличия не являются значительными.

Наибольшая численность на литоральных станциях была характерна для *A. formosa*, 0,1 млн кл./л на станции с подогревом и 1,07 млн кл./л на станции без подогрева; *Cyclotella sp.* – 0,1 млн кл./л на станции с подогревом и 0,22 млн кл./л на станции без подогрева (рис. 2).

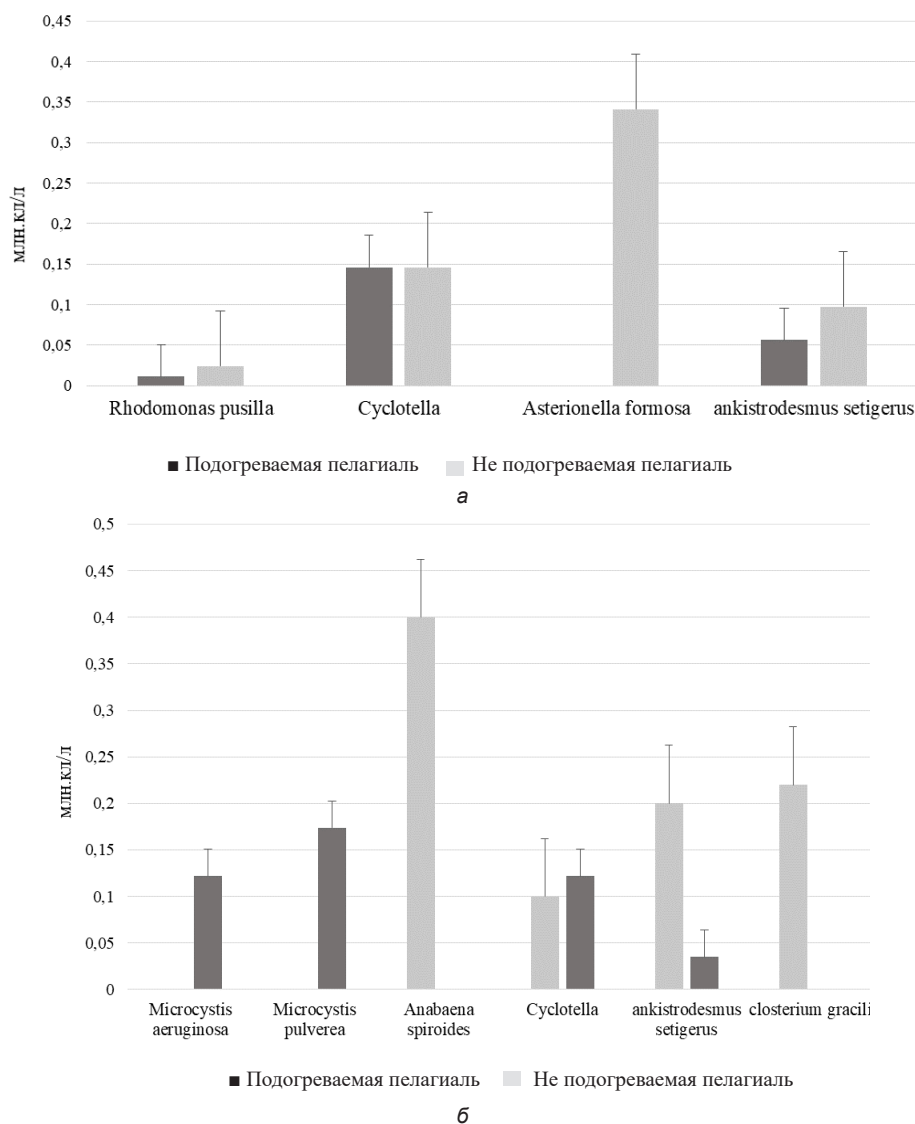


Рис. 3. Численность некоторых видов фитопланктона в июне на разных станциях: а – литораль, б – пелагиаль

Таким образом, можно сделать вывод, что станция с естественным температурным режимом характеризуется большим видовым разнообразием и численностью диатомовых, чем зона с подогревом. Кроме того, количество видов синезелёных также выше в зоне с подогревом.

