

ISSN 1810-9810

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

NATURAL RESOURCES

**№ 2
2021**

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
Снежань 2021 г.**

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

Галоўны рэдактар
Аляксандар 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 індэкссы:
012762 ведамасны
01276 індывідуальны

Камп'ютарная вёрстка А. У. Новік
Падпісана да друку 14 снежня 2021 г.
Фармат 60×84¹/₈. Папера афсетная. Друк лічбавы.
Ум. друк. л. 11,86. Ул.-выд. л. 13.
Наклад 66 экз. Заказ 274.
Кошт: індывідуальная падпіска – 22,39 руб.,
ведамасная падпіска – 22,73 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
December 2021**

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

Editor-in-Chief
Alexandr Ivanovich Tchaikovsky

Editorial board:
I. I. Lishtvan (Associate Editor-in-Chief)
M. Ye. Nikiforov (Associate Editor-in-Chief),
Ya. V. Roshcina (Lead Editor),
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 A. V. Novik
Signed for publication December 14, 2021
Format 60×84¹/₈. Offset paper. Seal digital.
Related press sheet 11.86. Publisher's signatures 13.
Circulation 66 copies. Order 274.
Price: individual subscription – 22,39 BYN,
departmental subscription – 22,73 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

Логинов В. Ф., Микуцкий В. С., Бровка Ю. А. Изменения величин коэффициентов линейных трендов температуры в Северном и Южном полушариях и их возможные причины	5
Камышенко Г. А. Климатическая составляющая в расчете урожайности картофеля	14
Людчик А. М., Мельник Е. А., Павленко П. Н., Гуляева С. И. Влияние диоксида серы на приземный озон в Беларуси	22

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Савич-Шемет О. Г., Гапанович Е. В. Климатогенные изменения речного и подземного стока рек Оршанского артезианского бассейна	30
Шевцова Н. С. Типизация участков рек Гродненской и Брестской областей Беларуси по профилирующим видам водной рекреации и туризма	41
Голод Ю. В., Дубенок С. А. Совершенствование подходов к нормированию сбросов сточных вод в окружающую среду через системы канализации населенных пунктов	49

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Яковлев А. П., Рупасова Ж. А., Антохина С. П., Савосько И. В., Белый П. Н., Гончарова Л. В., Василевская Т. И., Коломиец Э. И., Алещенкова З. М., Карбанович Т. М. Влияние удобрений на формирование генеративной сферы растений клюквы крупноплодной на рекультивируемом торфяном месторождении верхового типа	59
Масловский О. М. Сравнительный анализ географических структур бриофлористических комплексов Беларуси	67
Лобановская П. Ю., Акимова Л. Н. Личиночная стадия нематод <i>Elaphostrongylus cervi</i> (Nematoda: Protostrongylidae) на территории Беларуси	72
Маслюков Е. А., Пашкович В. С., Ханчевский М. А. Влияние инозина на прорастание семян и рост лука репчатого	77
Островский А. М. О местонахождении молодила русского в Брагинском районе Гомельской области	83

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Воробьев П. Д., Буча С. В., Чередниченко Д. В., Воробьева Е. В., Крутько Н. П., Астахова М. А. Сорбционное извлечение аминов из солевых растворов в методах очистки вторичных продуктов обогащения минерального сырья	86
Ёдчик А. В., Дубенок С. А. Научно-практические подходы к выбору отраслевых технологий очистки сточных вод	92

CONTENTS

CLIMATIC RESOURCES

- Loginov V.F., Mikutsky V.S., Brovka Yu.A.** Temperature linear trend coefficient values changes in Northern and Southern hemispheres and it possible causes 5
- Kamyshenka H.A.** Climatic component in the calculation potato yields 14
- Liudchik A.M., Melnik E.A., Paulenka P.N., Gulyaeva S.I.** Influence of sulfur dioxide on surface ozone in Belarus 22

WATER RESOURCES

- Savich-Shemet O.G., Gapanovich E.V.** Climatogenic changes in the river and underground river flow of the Orsha artesian basin 30
- Shevtsova N.S.** Typification of river sections in the Grodno and Brest regions of Belarus by the types of water recreation and tourism 41
- Holad Y.V., Dubianok S.A.** Improvement of approaches to the regulation of wastewater discharges into the environment through the sewerage systems of settlements 49

BIOLOGICAL RESOURCES

- Yakovlev A.P., Rupasova Zh.A., Antokhina S.P., Savosko I.V., Bely P.N., Goncharova L.V., Vasileuskaya T.I., Kolomiets E.I., Aleshchenkova Z.M., Karbanovich T.M.** Influence of fertilizers on formation of generative sphere of cranberry plants on the recultivated developed peat deposit of high type 59
- Maslovsky O.M.** Comparative analysis of the geographical structures of the bryofloristic complexes of Belarus 67
- Labanouskaya P.Y., Akimova L.N.** Larval stage of *Elaphostrongylus cervi* (nematoda: Protostrongylidae) in the territory of Belarus 72
- Maslyukov E.A., Pashkovich V.S., Khanchevskiy M.A.** The study of the inosine influence on the seed germination and onion growth 77
- Ostrovsky A.M.** On the location of houseleek plant of in the Bragin district Gomel region 83

NATUREMANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE AND RESOURCE- SAVING TECHNOLOGIES

- Vorobyova E.V., Vorobyov P.D., Bucha S.V., Cherednichenko D.V., Krutko N.P., Astakhova M.A.** Sorption extraction of amines from salt solutions in secondary product purification methods mineral processing 86
- Yodchik A.V., Dubianok S.A.** Scientific-practical approaches to the selection of industrial wastewater treatment technologies 92

ЗМЕСТ

КЛИМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

- Логінаў У.Ф., Мікуцкі У.С., Броўка Ю.А.** Змены велічынь каэфіцыентаў лінейных трэндаў тэмпературы ў Паўночным і Паўднёвым паўшар'ях і іх магчымыя прычыны 5
- Камышэнка Г.А.** Кліматычная састаўная частка ў разліку ўраджайнасці бульбы 14
- Людчык А.М., Мельнік Е.А., Паўленка П.М., Гуляева С.І.** Уплыў дыяксіду серы на прыземны азон у Беларусі 22

ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

- Савіч-Шэмет А.Р., Гапановіч Е.В.** Кліматагенныя змены рачнога і падземнага сцёку рэк Аршанскага артэзіянскага басейна 30
- Шаўцова Н.С.** Тыпізацыя ўчасткаў рэк Гродзенскай і Брэсцкай абласцей Беларусі па прафілюючых відах воднай рэкрэацыі і турызму 41
- Голад Ю.В., Дубянок С.А.** Удасканальванне падыходаў да нарміравання скідванняў сцёкавых вод у наваколнае асяроддзе праз сістэмы каналізацыі населеных пунктаў 49

БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

- Якаўлеў А.П., Рупасава Ж.А., Антохіна С.П., Савоська І.В., Бель П.М., Ганчарова Л.У., Васілеўская Т.І., Каміец Э.І., Алешчанкава З.М., Карбановіч Т.М.** Уплыў угнаенняў на фармаванне генератыўнай сферы раслін журавін буйнаплодных на тарфяным радовішчы верхавога тыпу, якое рэкультывіруецца 59
- Маслоўскі А.М.** Параўнальны аналіз геаграфічнай структуры брыяфларыстычных комплексаў Беларусі 67
- Лабаноўская П.Ю., Акімава Л.М.** Лічыначная стадыя нематод *Elaphostrongylus cervi* (nematoda: Protostrongylidae) на тэрыторыі Беларусі 72
- Маслюкоў Я.А., Пашковіч В.С., Ханчэўскі М.А.** Уплыў іназіна на прастанне насення і рост цыбулі рэпчатай 77
- Астроўскі А.М.** Пра месцазнаходжанне маладзіла рукага ў Брагінскім раёне Гомельскай вобласці 83

ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ, ЭКОЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ

- Вараб'ёва А.В., Вараб'ёў П.Дз., Буча С.В., Чараднічэнка Дз.В., Круцько М.П., Астахава М.А.** Сарбцыйнае выманне амінаў з салявых раствораў у метадах ачысткі другасных прадуктаў узбагачэння мінеральнай сыравіны 86
- Ёдчык А.В., Дубянок С.А.** Навукова-практычныя падыходы да выбару галіновых тэхналогій ачысткі сцёкавых вод 92

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
CLIMATIC RESOURCES
КЛИМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 551.583

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий, Ю. А. Бровка

*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: info@nature-nas.by*

**ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИН КОЭФФИЦИЕНТОВ ЛИНЕЙНЫХ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ
В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ**

Аннотация. На основе анализа линейных трендов нормированных среднемесячных температур воздуха выделены квазиоднородные периоды в изменении температур Северного и Южного полушарий, а также Земного шара в целом. Обнаружены различия годового хода величин коэффициентов линейных трендов для Северного и Южного полушарий. Выявленные особенности не согласуются с существующими представлениями о большей выраженности современного потепления в зимнее время года. Возможные причины различий связаны с общей циркуляцией атмосферы и океана. Внутритропическая зона конвергенции рассмотрена как фактор обнаруженных различий линейных трендов температуры в разные периоды года.

Ключевые слова: коэффициент линейного тренда, температура воздуха, Северное и Южное полушария, внутритропическая зона конвергенции

V. F. Loginov, V. S. Mikutsky, Yu. A. Brovka

*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
e-mail: info@nature-nas.by*

**TEMPERATURE LINEAR TREND COEFFICIENT VALUES CHANGES IN NORTHERN AND SOUTHERN
HEMISPHERES AND IT POSSIBLE CAUSES**

Abstract. Quasi-homogeneous periods in the temperature variation of the Northern and Southern hemispheres, as well as the Globe were identified based on the analysis of linear trends in normalized mean monthly air temperatures. Differences in the annual variation of the linear trend coefficients for the Northern and Southern Hemispheres were found. The revealed features are not consistent with the existing ideas about the greater severity of modern warming in the winter season. Possible reasons for the differences are related to the general atmosphere and ocean circulation. The intertropical convergence zone is considered as a factor in the detected differences in linear temperature trends in different periods of the year.

Keywords: linear trend coefficient, air temperature, Northern and Southern hemispheres, intertropical convergence zone

У. Ф. Логінаў, У. С. Мікуцкі, Ю. А. Броўка

*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: info@nature-nas.by*

**ЗМЭНЫ ВЕЛІЧЫНЬ КАЭФІЦЫЕНТАЎ ЛІНЕЙНЫХ ТРЭНДАЎ ТЭМПЕРАТУРЫ Ў ПАЎНОЧНЫМ І ПАЎДНЁВЫМ
ПАЎШАР'ЯХ І ІХ МАГЧЫМЫЯ ПРЫЧЫНЫ**

Анатацыя. На аснове аналізу лінейных трэндаў нарміраваных сярэднямесячных тэмператур паветра вылучаны амаль аднародныя перыяды ў змене тэмператур Паўночнага і Паўднёвага паўшар'яў, а таксама Зямнога шара ў цэлым. Паказаны адрозненні гадовага ходу велічынь каэфіцыентаў лінейных трэндаў для Паўночнага і Паўднёвага паўшар'яў. Выяўленыя асаблівасці не адпавядаюць існуючым уяўленням аб большай адлюстраванасці сучаснага пацяплення ў зімовую пару года. Магчымыя прычыны адрозненняў звязаны з агульнай цыркуляцыяй атмасферы і акіяна. Унутрытрапічная зона канвергенцыі разгледжана як фактар выяўленых адрозненняў лінейных трэндаў тэмпературы ў розныя перыяды года.

Ключавыя словы: каэфіцыент лінейнага трэнду, тэмпература паветра, Паўночнае і Паўднёвае паўшар'я, унутрытрапічная зона канвергенцыі

Введение. Пространственно-временные изменения температуры в разных районах Земного шара представлены в многочисленных работах [1–8]. В научных публикациях описываются результаты анализов трендов, полученных для разных интервалов времени. Для сравнимости

результатов значения трендов, полученных на разных интервалах лет, авторы часто приводят к значениям, отнесенным к 10 или 100 годам. При этом тренды становятся сравнимыми численно, но не сравнимы по своей сути. При выборе интервала лет для расчета трендов необходимо руководствоваться физической гипотезой, т. е. вычислять тренды для физически однородных периодов, например, однородных форм циркуляции.

Скорость изменений температуры в различные периоды претерпевала значительные изменения: от нескольких сотых градуса / 10 лет до $0,35\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$. В отдельные периоды времени знак тренда изменений температуры менялся даже на противоположный.

Таким образом, на фоне роста температуры за последние почти 170 лет отмечались как периоды быстрого роста температуры, так называемые скачки в изменении температуры, так и периоды медленных ее изменений или даже падения температуры, которые можно назвать паузами. Продолжительность скачков и пауз, как показывают многочисленные работы [9–13], изменяется от нескольких лет до нескольких десятков лет. Причины скачков и пауз на фоне роста температуры, приписываемого воздействию парниковых газов, могут быть как внешними, так и внутренними. Как правило, короткопериодные флуктуации в изменении температуры считают случайными. Они могут быть описаны моделями «белого» или «красного» шума, а длительные колебания зачастую относят к воздействию различных внешних и внутренних факторов. Вопрос причинности скачков и пауз считается дискуссионным и требует дальнейших исследований. Что касается наличия долгопериодного положительного тренда в изменении глобальной температуры, то его в подавляющем числе работ связывают с изменением источников и стоков парниковых газов в последние 150–170 лет.

Материалы и методы исследований. В представленной работе выполнены детальные исследования трендов температуры Северного и Южного полушарий, а также Земного шара с использованием наборов данных, предоставляемых Национальными центрами экологической информации Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA's NCEI) [14].

Принципиальным отличием проведенного исследования является использование нормированных на среднеквадратическое отклонение (σ) значений среднемесячных аномалий температуры за период с 1880 по 2020 г. Преимущества использования нормированных значений температуры при исследовании их пространственно-временных изменений описаны в наших работах [9, 15].

Как показано в многочисленных исследованиях [1–8], величины трендов зависят от величины суммарного форсинга парниковых газов. Однако более ярко эта зависимость проявляется для суши Северного полушария, особенно в теплое время года, когда скачок нормированных аномалий температуры в период с 1968 по 1998 г. был большим по сравнению со скачком в период с 1908 по 1945 г. Для этого региона в период с 1998 по 2014 г. пауза в изменении аномалий температуры была хорошо выражена только в зимние месяцы (декабрь–февраль) и особенно на суше Северного полушария. Ее природа связана с уменьшением оптической толщины облаков [16]. В настоящей работе вопросы причинности изменения температуры рассмотрены с большой детальностью.

Подробный анализ величины коэффициентов линейного тренда температуры в различные месяцы года для Земного шара, Северного и Южного полушарий за весь период наблюдений (1880–2020 гг.), а также различных подпериодов времени продолжительностью от 16 до 75 лет позволил установить ряд различий в изменении температуры (величин K линейных трендов температуры) Северного и Южного полушарий.

В изменении коэффициентов линейного тренда можно выделить 4 квазиоднородных периода изменений климата для Северного полушария и Земного шара. Их границы для разных месяцев года будут различаться в среднем на ± 3 года. Выбор границ периодов в значительной степени определяет результат исследования трендовых составляющих в изменении климата, поскольку известно, что для произвольного достаточно длинного числового ряда с выраженным линейным трендом вариации крайних членов ряда оказывают большее влияние на величину коэффициентов линейного тренда, чем соответствующие вариации, производимые в середине ряда.

Действительно, модули $|y_i - \bar{y}|$ отклонений крайних членов ряда y_i от нормы \bar{y} в целом будут превосходить соответствующие модули для его средних членов в силу большей близости последних к среднему значению (норме). С учётом формулы для оценки коэффициентов линейного тренда $K = \frac{\sum (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$ это означает, что в сделанных предположениях однонаправленные выбросы в начале (или конце) ряда окажут большее влияние на величину тренда, чем аналогичные выбросы в середине ряда.

При выборе периодов квазиоднородности в изменении температуры следует иметь в виду следующее важное обстоятельство. На годы Первой мировой и гражданской войн в России (1914–1921 гг.), а также на Вторую мировую войну (1939–1945 гг.) пришлось два коротких интервала времени, когда плотность сети наблюдений уменьшалась на 20–30 %. Уменьшение плотности сети особенно характерно для океанического Южного полушария, что вызывает некоторые сомнения относительно наличия здесь крупной положительной аномалии температуры в период Второй мировой войны. Эти обстоятельства затрудняют выбор границ квазиоднородных периодов изменения температуры в Южном полушарии. В конечном счете были выбраны следующие периоды квазиоднородных трендов для Южного полушария: 1 – 1880–1910 гг.; 2 – 1911–1944; 1945–2020 гг. Однако для сравнимости трендов для Северного и Южного полушарий отдельно вычислены значения K как для Северного, так и для Южного полушария за периоды с 1945 по 1975 и с 1976 по 2020 гг.

Результаты исследований и их обсуждение. Не углубляясь в мелкие детали изменений K , рассмотрим генеральные пространственно-временные особенности этих изменений в различные месяцы и сезоны для разных периодов времени. На диаграммах (рис. 1, 2) и в табл. 1 представлены результаты расчетов величины линейных трендов температуры (K) в различные месяцы года.

Следует отметить, что в Южном полушарии величины K для разных месяцев меньше отличаются друг от друга по сравнению с Северным – диаграмма значений K для Южного полушария напоминает круг, тогда как диаграмма значений K для Северного полушария больше напоминает эллипс, поскольку отмечался несколько меньший рост температуры в период с ноября по апрель.

Особого внимания заслуживает анализ изменений величины трендов температуры (K) для послевоенного периода времени, когда плотность сети метеорологических наблюдений превысила 50 %, что обеспечило необходимую точность вычислений средней температуры в различных пространственно-временных интервалах. Принято во внимание и то обстоятельство, что последний период наблюдений

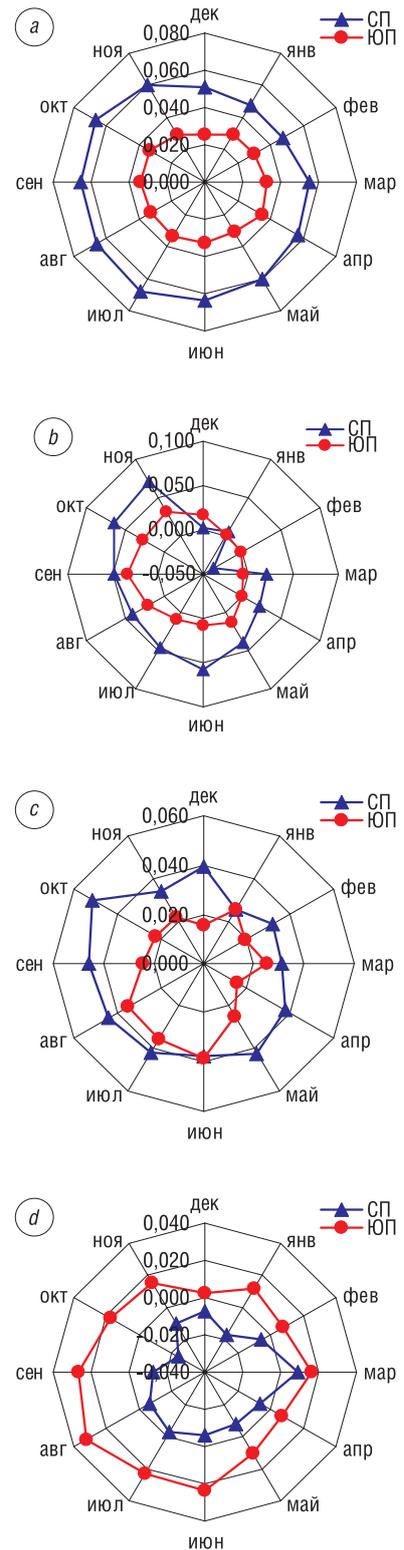


Рис. 1. Диаграммы величин коэффициентов линейных трендов среднемесячных температур в Северном (СП) и Южном (ЮП) полушариях Земного шара для различных периодов времени: а – 1976–2020 гг.; б – 1998–2013; с – 1911–1944; д – 1945–1975 гг.

Таблица 1. Среднемесячные и среднегодовые величины линейных трендов температуры (K) в Северном и Южном полушариях для различных периодов времени

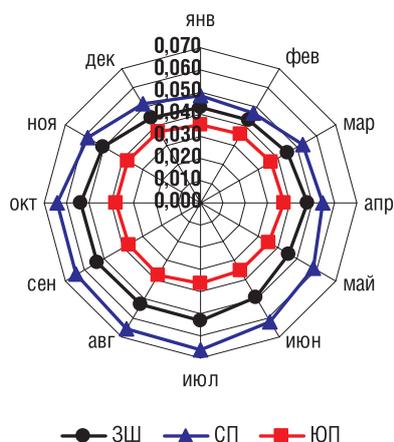


Рис. 2. Диаграмма величин коэффициентов линейных трендов среднемесячных температур в Северном (СП) и Южном (ЮП) полушариях и на Земном шаре для различных периодов времени: Северное полушарие и Земной шар – 1976–2020 гг.; Южное полушарие – 1945–2020 гг.