Июнь. Для июньского фитопланктона в целом характерна небольшая численность и не-большое видовое богатство. По видовому составу водоросли исследуемых зон озера отличались незначительно. Количество видов в подогреваемой пелагиале – 11, не подогреваемой – 10. Общая численность фитопланктона составила 1,14 и 0,65 млн кл./л для подогрева и зоны с естественным температурным режимом соответственно.

В зоне с подогревом по численности и количеству видов преобладали зелёные водоросли, в то время как на не подогреваемой доминировали диатомовые. Численность синезелёных также была выше в зоне подогрева – 0,4 млн кл./л у *A. spiroides*. В зоне без подогрева численность синезелёных составила 0,29 млн кл./л (рис. 3).

Для июньского фитопланктона были характерны те же закономерности, что наблюдались в апреле. Показатели видового разнообразия и выровненности ниже, чем в предыдущем месяце (индекс Шеннона): 0,81 для подогреваемой зоны и 0,86 для не подогреваемой. Дисперсии выборок различаются статистически незначимо.

Для литоральной зоны характерны следующие закономерности: подогреваемая зона характеризуется более высоким видовым разнообразием, количество видов на ней составило – 17, в не подогреваемой – 10. Численность в зоне с подогревом составила 0,84 млн.кл/л, в зоне без подогрева несколько больше – 0,99 млн кл./л за счет преобладания *A. formosa*, численность которой составила 0,34 млн кл./л.

Процентное соотношение отделов в этих зонах также различается. В зоне подогрева преобладают зелёные – 39 % и диатомовые – 22 %. В зоне без подогрева диатомовые составили 37% от общего количества видов, зеленые – 27 %. В целом наибольшая численность характерна для двух видов диатомовых: *Cyclotella sp.* и *A. formosa*.

Таким образом, между подогреваемой и не подогреваемой зонами наблюдаются заметные различия. В зоне без подогрева как в литорали, так и в пелагиали доминируют диатомовые как по численности, так и по количеству видов. В зоне с подогревом по количеству видов преобладает отдел Chlorophyta.

Сентябрь. В сентябре на всех станциях в фитопланктоне преобладали цианобактерии, однако ярко выраженного пика цветения не наблюдалось. Максимальная численность составила 1,5 млн кл./л в литоральной зоне с естественным температурным режимом.

Видовой состав фитопланктона пелагиали в обеих температурных зонах был практически идентичен. По количеству представленных видов выделялся отдел Bacillariophyta (41 % общего количества видов в зоне подогрева и 37 % в не подогреваемой зоне). Кроме того, по количеству видов выделялся отдел Chlorophyta: 29 и 27 % для подогрева и без соответственно.

Цианобактерии в сентябре преобладали по численности. Среди них доминировали *M. aeruginosa*, численность которых была выше в зоне с естественным температурным режимом и составила 0,5 млн кл./л, а также *A. clathrata*, численность также была выше в не подогреваемой зоне (0,34 млн кл./л). В подогреваемой численность *M. aeruginosa* и *A. clathrata* составила 0,24 и 0,25 млн кл./л соответственно (рис. 4).

Что касается фитопланктона литоральной зоны, он характеризуется значительно большей численностью и видовым разнообразием. Общая численность фитопланктона в подогреваемой зоне составила 1,14 млн кл./л, в не подогреваемой – 1,5 млн кл./л. По видовому богатству в литоральной зоне синезелёные являются доминантами, их доля на обеих станциях составляет 36 % общего числа видов. На втором месте находится отдел Bacillariophyta.

К доминирующим по численности видам также относятся синезелёные: *M. aeruginosa*, *M. pulvereя*, *A. clathrata*, *A. spiroides*. В качестве субдоминантов выступала криптофитовая водоросль *Rhodomonas pusilla* (H.Bachm.). Численность этих видов была несколько выше в зоне с естественным температурным режимом (рис. 4).

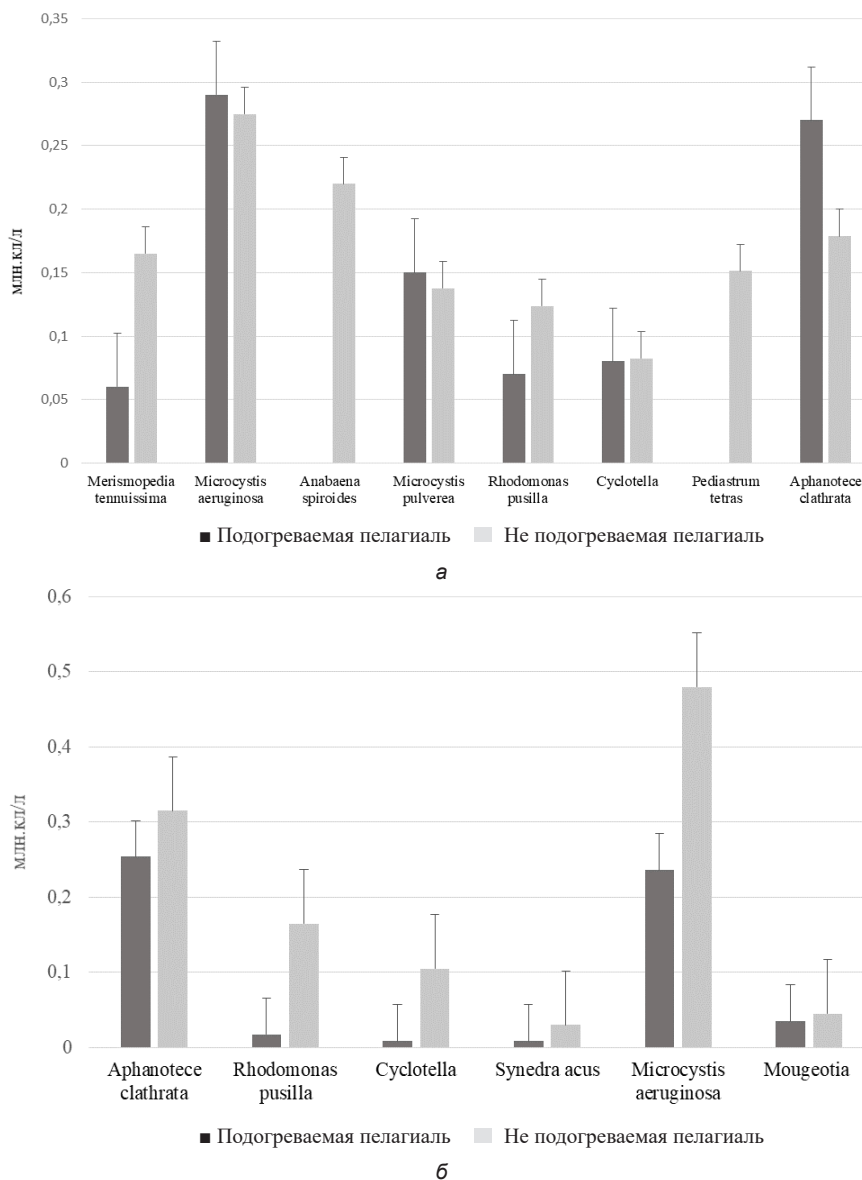


Рис. 4. Численность некоторых видов фитопланктона в сентябре на разных станциях:
а – литораль, б – пелагиаль

Анализ сентябрьского фитопланктона показал, что сезонная динамика для озера в целом свойственна большинству естественных водных экосистем. Литоральная зона является лучше прогреваемой зоной озера и местом концентрации большого количества биогенных элементов, в связи с этим численность в этой зоне всегда выше. Кроме того, подтверждается тот факт, что развитие фитопланктона на протяжении большей части вегетационного сезона выше в зоне с естественным температурным режимом.