Месяц	Периоды роста температуры					Пауза	
	1976–2020		1911–1944		1998–2013		
	полушарие						
	Северное	Южное	Северное	Южное	Южное	Северное	Южное
I	0,048	0,029	0,025	0,025	0,035	0,006	0,001
II	0,048	0,030	0,032	0,019	0,036	-0,037	0,001
III	0,055	0,033	0,031	0,025	0,037	0,020	-0,006
IV	0,057	0,035	0,038	0,015	0,037	0,022	0,000
V	0,060	0,031	0,042	0,025	0,035	0,039	0,012
VI	0,063	0,032	0,037	0,038	0,035	0,058	0,008
VII	0,068	0,033	0,042	0,035	0,036	0,045	0,009
VIII	0,066	0,033	0,044	0,035	0,038	0,041	0,020
IX	0,066	0,034	0,046	0,024	0,037	0,048	0,035
X	0,067	0,033	0,051	0,022	0,038	0,064	0,027
XI	0,060	0,029	0,034	0,021	0,038	0,070	0,032
XII	0,051	0,026	0,039	0,016	0,037	0,002	0,017
I–XII	0,062	0,033	0,040	0,023	0,037	0,038	0,014
XII–II	0,049	0,028	0,032	0,020	0,037	-0,010	0,005
III–XI	0,068	0,033	0,041	0,027	0,037	0,045	0,019
$K_{XII-II} - K_{III-XI}$	-0,019	-0,005	-0,009	-0,007	0,000	-0,055	-0,014

приходится на эпоху современного потепления климата. Ниже приведены результаты сравнительного анализа трендовых изменений температуры (K) в Северном и Южном полушариях, а также Земного шара; для последнего они, естественно, являются результатом осреднения K для обоих полушарий (табл. 1).

Результаты сравнительного анализа коэффициентов линейного тренда температуры (K) для отдельных периодов года: май–октябрь и ноябрь–апрель для разных временных периодов представлены в табл. 2. Из табл. 2 следует, что отношение коэффициентов линейного тренда (K) в теплый (V–X) и холодный (XI–IV) периоды находится в интервале 1,23–3,50, причем отношение выше для периодов времени, совпадающих с паузами в изменении температуры.

Таблица 2. Сравнительный анализ коэффициентов линейного тренда температуры в теплое (май–октябрь) и холодное (ноябрь–апрель) полугодия для различных фаз изменения климата Северного полушария

Периоды	Коэффициенты линейного тренда температур (K)														Отношение величин K теплых и холодных полугодий
	месяц														
	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май–октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	ноябрь–апрель	
Современное потепление климата (1976–2020 гг.)	0,060	0,063	0,068	0,066	0,066	0,067	0,065	0,060	0,051	0,048	0,048	0,055	0,057	0,053	1,23
Предыдущее потепление климата (1911–1944 гг.)	0,042	0,037	0,042	0,044	0,046	0,051	0,044	0,034	0,039	0,025	0,032	0,031	0,038	0,033	1,33
Первая пауза в изменении климата (1945–1975 гг.)	-0,008	-0,006	-0,003	-0,006	-0,013	-0,023	-0,010	-0,010	-0,007	-0,017	-0,005	0,009	-0,007	-0,006	1,67
Последняя пауза в изменении климата (1998–2013 гг.)	0,039	0,058	0,045	0,041	0,048	0,064	0,049	0,070	0,002	0,006	-0,037	0,020	0,022	0,014	3,50

Названные выше периоды года строго не отвечают понятиям теплый (IV–IX) и холодный (X–III) период года в средних широтах, которые зачастую используются в климатологии. Каждый из этих периодов включает кроме контрастных сезонов (зима, лето) еще и ряд месяцев равноденственных сезонов.

Возможные причины пространственно-временных особенностей в изменении линейных трендов температуры в Северном и Южном полушариях. Принимая во внимание, что подстилающая поверхность в Южном океаническом полушарии более однородна по сравнению с Северным, меридиональный обмен в нем является менее упорядоченным (нет определенной локализации переносов). Уже одно это обстоятельство может формировать разные особенности изменений климата в Северном и Южном полушариях Земли. Весной, когда начинается спад интенсивности неупорядоченного меридионального теплообмена, при уменьшении температурного контраста «экватор–полюс», в нижних слоях атмосферы еще сохраняется влияние контраста «океан–материк» на поддержание упорядоченного меридионального обмена [17]. Это влияние как бы тормозит спад меридиональности, особенно вблизи подстилающей поверхности и, как следствие, приводит к тому, что наступление минимума меридиональности весной задерживается. Не исключено, что сохранение меридиональности в небольшой толще тропосферы оказывает задерживающее влияние на наступление весеннего минимума меридиональности у поверхности Земли и, как следствие, обеспечивает известные возвраты холодов в апреле–мае на Европейской территории СНГ.

В связи с сильным прогревом материков летом зональный температурный градиент снова усиливается, но уже с обратным знаком, и процессы меридионального обмена оживляются вновь. Однако по сравнению с зимой меридиональный обмен характеризуется преобладанием иной локализации гребней и ложбин.

Влияние градиента «океан–материк» на меридиональный обмен летом, после весеннего минимума, снова направлено на усиление этого обмена. И поскольку неупорядоченный обмен в это время ослабевает, то вторичный максимум на всех уровнях атмосферы слабее основного – зимнего. Зональный градиент температуры в зоне 40°–70° с.ш. имеет основной максимум в зимнее время; вторичный максимум – в июне–июле (вследствие летнего прогрева материковой части Северного полушария) и два минимума в течение равноденственных сезонов – весной и осенью. Осенний минимум является более глубоким [17].

Меридиональному градиенту температуры свойственен противоположный зональному годовой ход, т.е. зональный и меридиональный градиенты развиваются в противофазе. Вышеизложенное позволяет считать, что годовые и полугодовые колебания гидрометеорологических процессов так или иначе связаны с особенностями нагревания материков и океанов. Природа годовых колебаний вполне понятна, тогда как природа полугодовых колебаний гидрометеорологических характеристик является предметом острых дискуссий.

Роль внутритропической зоны конвергенции в изменении температуры. Внутритропическая зона конвергенции (ВТЗК) располагается между пассатами Северного и Южного полушарий или между пассатом и муссоном или между пассатом и экваториальными западными ветрами. Она характеризуется ослаблением скорости ветра. Конвергенция и возникновение волновых и вихревых возмущений приводит к усилению конвекции, формированию кучевых и кучево-дождевых облаков, имеющих большое вертикальное развитие. ВТЗК может сводиться к резкому тропическому фронту с большими температурными контрастами. В течение года ВТЗК меняет свое положение, смещаясь в то полушарие, где наблюдается лето. Спутниковые наблюдения облачного покрова Земного шара показали, что ВТЗК, если рассматривать ее положение в глобальном масштабе, пересекает географический экватор в мае, находясь в Северном полушарии вплоть до начала ноября (V–X), а в Южном полушарии – с ноября по апрель (XI–IV) (рис. 3) [18]. В разных регионах Земного шара положение ВТЗК различается: в Атлантическом океане и восточной части Тихого океана она находится в течение года в Северном полушарии, а в остальных регионах ее географическое положение подобно вышеописанному глобальному.

Наибольший рост нормированной температуры Северного полушария (положительные коэффициенты линейного тренда) пришелся на май–октябрь, т. е. период, когда ВТЗК находится в Северном полушарии, а наименьший – на период с ноября по апрель, когда ВТЗК находится в Южном полушарии.

Наибольший рост температуры в мае–октябре формируется высоким влагосодержанием атмосферы и облачности в широтном поясе 0–10° с.ш., что позволяет заключить о доминировании обусловленного водяным паром парникового эффекта в формировании максимальных трендов температуры в указанные месяцы года (табл. 2).

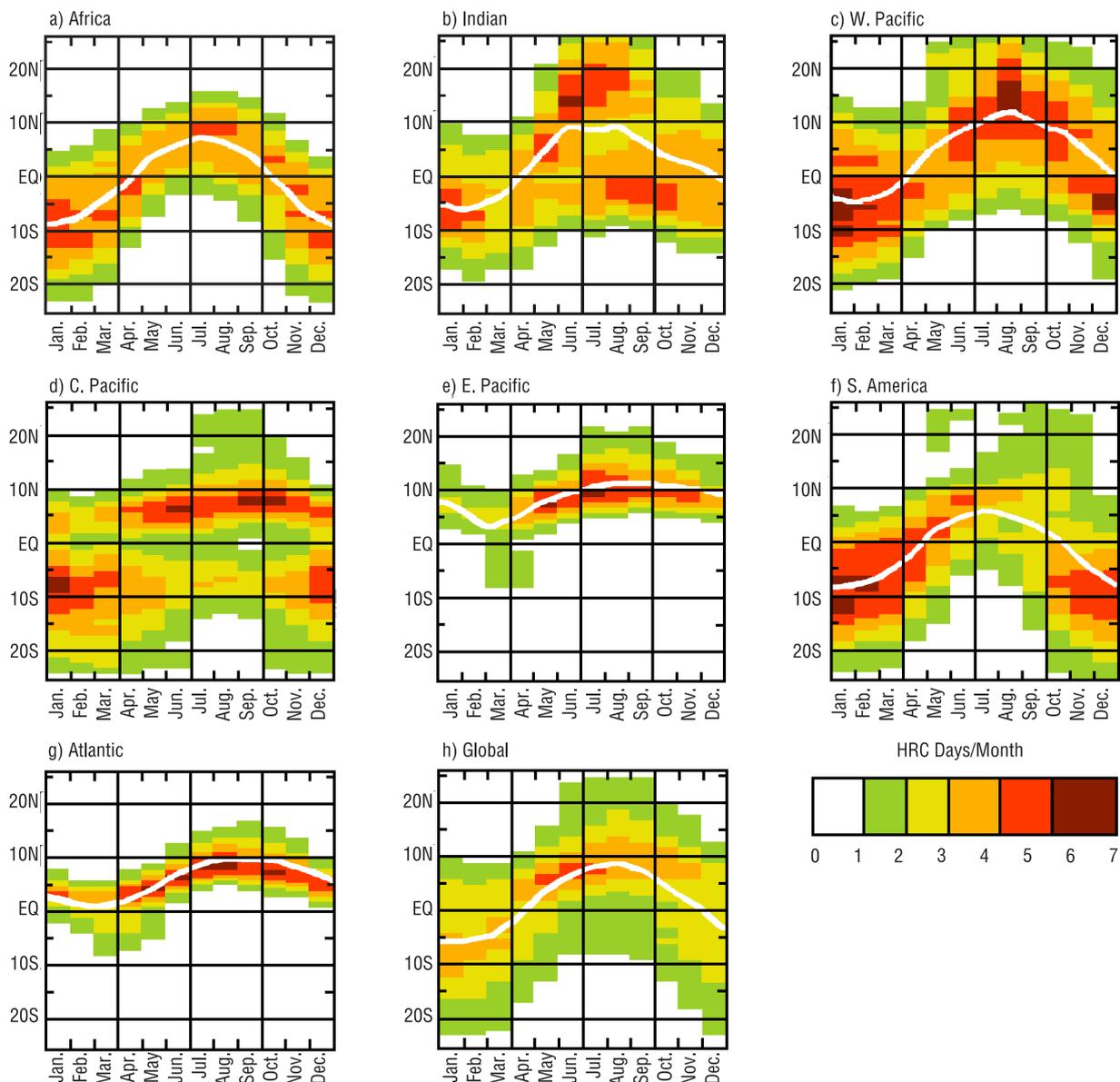


Рис. 3. Пространственно-временная диаграмма годовой миграции внутритропической зоны конвергенции (ВТЗК). Среднегодовой цикл был получен на основании 17-летних спутниковых наблюдений облаков с высокой отражательной способностью (HRC – highly reflective cloud) для 7 районов Земного шара и Земного шара в целом [18]

И хотя солнечный нагрев подстилающей поверхности на экваторе наибольший в течение весеннего и осеннего равноденствий, относительно низкая температура воды на экваторе в комбинации с положительными градиентами температуры воды океана не способствуют крупномасштабной конвекции на экваторе.

В низких широтах циклоническая деятельность ослаблена, а основные циркуляционные механизмы поддерживаются разностью температур между субтропиками и экваториальными районами [19]. В области широт 0–30° циркуляцию можно представить в виде ячейки Гадлея с подъемом воздуха над экватором и опусканием его в районе 30° северной и южной широты. Под действием силы Кориолиса потоки воздуха у поверхности Земли отклоняются вправо. Движение воздуха в Северном полушарии осуществляется в юго-восточном направлении, в Южном – в северо-восточном. Такое движение воздуха называется пассатом. Иногда считается, что следствием пассатной циркуляции являются субтропические антициклоны, но это самая упрощенная схема циркуляции не может объяснить многие особенности тропической циркуляции, а значит, скорее всего, субтропические антициклоны ответственны за формирование пассатов.

Восточный перенос воздуха в экваториальной зоне пониженного давления обусловлен тем, что у поверхности Земли и на высотах градиенты давления направлены от тропиков к оси приэкваториального пояса пониженного давления (экваториальная ложбина). Ось этой ложбины меняет свое положение, которое зависит от склонения Солнца и долготы места. В среднем за год ось экваториальной ложбины находится на 5° с. ш. Собственно, эту широту и принимают за метеорологический экватор и здесь располагается пояс пониженного давления.

В январе экваториальная ложбина располагается на широте $\approx 5^\circ$ с.ш., а в июле – около 15° с.ш. Это означает, что метеорологическое Северное полушарие меньше по площади, чем Южное метеорологическое полушарие.

Над относительно теплой океанической поверхностью ось экваториальной ложбины располагается в Северном полушарии, достигая в январе 8° с.ш. в Тихоокеанском секторе. В связи с этим значения отношения дисперсии квазিশестидесятилетней компоненты к общей дисперсии ряда температуры на 6° с.ш. можно относить к метеорологическому экватору и, как следствие, все особенности в изменении температуры воды надо рассматривать с учетом особых свойств приэкваториальной циркуляции атмосферы.

Поскольку к северу и югу от экваториальной ложбины давление увеличивается, то на ее оси должна происходить конвергенция воздуха Северного и Южного полушарий. Однако это происходит не всегда и область, где такая конвергенция хорошо выражена, называют зоной внутритропической конвергенции (ВТЗК). Области ВТЗК несимметричны экваториальной ложбине, а следовательно, несимметрично и распределение облачности и осадков. Иногда над океанами, особенно над Тихим и Индийским, прослеживаются две (иногда и три) зоны конвергенции, а между ними располагается зона дивергенции. Циклонические возмущения в экваториальном поясе происходят непрерывно. Изменения же температуры у подстилающей поверхности в их области малы [19].

В Северном полушарии зимняя пассатная циркуляция простирается от экватора до 28° с.ш. В связи с перемещением экваториальной ложбины в Северное полушарие летом, зона пассатной циркуляции располагается между 18° и 31° с.ш., и уменьшается по площади. В Южном полушарии положение пассатной зоны более стабильно, не меняется и ее структура. Эти циркуляционные особенности низких широт могут сильно влиять на частотную структуру изменений температуры воды океанов.

Хорошо развитая муссонная циркуляция в Северном полушарии делает циркуляционную структуру пассатной области еще более сложной. В западной части Тихого океана и над Юго-Восточной Азией пассатная циркуляция особенно сильно нарушается действием муссона. Здесь южные потоки, охватывая тропики Южного полушария, распространяются на районы Северного полушария.

Таким образом, разные начальные условия в атмосфере, на которые накладываются внешние воздействия, могут существенным образом отражаться в характере их проявления на разных широтах западной и восточной частях Тихого океана. Наибольшие изменения интенсивности зональной циркуляции происходят зимой и особенно в январе.

Рассмотрим конкретный случай – снижение интенсивности зональной циркуляции в результате снижения величины градиента температуры «экватор–полюс». В результате происходит снижение выноса водяного пара с океана на материк и, как следствие, снижение температуры атмосферного воздуха.

Наибольшее снижение температуры во время первой паузы в изменении температуры (1945–1975 гг.) произошло в Северном полушарии в январе ($K = -0,017$), а во время второй паузы (1998–2013 гг.) – в феврале ($K = -0,057$). В то же самое время в теплый период года температура приземного воздуха в средних широтах Северного полушария продолжала неуклонно расти, причем наиболее сильно в период с мая по октябрь. Проведенные нами ранее исследования показали, что общая толщина слоя водяного пара (Total Column Water Vapor – TCWV) по данным спутникового прибора MODIS в умеренных широтах (30–60° с.ш.) однозначно определяет оптическую толщину облаков (COT) в этом же широтном поясе с запаздыванием во времени 5 месяцев (коэффициент корреляции TCWV и COT составил 0,96) [15]. Отметим, что COT, представляющая произведение показателя ослабления излучения частицами облака на его толщину, является более функциональным показателем облачности по сравнению с таким показателем, как степень покрытия неба облаками. Последняя характеристика слабо коррелирует с величиной радиационного баланса планеты.

Это запаздывание COT в 5 месяцев относительно TCWV подтверждается экспериментальными данными, которые показывают, что после максимального снижения коэффициентов линейного тренда температуры (K) в январе и феврале указанных выше двух пауз в изменении температуры, наиболее существенный рост температуры в Северном полушарии начал наблюдаться в мае и последующие пять месяцев (июнь–октябрь), когда ВТЗК находилась в Северном полушарии. Это может означать, что величина коэффициентов линейного тренда температуры в Северном и Южном полушариях зависит от положения ВТЗК, которое определяет содержание TCWV и оптическую толщину облаков.

Линейный тренд оптической толщины облаков для периода с мая по сентябрь оказался отрицательным в широтном поясе 30–75° с.ш. ($K = -0,031$) с 2000 до 2018 г., тогда как в полярной шапке Земли обнаруживается другая картина – наблюдается рост COT. На фоне падения COT в указанные годы отмечались положительные и отрицательные флюктуации продолжительностью около 3 лет. Это означает, что уменьшение COT в период с мая по сентябрь обеспечивало увеличение притока коротковолновой солнечной радиации и, как следствие, более интенсивный рост температур в указанные месяцы по сравнению с ноябрем–апрелем. Наши экспериментальные данные подтверждают этот вывод (табл. 2).

Таким образом, схематически обнаруженные закономерности в изменении величин линейных трендов температуры в Северном полушарии можно представить так. Сезонные и многолетние изменения температуры воды в низкоширотных областях Мирового океана под влиянием внешних и внутренних факторов способны изменять положение ВТЗК в годовом и многолетнем ходе.

Расположение внутритропической зоны конвергенции (ВТЗК) в Северном полушарии (май–октябрь) определяет большую скорость роста температуры (большие значения K) в указанные месяцы по сравнению с другими месяцами года (ноябрь–апрель). Это особенно заметно в Северном полушарии.

Механизмы регулирования температуры связаны с влиянием оптической толщины облаков (COT) на радиационный баланс Земли. Они описаны в большом числе работ [19–22]. В многочисленных исследованиях установлена также роль циркуляции атмосферы и океана в низких широтах в формировании климата Земного шара. Это дает основание считать термодинамический режим низких широт основным генератором климатических изменений.

Выводы. Использование в представленной работе данных месячного разрешения позволило выявить ряд новых пространственно-временных особенностей в изменении климата как в Северном, так и в Южном полушариях.

Выделено четыре квазиоднородных периода в изменении коэффициентов линейных трендов среднемесячной температуры Северного полушария и Земного шара: 1880–1910; 1911–1944; 1945–1975; 1976–2020 гг. В Южном полушарии, если ограничиться теплым сезоном Северного полушария (май–октябрь), таких однородных периодов только три. В конце второго из них (1911–1945 гг.) наблюдается мощная короткопериодная флюктуация температуры (1939–

1945 гг.). Для последнего периода (1976–2020 гг.) отношение величин коэффициентов линейных трендов температуры в теплый (V–X) и холодный (XI–IV) сезоны находится в интервале 1,23–3,50, причем отношение больше для периодов времени, совпадающих с паузами в изменении температуры. В более океаническом Южном полушарии величины K для разных месяцев года меньше отличаются друг от друга по сравнению с Северным – диаграмма K для Южного полушария больше напоминает круг, а для Северного – эллипс ввиду меньшего роста среднемесячных нормированных температур в период с ноября по апрель. Выявленный характер годового хода величины K не согласуется с существующими представлениями парниковой теории современного потепления климата о большей его выраженности в зимнее время года.

Главной причиной обнаруженных особенностей в изменении линейных трендов в Северном и Южном полушариях является общая циркуляция атмосферы и океана. Внутритропическая зона конвергенции рассмотрена как фактор, определяющий различия линейных трендов нормированной температуры в различные месяцы года. Нахождение внутритропической зоны конвергенции в Северном полушарии в период с мая по октябрь обеспечивает более интенсивный рост температуры в указанные месяцы. Механизм регулирования температуры связан с влиянием оптической толщины облаков на радиационный режим Земли.

Список использованных источников

1. Груза, Г.В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. – М.: ИГКЭ, 2012. – 194 с.
2. Кислов, А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем / А.В. Кислов. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 351 с.
3. Кондратьев, К.Я. Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования / К.Я. Кондратьев // Исследования Земли и космоса. – 2004. – №2. – С. 61–96.
4. Логинов, В.Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В.Ф. Логинов. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 266 с.
5. Шерстюков, Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / Б.Г. Шерстюков. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 246 с.
6. Decadal modulation of global surface temperature by internal climate variability / D. Aiguo [et al.] // Nat. Clim. Change. – 2015. – Vol. 5, N 6. – P. 555–559.
7. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. T.F. Stoker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. – New York: Cambridge Univ. Press, 2013. – 222 p.
8. The Global Climate system review. Climate system monitoring June 1991 – November 1993 / World Meteorological Organization. – 1995. – N 819. – 150 p.
9. Логинов, В.Ф. Тренды, «скачки» и паузы в изменении глобальной и региональной температуры и их возможные причины / В.Ф. Логинов // Украин. географ. журн. – 2015. – №1. – С. 12–19.
10. Логинов, В.Ф. Долгопериодные колебания температуры воды в Тихом океане и их возможные причины / В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко, В.С. Микуцкий, Ю.А. Бровка // Гидрометеорология и образование. – 2020. – №3. – С. 42–56.
11. Namias, J. Short period climatic variations. Collected works 1934 through 1982 / J. Namias. – 1983. – Vol. 1, 2, 3. – San Diego, Univ. California. – 1298 p.
12. The “pause” in global warming in historical context: (II) Comparing models to observations / S. Lewandowsky [et al.] // Environ. Res. Lett. – 2018. – 123007. <http://doi.org/10.1088/1745-9326/saf372>
13. Tollefson, J. The case of the missing heat / J. Tollefson // Nature. – 2014. – Vol. 505. – P. 276–278.
14. NOAA National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Mapping, published June 2021, retrieved on July 6, 2021. <https://www.ncdc.noaa.gov/cag>
15. Логинов, В.Ф. Современные изменения глобального и регионального климата / В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 315 с.
16. Логинов, В.Ф. Изменение полей температуры поверхности воды и воздуха над Мировым океаном / В.Ф. Логинов, В.В. Цветков // Метеорология и гидрология. – 1990. – №7. – С. 85–93.
17. Кац, А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы / А.Л. Кац. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1960. – 270 с.
18. Waliser, D. E. Satellite-derived Climatology of the ITCZ / D. E. Waliser, C. A. Gautier // Journal of Climate. – 1993. – Vol. 6, N 11. – P. 2162–2174. Doi:10.1175/1520-0442(1993)006<2162:ASDCOT>2.0.CO;2
19. Климатология / А.А. Дроздов [и др.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 567 с.
20. Облака и климат / Г.И. Марчук [и др.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 512 с.
21. Мусаелян, Ш.А. О природе некоторых сверхдлительных атмосферных процессов / Ш.А. Мусаелян. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 142 с.
22. Переведенцев, Ю.П. Теория климата / Ю.П. Переведенцев. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – 504 с.