Ноябрь. В ноябре средняя численность во всех зонах заметно снизилась. Доминантами по численности в пелагиале обеих зон стали диатомовые. Однако по количеству представленных видов на диатомовые приходилось 33 %, на отдел Chlorophyta – 33 %. В не подогреваемой зоне диатомовые составили 50 % общего числа видов.

Цианобактерии в зоне с подогревом по численности и количественному разнообразию видов заметно преобладали по сравнению с не подогреваемой зоной. Эту закономерность можно объяснить влиянием подогрева на развитие синезелёных. Однако различия на двух станциях пелагиали были небольшие. Из доминантов выделялись *A. formosa* и *F. crotonensis*. В зоне

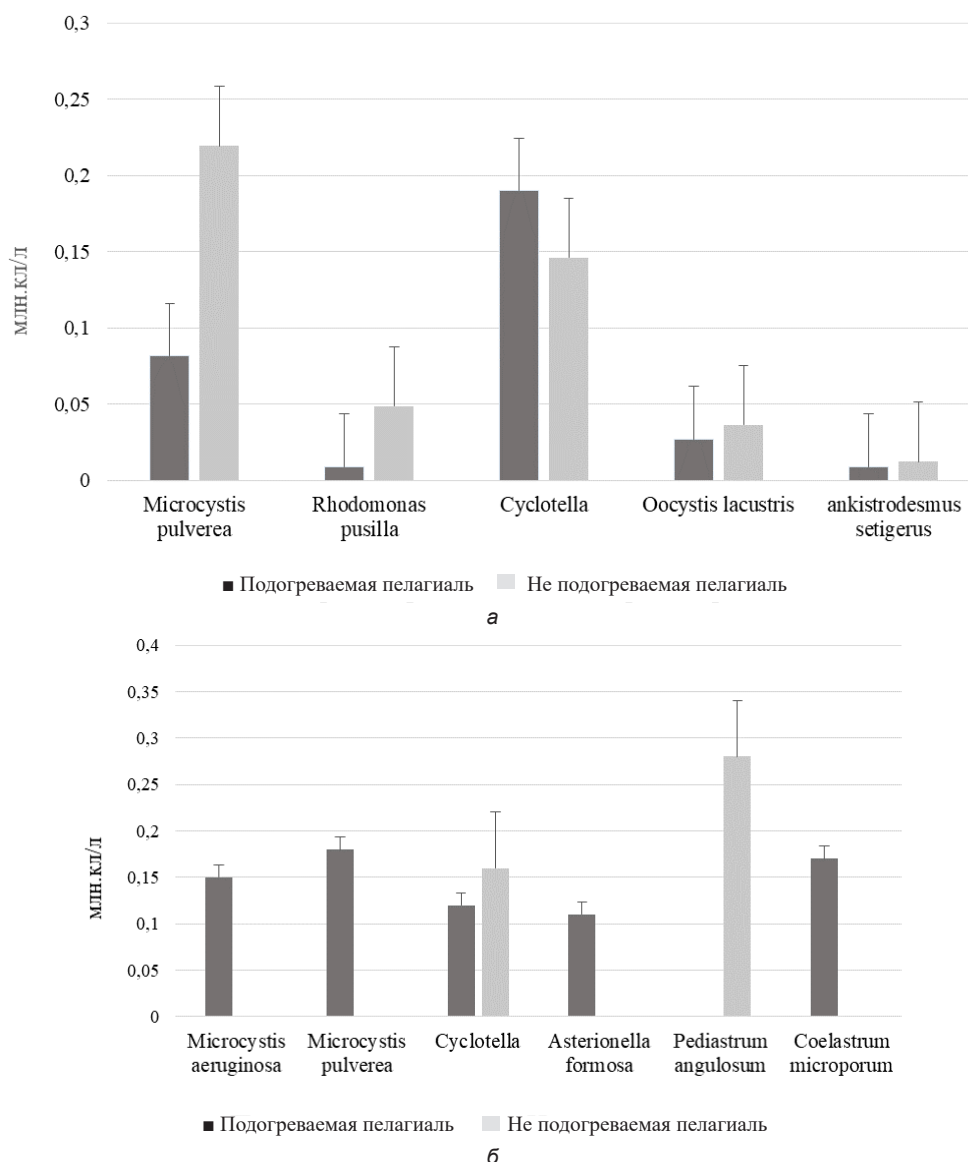


Рис. 5. Численность некоторых видов фитопланктона в ноябре на разных станциях:
а – литераль, б – пелагиаль

подогреваемой пелагиали к числу субдоминантов можно отнести *Coelastrum microporum* (Nägeli 1855) (рис. 5).

Что касается литеральной зоны, то здесь разница между станциями выражена еще меньше. Численность в подогреве составила 0,58 млн кл./л, численность в не подогреваемой зоне – 0,62 млн кл./л.

Соотношение числа видов в разных отделах было практически одинаковое. Диатомовые водоросли доминировали. И на обеих станциях максимальная численность характерна для *Cyclotella* sp. Ярко выраженных субдоминантов не наблюдалось (рис. 5).

Пелагиаль и литераль в этом месяце имели заметные различия. Общее количество видов и численность были выше в пелагической зоне за счет преобладания диатомовых.

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод, что для всего озера в целом характерны те же закономерности, что и для водных экосистем с естественным температурным режимом. Однако на станциях с различной степенью подогрева в каждый из сезонов имеются свои особенности.