Поступила 06.08.2021

Г. А. Камышенко

*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: kamysHENka@tut.by*

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В РАСЧЕТЕ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ

Аннотация. Представлены результаты статистической оценки влияния изменяющихся погодно-климатических условий территории Беларуси на продуктивность картофеля с целью построения расчетной модели урожайности культуры. Исследование выполнено за период с 1960 по 2019 г. Расчеты произведены относительно климатической составляющей в качестве предиктора с учетом отклонений температуры воздуха и атмосферных осадков от многолетних климатических норм месяцев, оказывающих наиболее значимое влияние на урожайность культуры. Построена адекватная малопараметрическая модель изменчивости урожайности картофеля, возделываемого в Беларуси. Результаты исследования актуальны для решения прогнозных задач.

Ключевые слова: урожайность, картофель, температура воздуха и атмосферные осадки, статистические методы, расчет продуктивности

H. A. KamysHENka

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: kamysHENka@tut.by*

CLIMATIC COMPONENT IN THE CALCULATION POTATO YIELDS

Abstract. The results of the statistical assessment of the influence of the changing weather-climatic conditions of the territory of Belarus on the productivity of potatoes in order to build a settlement model of yields are presented. The study was completed from 1960 to 2019. Calculations are made relative to the climatic component as a predictor, taking into account the deviations of the air temperature and atmospheric precipitation from the long-term climate norms of the months that have the most significant impact on the yield of culture. The adequate model of variability of the yield of potatoes, cultivated in Belarus, is constructed. The research results are relevant for solving forecasting problems.

Keywords: yield, potato, air temperature and precipitation, statistical methods, calculation of productivity

Г. А. Камышэнка

*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
Мінск, Беларусь, e-mail: kamysHENka@tut.by*

КЛІМАТЫЧНАЯ САСТАЎНАЯ ЧАСТКА Ў РАЗЛІКУ ЎРАДЖАЙНАСЦІ БУЛЬБЫ

Анотацыя. Прадстаўлены вынікі статыстычнай ацэнкі ўплыву зменлівых пагодна-кліматычных умоў тэрыторыі Беларусі на прадуктыўнасць бульбы з мэтай пабудовы разліковай мадэлі ўраджайнасці. Даследаванне выканана за перыяд з 1960 па 2019 г. Разлікі выраблены адносна кліматычнай састаўной часткі ў якасці прэдыктара з улікам адхіленняў тэмпературы паветра і атмасферных ападкаў ад шматгадовых кліматычных норм месяцаў, якія аказваюць найбольш значны ўплыў на ўраджайнасць культуры. Пабудавана адекватная мадэль зменлівасці ўраджайнасці бульбы, вырошчываемай у Беларусі. Вынікі даследавання актуальныя для вырашэння прагнозных задач.

Ключавыя словы: ўраджайнасць, бульба, тэмпература паветра і атмасферныя ападкі, статыстычныя метады, разлік прадуктыўнасці

Введение. Изменяющиеся агроклиматические ресурсы территории оказывают значительное влияние на растениеводство. Основные потери в сельском хозяйстве связаны с воздействием опасных явлений погоды, таких как засухи, заморозки, сильные ливни, град и т. д. Культура земледелия в условиях изменяющегося климата приобретает все более важное значение. В районах с более высоким уровнем агротехнологий снижаются последствия проявления неблагоприятных погодных условий на урожайность культур, минимизируются потери урожая. В связи с наблюдаемыми изменениями погодно-климатических условий территории изучение динамики основных агроклиматических показателей и их влияния на продуктивность сельскохозяйственных культур актуально и своевременно. Важным аспектом является оценка зависимости урожайности от климатических изменений как основа для построения агроклиматических моделей.

Исследованиям климатообусловленной изменчивости продуктивности сельскохозяйственных культур и их прогнозированию, построению адекватных моделей урожайности, которые могут быть использованы при разработке краткосрочных прогнозов урожаев, посвящены научные работы многих исследователей [1–7], однако данный проблемный вопрос окончательно не решен в силу своей сложности и многогранности.

В качестве исследуемой культуры нами выбран картофель, традиционно занимающий важное место в аграрном секторе Беларуси. Агрометеорологические условия территории республики позволяют возделывать эту культуру повсеместно и получать устойчивые высокие урожаи. Урожайность картофеля определяется биологическими особенностями сорта, уровнем агротехнических приемов при его возделывании, а также погодными условиями. Картофель – культура умеренного климата, не выдерживает отрицательных температур, плохо реагирует на температуру ниже 7–8 °С и в то же время сильно угнетается уже при температуре почвы выше 20 °С. Картофель требователен к свету и влажности почвы. Для полного развития растений с учетом скороспелости сорта необходима определенная сумма активных температур (среднесуточная температура выше 10 °С). Для ранних и среднеранних сортов оптимальной считается 1000–1400 °С, среднепоздних и поздних – 1400–1600 °С [8]. Согласно исследованиям, выполненным под руководством академика В.Ф. Логинова [3], установлено, что современное потепление климата характеризуется существенным повышением теплообеспеченности территории Беларуси. В период с 1977 по 2015 г. суммы активных температур выше 10 °С по территории Беларуси выросли на 300–450 °С. Продолжительность вегетационного периода выросла на 9–15 дней. Прогнозы изменения климата, полученные в ходе экспериментов на глобальных численных моделях, предсказывают дальнейшее улучшение теплообеспеченности территории Беларуси.

Цель работы – установить влияние на урожайность картофеля изменяющихся погодно-климатических условий территории Беларуси и оценить ее климатообусловленную изменчивость для построения малопараметрической модели продуктивности культуры.

Материалы и методы исследования. При выполнении исследования нами использованы материалы по урожайности картофеля Министерства статистики и анализа Республики Беларусь и статистические данные Республиканского гидрометеоцентра по основным составляющим климата – температуре воздуха и атмосферным осадкам [9–12]. Исследованием охвачен временной интервал с 1960 по 2019 г.

Самая простая оценка связи урожайности сельскохозяйственных культур с климатическими факторами может быть получена из исследования корреляции годовых и среднемесячных значений температуры воздуха и сумм атмосферных осадков со статистическими данными соответствующего ряда по урожайности, что позволяет сделать вывод о наличии связи и ее знаке. Для аналитического выражения установленных связей применяется регрессионный анализ. Представленное исследование выполнено посредством применения методов математической статистики, включая многофакторный корреляционно-регрессионный анализ, деление ряда на однородные отрезки, графический метод исследования рядов распределения значений случайной величины, построение малопараметрической модели. Методика прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с заблаговременностью в один год подробно описана в работе [2] и использована нами при расчете урожайности озимых зерновых культур Беларуси [13].

Анализ и статистическое описание динамики какого-либо существенного колеблющегося показателя начинаются с выявления формы его тренда. Следующий шаг – статистическая оценка надежности построенного тренда, отражающего тенденции развития изучаемого процесса. Трендовая составляющая урожайности определяется агротехническими факторами и отражает в целом достаточно устойчивую тенденцию. Отклонения от тренда обусловлены, как правило, изменяющимися погодно-климатическими условиями, экстремальными климатическими явлениями. Однако это утверждение не совсем корректно, так как чрезмерные антропогенные нагрузки, резкое снижение уровня агротехники также находят отражение в трендовой составляющей урожайности культуры.

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 представлен график динамики изменчивости урожайности картофеля с посевных площадей в сельскохозяйственных организациях Беларуси за период 1960–2019 гг. с полиномиальным трендом, отражающим тенденцию изменения продуктивности культуры. Надежность построенного тренда подтверждается достаточно высоким значением коэффициента детерминации (R^2). Обычно в качестве трендовой

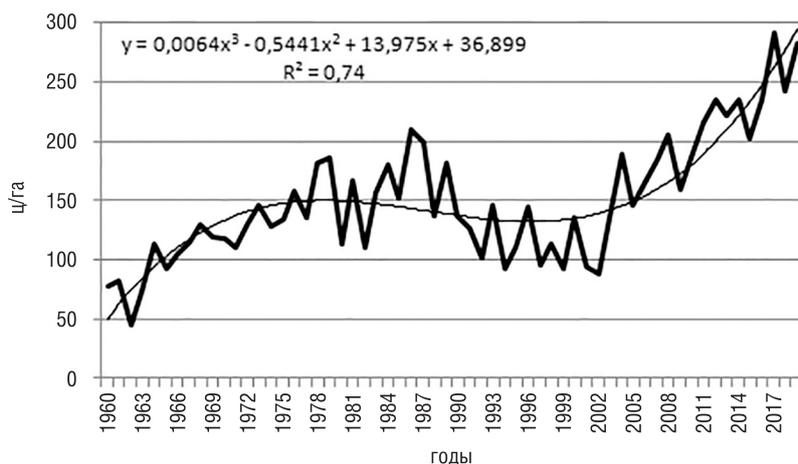


Рис. 1. Динамика изменчивости урожайности картофеля в Беларуси за период 1960–2019 гг. с полиномиальным трендом

Таблица 1. Средние значения урожайности картофеля (ц/га) в Беларуси в выделенных временных интервалах

Интервал, годы	Продолжительность, лет	Среднее значение урожайности
1960–1963	4	69,8
1964–1971	8	112,8
1972–1990	19	154,8
1991–2003	13	112,8
2004–2019	16	212,1

составляющей выбирается кривая 2-го порядка, однако в данном случае полиномиальный тренд 3-й степени позволил значительно повысить величину достоверности аппроксимации кривой, описывающей технологические факторы (значение R^2 повысилось от 0,49 до 0,74).

На графике видно, что в начальные годы рассматриваемого периода средняя по Беларуси урожайность картофеля была крайне низкой, затем последовал ее рост, который, однако, нельзя назвать равномерным. В целом динамика положительная, осложненная коротковолновой (2–3 года) изменчивостью, демонстрирующая значительный рост продуктивности культуры.

Анализ колебаний урожайности нами выполнен посредством использования алгоритма и программного комплекса по разбиению статистических рядов (в том числе многомерных) на однородные отрезки с использованием критерия Д.А. Родионова [14]. Результаты представлены в табл. 1. Только в двух выделенных временных интервалах среднее значение урожайности картофеля превысило средний показатель (149,8 ц/га) за 1960–2019 гг.

Расчет урожайности культуры будем производить по формуле:

$$Y(t) = Y_{\text{тр}}(t) + \Delta Y, \quad (1)$$

где $Y(t)$ – расчетная урожайность культуры в календарном году, ц/га; $Y_{\text{тр}}(t)$ – трендовая составляющая расчетной урожайности культуры в календарном году, ц/га; ΔY – климатическая составляющая расчетной урожайности культуры, ц/га.

Тренд продуктивности картофеля с достаточно высоким коэффициентом детерминации на интервале 1960–2019 гг. описан функцией:

$$Y_{\text{тр}}(t) = 0,0064 \cdot t^3 - 0,5441 \cdot t^2 + 13,975 \cdot t + 36,899, \quad (2)$$

где t – год по порядку, начало – 1960 г.

По полученным значениям тренда рассчитаны отклонения фактической урожайности от фоновой (трендовой составляющей). Построенная гистограмма распределения отклонения фактической урожайности картофеля от трендовой составляющей в Беларуси позволяет визуально оценить величину и характер разброса данных. Установлено, что временной ряд отклонений подчиняется нормальному закону распределения вероятностей (рис. 2).

Для более наглядного представления на рис. 3 показана диаграмма климатообусловленных отклонений урожайности картофеля от агротехнического тренда, на которой четко видна волнообразная структура изменений. На построенном графике выделяется началь-

ный сглаженный период, сменившийся значительными волнами.

Наибольшие климатообусловленные снижения урожайности картофеля отмечаются в 1962, 1980, 1982, 1992, 1994, 1997, 1999, 2001, 2002, 2015 и 2018 годах. Потери урожайности в эти годы, за исключением двух последних в перечне, варьировали от 30 до 60 %. Самые значительные в процентном отношении недоборы были в 1962-м и 2002-м годах.

Рассмотрим более подробно погодно-климатические особенности выделенных лет. При анализе воспользуемся данными Белгидромета и результатами выполненных ранее и опубликованных исследований [5].

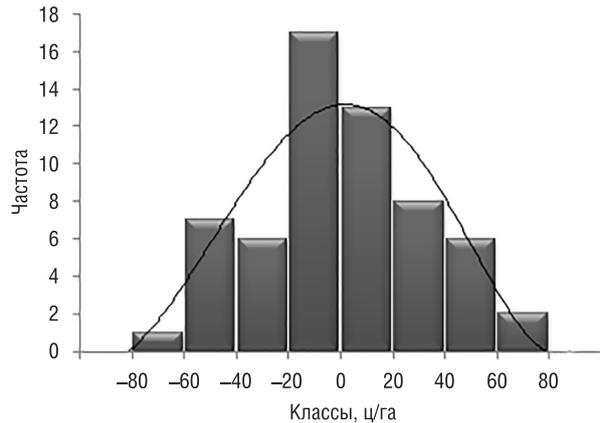


Рис. 2. Гистограмма распределения отклонения фактической урожайности картофеля от тренда

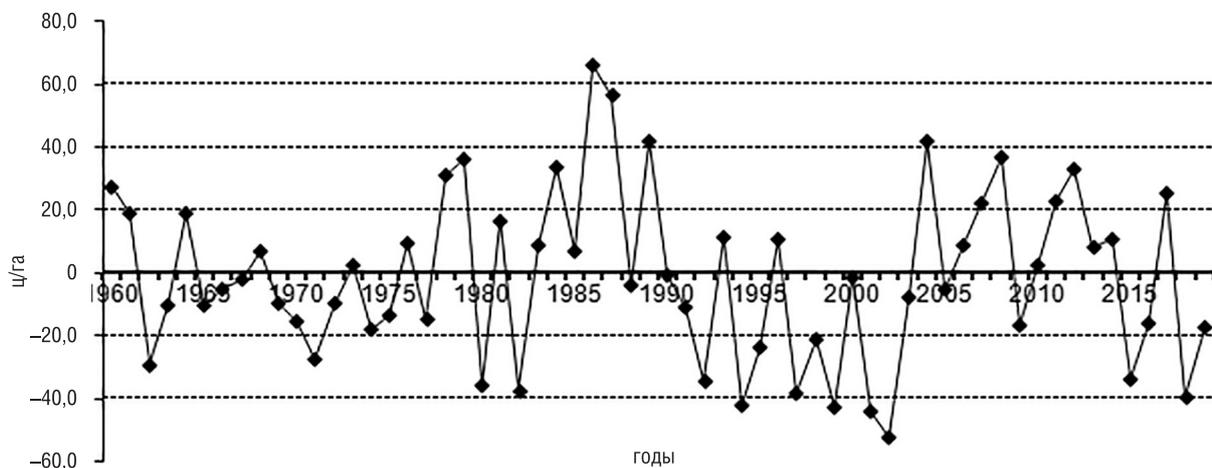


Рис. 3. Климатообусловленное отклонение урожайности картофеля от трендовой составляющей (1960–2019 гг.)

Установлено, что большинство выделенных лет характеризуется как годы с проявлением таких экстремальных явлений, как заморозки и засухи. В 1992 г. было 60 дней с засухой; в 1994 г. – 44 засушливых дня, в этот год также наблюдались весенние заморозки (урожайность картофеля с посевной площади в среднем по республике оказалась низкой – 92 ц/га); 1999 г. характеризуется наличием значительного количества дней с температурой, превышающей 25 °С и значением ГТК, равным 1,1 (82 засушливых дня), а также весенними заморозками (урожайность составила 92 ц/га); 2002 г. явился аномально засушливым (140 дней с засухой) (урожайность – 88 ц/га). Кроме того, согласно [16], снижение урожайности картофеля на 20 % и более наблюдаются не только в засушливые, но и в отдельные влажные годы. Такими холодными (влажными) годами из представленного выше перечня были 1962-й и 1980-й годы.

2015 г. в Беларуси считается одним из самых теплых со среднегодовой температурой воздуха, равной 8,5 °С, при этом его можно отнести к особо засушливым годам – на юге республики выпало осадков на 20 % меньше нормы. В 2018 г. на протяжении всего года, за исключением февраля и марта, наблюдались положительные аномалии температуры воздуха. В мае и июне по югу страны отмечалась почвенная засуха, кроме того, в этот период на территории республики в воздухе и на почве были заморозки, что также повлияло на урожайность сельскохозяйственных культур. Несмотря на аномальные условия этих лет, урожайность картофеля оказалась высокой и ее климатообусловленные потери составили менее 17 %, что свидетельствует об адаптации в последние годы аграрного сектора к погодно-климатическим изменениям.

В качестве благоприятных лет для возделывания картофеля, согласно графику отклонений урожайности от трендовой составляющей, можно выделить 1978, 1979, 1984, 1986, 1987, 1989, 2004, 2008 и 2012 годы. В этот перечень не включается 1960-й, как начальный для построенного полиномиального тренда, так как если бы нами использовался линейный тренд, то вопрос стоял бы не о приросте, а о незначительном недоборе урожайности культуры. В процентном соотношении климатообусловленный прирост урожайности картофеля в эти годы варьировал от 14 % в 2012 г. до 32 % в 1986 г.

Средние значения весенних и летних температур в 1986 г. несколько превышали многолетнюю климатическую норму, а весенние суммарные атмосферные осадки уступали многолетней норме. Если рассматривать по месяцам, то температура мая–июня на 1 °С превышала норму, суммарные осадки в эти месяцы были меньше климатических норм на 28 и 14 мм соответственно. В этот год зафиксировано 14 дней с засухой на всей территории, кроме Витебской области. В августе ситуация изменилась – при незначительном превышении температурного показателя суммарные атмосферные осадки значительно превысили климатическую норму (на 49 мм), однако эти отклонения не повлияли отрицательно на уровень продуктивности картофеля.

С целью установления связи урожайности картофеля с основными климатическими факторами построены регрессионные модели зависимости продуктивности культуры от средних значений весенних и летних температур воздуха, а также от весенних и летних сумм атмосферных осадков на временном интервале 1960–2019 гг. (рис. 4).

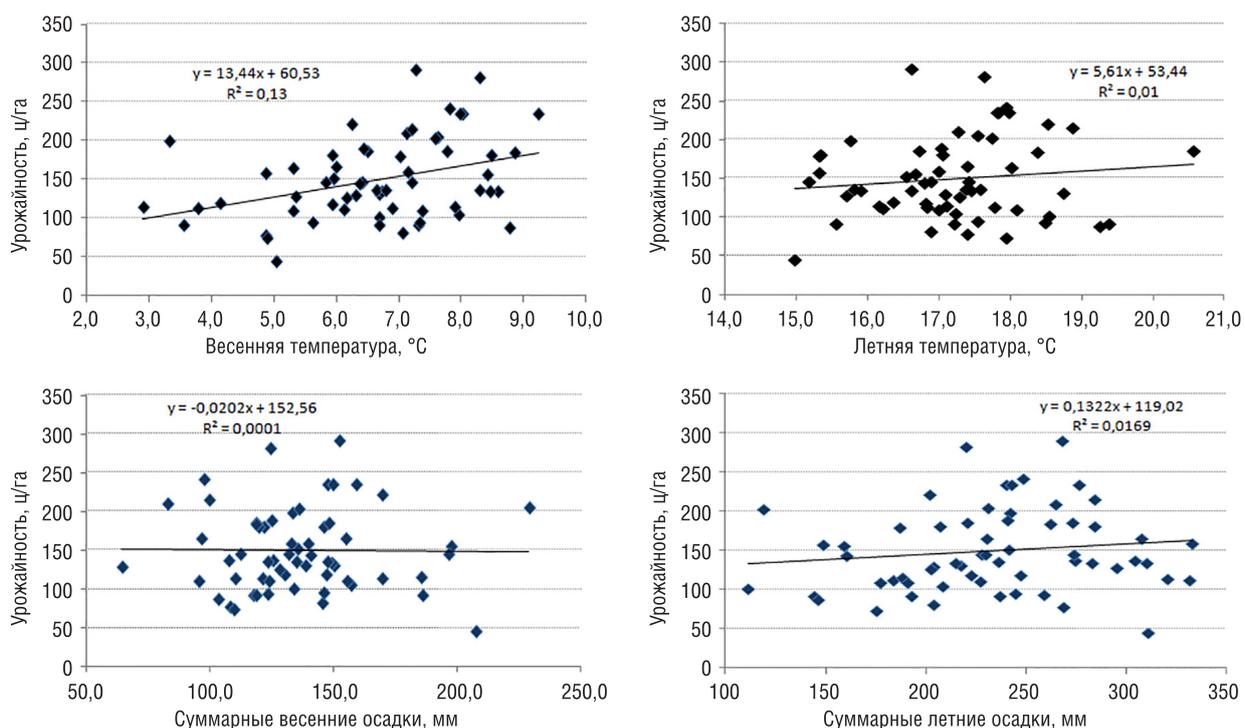


Рис. 4. Регрессионные модели связи урожайности картофеля (ц/га) со средними весенними и летними температурами воздуха (°С), а также с весенними и летними суммами атмосферных осадков, мм (Беларусь, 1960–2019 гг.)