Численность фитопланктона была выше в зонах с подогревом только в ноябре и практически одинаковой в апреле. В эти же месяцы (апрель, ноябрь) в подогреваемой зоне интенсивнее развивались синезелёные и менее интенсивно – диатомовые.

В летний период общая численность фитопланктона была выше в зоне с естественным температурным режимом. Кроме того, в зоне с естественным температурным режимом преобладал отдел *Cyanophyta*.

Список использованных источников

1. *Самойленко, В. М.* Изменения фитопланктона водоема-охладителя Лукомской ТЭС / В. М. Самойленко, Г. Г. Вежновец // *Environment. Technology. Resources*. – 1999 – № 2. – С. 170–176.
2. *Самойленко, В. М.* Многолетние изменения фитопланктона водоема-охладителя / В. М. Самойленко, А. А. Свирид // *Альгология*. – 2014. – № 24 (3). – С. 371–375.
3. *Самойленко, В. М.* Фитопланктон водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС в условиях изменяющейся антропогенной нагрузки / В. М. Самойленко, А. А. Свирид // *Вопросы современной альгологии*. – 2020. – № 2(23). – С. 33–39.
4. *Mikheyeva, T. M.* Methods of quantitative enumeration of nanophytoplankton (review) / T. M. Mikheyeva // *Hydrobiological Journal*. – 1989. Vol. 25. – P. 3–21.
5. *Экосистема водотма-охладителя Лукомльской ГРЭС* / П. А. Митраховичи [др.]; Бел. гос. ун-т. – Минск: Правои экономика, 2008. – 144 с.
6. *Михеева, Т. М.* Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог (справ. пособие) / Т. М. Михеева. – Минск: БГУ, 1999. – 396 с.
7. *Дрозденко, Т. В.* Видовая структура и разнообразие фитопланктона дельты реки Великой (Псковская область, Россия) / Т. В. Дрозденко, С. Г. Михалап, Н. В. Бугеро // *Принципы экологии*. – 2020. – № 3. – С. 98–112.

Поступила 16.02.2022