Ранее аналогичный анализ был выполнен для временного интервала 1960–2003 гг. [5]. Сравнение полученных результатов показало, что произошедшие за последующие 16 лет изменения температурно-влажностного режима территории (повышение средних весенних и летних температур на 1 °С, а также увеличение суммарных значений выпавших осадков) сказались на характере зависимости урожайности картофеля от основных климатических факторов. Так, повысилась значимость весенних температур (майских) и температур летнего периода, причем если до 2003 г. наблюдалась обратная связь между температурным режимом летнего пе-

риода и урожайностью картофеля, то для интервала 1960–2019 гг. эта зависимость в среднем стала положительной (только для июльских температур связь обратная). Ранее наблюдалась выраженная отрицательная корреляция с весенними суммами атмосферных осадков, ставшая незначимой для 60-летнего интервала. Несколько повысилась связь урожайности картофеля с летними осадками – коэффициент детерминации стал 0,02 против 0,004. Это свидетельствует о повышении роли увлажнения в формировании урожая картофеля в условиях потепления климата.

Методом корреляционного анализа установлено, что на исследуемом 60-летнем интервале урожайность картофеля зависела от температуры воздуха мая–июня, а также от температуры августа. Установлена корреляционная связь с летними атмосферными осадками.

Методом множественного регрессионного анализа определены аналитические выражения связи между климатообусловленными отклонениями урожайности и отклонениями основных климатических показателей месяцев, оказывающих наиболее значимое влияние на продуктивность картофеля, от многолетних климатических норм. Для июньских температур и атмосферных осадков, а также для осадков июля плотность вероятности распределения Стьюдента превысила значение 0,05, поэтому можно сделать вывод, что данные независимые переменные практически не влияют на зависимую переменную (урожайность культуры). В расчетах нами будут учитываться отклонения месячных значений температуры мая и августа от климатической нормы, а также отклонения суммарных атмосферных осадков августа, оказавших наибольшее влияние на формирование урожайности картофеля в Беларуси.

В соответствии с рекомендациями Всемирного метеорологического общества (ВМО) климатические нормы рассчитывают за 30-летний период. В связи с постоянным изменением климата 17-й Всемирный метеорологический конгресс, состоявшийся в Женеве в июне 2015 г., рекомендовал рассчитывать климатические нормы за период 1981–2010 гг. В связи с тем что климатические нормы, особенно температуры воздуха, существенно изменились, в целях обеспечения отраслей экономики новыми актуализированными климатическими нормами и в соответствии с рекомендациями ВМО, гидрометеослужба Республики Беларусь перешла с 1 июля 2017 г. на новые климатические нормы по температуре и осадкам за период 1981–2010 гг. Эти нормы отражают климатические условия периода потепления. Климатическая норма среднегодовой температуры воздуха Беларуси, согласно указанному документу, составляет 6,7 °С, т.е. повысилась почти на 1 °С по сравнению с ранее действующей нормой [15]. В представленном исследовании нами учитывалась изменчивость многолетней климатической нормы. Как вариант можно рассматривать отклонения климатических показателей от их трендовых составляющих.

Ниже представим полученный полином 1-й степени, характеризующий климатическую составляющую расчетной урожайности картофеля для Беларуси в 1960–2019 гг.:

$$\Delta Y = 3,452 \cdot \Delta T_5 - 5,373 \cdot \Delta T_8 + 0,271 \cdot \Delta O_8 - 0,845, \quad (3)$$

где ΔT_i – отклонение месячных значений температуры от климатической нормы; ΔO_i – отклонение суммарных месячных осадков от климатической нормы; i – порядковый номер месяца.

Подставив результаты, полученные по уравнениям (2) и (3), в уравнение (1), получим расчетную урожайность картофеля. Графически рассчитанная урожайность картофеля в Беларуси в 1960–2019 гг. представлена на рис. 5.

Определение достоверности модели можно считать одной из важнейших проблем при моделировании систем. От ее решения зависит степень доверия к полученным результатам. Адекватность модели, ее соответствие моделируемому объекту или процессу реальной ситуации в какой-то мере является условным, так как полного соответствия реальному объекту быть не может, иначе это была бы не модель, а сам объект исследования.

Расчетный уровень значимости построенной модели равен 0,009, что значительно меньше заданного уровня значимости $\alpha = 0,05$. Поскольку фактическое значение критерия Фишера, равное 4,2, превышает $F_{\text{табл}}(2,8)$, можно сделать вывод о статистической надежности и значимости математической модели, достаточности включенных в уравнение переменных для описания

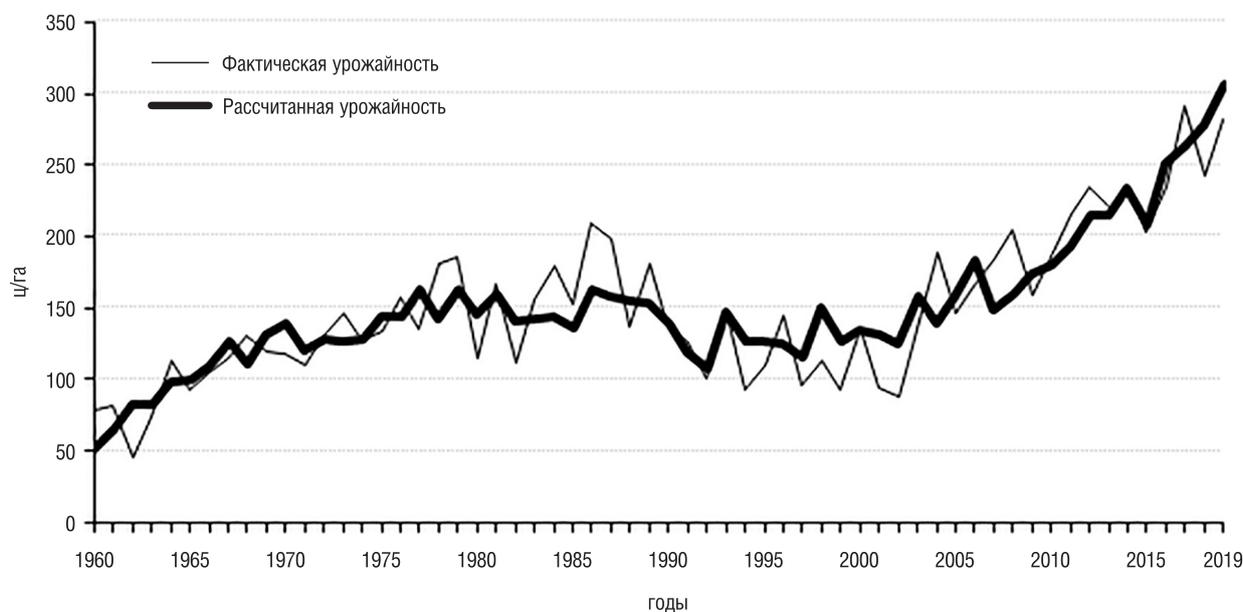


Рис. 5. Фактическая и рассчитанная динамика урожайности картофеля

климатической расчетной составляющей. В результате визуального анализа построенных кривых можно сделать вывод об их согласованности, однако следует отметить, что экстремальные значения фактической урожайности не всегда описываются с желаемой точностью. Построенная модель является адекватной, о высокой корреляционной связи фактической и расчетной урожайности картофеля свидетельствует коэффициент корреляции, равный 0,89, а также материалы табл. 2. Ошибкой до 15 % охвачено более 60,0 % лет.

Т а б л и ц а 2. Ошибки расчета урожайности картофеля

Показатель	Отклонения урожайности, %						
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–35	35–55	>55
Количество лет, %	18,3	23,3	21,7	8,3	20,0	6,7	1,7
Нарастающий итог, %	18,3	41,6	63,3	71,6	91,6	98,3	100,0

Расчеты проводились по среднемесячным значениям температуры воздуха и суммарным атмосферным осадкам в целом для территории Беларуси, что в результате дает обобщенную, сглаженную картину. В региональных исследованиях показатели, определяющие климатообусловленные отклонения урожайности, будут другими, отражающими особенности исследуемых территорий.

Заключение. В результате выполненных статистических расчетов выявлены основные климатические факторы, повлиявшие на урожайность продуктивности картофеля в Беларуси на временном интервале 1960–2019 гг. Выполнен анализ графиков, характеризующих продуктивность картофеля и их климатозависимые отклонения, построена простейшая расчетная мало-параметрическая модель урожайности. Построенную модель можно считать адекватной, о чем свидетельствует высокая корреляционная связь фактической и расчетной урожайности, а также результаты их сходимости.

Список использованных источников

1. Давыденко, О. В. Зависимость урожайности картофеля и сахарной свеклы от метеорологических показателей периода вегетации / О. В. Давыденко, П. С. Лопух // Вес. Беларус. дзярж. лед. ун-та. Сер. 3. – 2010. – №3. – С. 56–62.
2. Логинов, В. Ф. Оценка влияния климатических факторов на динамику урожайности основных сельскохозяйственных культур в Брестской области / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Природные ресурсы. – 2006. – №3. – С. 5–22.

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. *Лысенко С. А.* Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутникового мониторинга динамики углерода в наземных экосистемах // Исследование Земли из космоса. – 2019. – №4. – С. 48–59.
5. *Сачок, Г. И.* Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко – Минск: Белорусская наука, 2006. – 243 с.
6. *Трубилин, А. И.* Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / А. И. Трубилин, Г. Ф. Петрик, А. Г. Прудников. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 95 с.
7. *Уланова, Е. С.* Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии / Е. С. Уланова, В. Н. Забелин. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 207 с.
8. Настольная книга картофелевода / С. А. Турко [и др.]; под ред. С. А. Турко; Науч.-практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству. – Минск, 2007. – 165 с.
9. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь, 2017 (стат. сб.). – Минск, 2017. – 235 с.
10. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь, 2020 (стат. сб.). – Минск, 2020. – 202 с.
11. Валовой сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь за 2016 год (стат. бюлл.). – Минск, 2017. – 56 с.
12. Валовой сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь за 2019 год (стат. бюлл.). – Минск, 2019. – 57 с.
13. *Камышенко, Г. А.* Расчет урожайности озимых зерновых культур Беларуси / Г. А. Камышенко // Природопользование. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 133–140.
14. *Родионов, Д. А.* Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков / Д. А. Родионов – М.: Недра, 1968. – 160 с.
15. Справочник по климату Беларуси. Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. – Режим доступа: <https://pogoda.by/climat-directory/>. – Дата доступа: 20.03.2021.
16. *Логинов, В. Ф.* Экстремальные климатические явления: пространственно-временные закономерности их изменений и предпосылки прогнозирования / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка. – Минск, 2012. – 130 с.

Поступила 12.04.2021

А. М. Людчик¹, Е. А. Мельник², П. Н. Павленко³, С. И. Гуляева¹

¹Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Минск, Беларусь,
e-mail: liudchikam@tut.by

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

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: pavlenko_pn@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ДИОКСИДА СЕРЫ НА ПРИЗЕМНЫЙ ОЗОН В БЕЛАРУСИ

Аннотация. Приведены сведения об антропогенном загрязнении воздуха диоксидом серы в Беларуси и о его влиянии на формирование наблюдаемой концентрации приземного озона. Задача решалась посредством построения уравнения регрессии, аппроксимирующего зависимость концентрации приземного озона от метеорологических условий и прекурсоров озона. Присутствие диоксида серы в городском воздухе приводит к снижению концентрации приземного озона за счет связывания диоксида азота. Именно фотолиз последнего является источником атомарного кислорода и последующей генерации озона. Исследована особенность уравнения регрессии, когда учет фактора, отрицательно влияющего на приземный озон, иногда приводит к увеличению его рассчитанных концентраций.

Ключевые слова: диоксид серы, приземный озон, уравнение регрессии, диоксид азота, метеорологические условия

A. M. Liudchik¹, E. A. Melnik², P. N. Paulenka³, S. I. Gulyaeva¹

¹National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, Belarus,
e-mail: liudchikam@tut.by

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

³Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,
e-mail: pavlenko_pn@mail.ru

INFLUENCE OF SULFUR DIOXIDE ON SURFACE OZONE IN BELARUS

Abstract. Information on anthropogenic air pollution with sulfur dioxide in Belarus and on its influence on the formation of the observed concentration of ground-level ozone is presented. The problem was solved by constructing a regression equation approximating the dependence of the ground-level ozone concentration on meteorological conditions and ozone precursors. The presence of sulfur dioxide in urban air leads to a decrease in the concentration of ground-level ozone due to the binding of nitrogen dioxide. It is the photolysis of the latter that is the source of atomic oxygen and the subsequent generation of ozone. A feature of the regression equation is investigated when taking into account a factor that negatively affects ground-level ozone sometimes leads to an increase in its calculated concentrations.

Keywords: sulfur dioxide, ground-level ozone, regression equation, nitrogen dioxide, meteorological conditions

А. М. Людчык¹, Е. А. Мельнік², П. М. Паўленка³, С. І. Гуляева¹

¹Нацыянальны навукова-даследчы цэнтр маніторынгу азонасферы БДУ, Мінск, Беларусь,
e-mail: liudchikam@tut.by

²Рэспубліканскі цэнтр па гідраметэаралогіі, кантролю радыяактыўнага забруджвання і маніторынгу навакольнага асяроддзя, Мінск, Беларусь,
e-mail: kbb@hmc.by

³Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,
e-mail: pavlenko_pn@mail.ru

УПЛЫЎ ДЫЯКСІДУ СЕРЫ НА ПРЫЗЕМНЫ АЗОН У БЕЛАРУСІ

Анотацыя. Прыведзены звесткі пра антрапагеннае забруджванне паветра дыяксідам серы ў Беларусі, пра яго ўплыў на фарміраванне назіраемай канцэнтрацыі прыземнага азону. Задача вырашалася з дапамогай пабудовы ўраўнення рэгрэсіі, апраксімуючага залежнасць канцэнтрацыі прыземнага азону ад метэаралагічных умоў і прэкурсараў азону. Присутнасць дыяксіду серы ў гарадскім паветры прыводзіць да зніжэння канцэнтрацыі прыземнага азону за кошт звязвання дыяксіду азоту. Менавіта фатоліз апошняга з'яўляецца крыніцай атамарнага кіслароду і наступнай генерацыі азону. Даследавана асаблівасць ураўнення рэгрэсіі, калі ўлік фактару, адмоўна ўплываючага на прыземны азон, часам прыводзіць да павелічэння яго разлічаных канцэнтрацый.

Ключавыя словы: дыяксід серы, прыземны азон, ураўненне рэгрэсіі, дыяксід азоту, метэаралагічныя ўмовы

Введение. В работе [1] с использованием наблюдений в областных городах на пунктах мониторинга атмосферного воздуха Национальной системы мониторинга окружающей среды, наблюдений на метеорологических станциях и расчетов была определена приближенная зависи-

мость концентрации приземного озона от метеоусловий и антропогенных загрязнителей воздуха: CO, NO, NO₂, летучих органических соединений (ЛОС) – бензола, толуола, ксилола. Задача решалась посредством нахождения коэффициентов уравнения линейной регрессии, аппроксимирующего названную зависимость. Результаты позволяют объяснить более 60 % дисперсии флуктуаций измеренных концентраций озона.

Перечисленные выше загрязнители воздуха не исчерпывают список влияющих на озон веществ. Помимо них следует учитывать такие антропогенные загрязнители, как диоксид серы, формальдегид, метан, другие летучие органические соединения. В воздухе также присутствуют и загрязнители естественного происхождения. Из сказанного следует вывод, что полученная зависимость не совершенна и может быть уточнена за счет расширения списка учитываемых веществ.

Система мониторинга атмосферного воздуха в городах Беларуси развивается и расширяется список определяемых загрязняющих веществ. В частности, становятся доступными результаты измерений концентраций твердых частиц и диоксида серы. Названные загрязнители также участвуют в процессах образования и разрушения озона в приземном слое атмосферы и должны быть включены в список объясняющих переменных уравнения регрессии.

Можно ожидать, что диоксид серы, восстановитель, содержащийся в городском воздухе, будет реагировать с окислительной атмосферой, создаваемой фотохимическим смогом. Однако он не вступает в непосредственную реакцию ни с озоном, ни с диоксидом азота в воздухе, хотя эти реакции могут происходить в растворе или на поверхностях [2]. В то же время диоксид серы реагирует с другими, менее четко идентифицированными окислителями, которые синтезируются в процессе фотохимического образования смога. Один из механизмов включает реакцию SO₂ с NO₃ (или с N₂O₅ – соединением, образующемся в результате реакции NO₂ с O₃). Взаимодействие SO₂ с фотохимическим смогом исследовали в лабораторных условиях [3]. Анализ показал, что эффективность влияния SO₂ на озон зависит от концентраций водяного пара, исходного диоксида азота и диоксида серы. Эффект также зависит от типа углеводорода, присутствующего в анализируемой смеси газов. Во всех исследованных случаях максимальная концентрация NO₂ оказывалась ниже при наличии SO₂. Иными словами, в присутствии диоксида серы возможности генерации озона за счет солнечного излучения уменьшаются вследствие снижения концентрации потенциального источника атомарного кислорода – диоксида азота.

В других публикациях описаны случаи как генерации озона в приземном воздухе в присутствии диоксида серы, так и его уничтожения в зависимости от условий. В частности, в [4] определенно подчеркивается положительная корреляция SO₂ с озоном: «SO₂ является 3-м наиболее важным фактором, участвующим в процессах образования O₃, однако ранее основное внимание уделялось влиянию ЛОС, и роль этого загрязнителя игнорировалась». В [5] определена отрицательная корреляция озона с диоксидом серы летом и в муссонный сезон, однако она становится положительной зимой. Еще более сложный вид корреляции диоксида серы с озоном в различные сезоны отмечается в работе [6].

Здесь следует заметить, что сам факт отрицательности коэффициента корреляции объясняемой переменной с объясняющей вовсе не означает, что вторая уменьшает значения первой (или, наоборот, первая уменьшает значения второй). Существует достаточно много причин, влияющих на знак коэффициента корреляции, и выбрать правильную становится возможным, только если представлены и доказаны физические или химические механизмы, демонстрирующие связь между переменными. Например, никак не взаимодействующие друг с другом загрязнения воздуха могут иметь положительный коэффициент взаимной корреляции, если они имеют общие источники. Именно приведенные в [2, 3] результаты лабораторных исследований позволяют заключить, что диоксид серы реально может оказывать влияние на приземный озон, хотя о направлении такого влияния однозначного ответа до сих пор нет. Впрочем, стратосферный озон тоже взаимодействует с поступающим в стратосферу диоксидом серы во время мощных извержений вулканов, и результат такого взаимодействия также не однозначен [7].

В работах [5, 8, 9] отмечено сходство суточного хода диоксида серы с ходом концентраций других антропогенных загрязнений воздуха: два пика – утром и вечером. Не обнаружено также характерного для других антропогенных загрязнений различия в концентрациях SO_2 в выходные и будние дни на всех участках отбора проб [9]. Концентрации SO_2 увеличивались с высотой из-за выбросов дымовых газов. Это вполне согласуется с некоторыми наблюдениями в Беларуси, когда интенсификация вертикального перемешивания заметно снижала концентрации практически всех антропогенных загрязнителей в приземном воздухе, однако это не касалось диоксида серы. Несколько отличающийся суточный ход диоксида серы зафиксирован в г. Янбу на западе Саудовской Аравии [10]: два пика во все сезоны, кроме летнего, когда в суточном ходе наблюдаются 3 пика концентрации диоксида серы.

Твердые частицы, присутствующие в воздухе, ослабляют уровень солнечной радиации и тем самым снижают эффективность фотолиза у поверхности земли, приводящего к генерации приземного озона. К тому же возможны различные гетерогенные химические реакции на поверхности этих частиц [2, 3], приводящие, в конечном итоге, к генерации или разрушению озона. Результирующий эффект зависит от состава и концентрации частиц, а также от концентраций других малых составляющих приземной атмосферы. В частности, в исследовании [11] (г. Нанкин, Китай) установлено, что влияние на скорость фотолиза может привести к большему уменьшению O_3 , когда концентрации частиц высоки, в то время как гетерогенные реакции преобладают над восстановлением O_3 при низких концентрациях частиц. Тем не менее, механизм и совокупное влияние частиц на скорость фотолиза и на гетерогенные реакции до конца не изучены.

Диоксид серы в воздухе городов Беларуси. Наблюдения за концентрацией диоксида серы в городском воздухе начались в 2012 г. и в настоящее время проводятся во всех областных центрах Беларуси, на станции фонового мониторинга в Березинском биосферном заповеднике и некоторых других городах республики. Накопленные данные позволяют сделать некоторые выводы о загрязнении воздуха диоксидом серы. Низкие среднемесячные значения концентраций порядка 3 ppb регистрируются в Березинском заповеднике, Гомеле, Гродно и Могилеве. В Минске и Бресте – около 5 ppb. В Витебске после нескольких лет перерыва в измерениях с начала 2019 г. до середины 2020 г. фиксировались среднемесячные значения около 7–8 ppb, однако к концу 2020 г. они понизились до 2,5 ppb и остаются на таком уровне по настоящее время. При нормальных условиях концентрации 1 мкг/м^3 диоксида серы соответствует 0,375 ppb.

В качестве примера на рис. 1 представлены результаты измерений в начале 2020 г. концентрации диоксида серы на четырех пунктах мониторинга атмосферного воздуха в г. Минске. Видно, что на относительно плавный ход концентрации иногда накладываются кратковременные положительные флуктуации, в некоторых случаях превышающие 10 ppb. Длительность этих

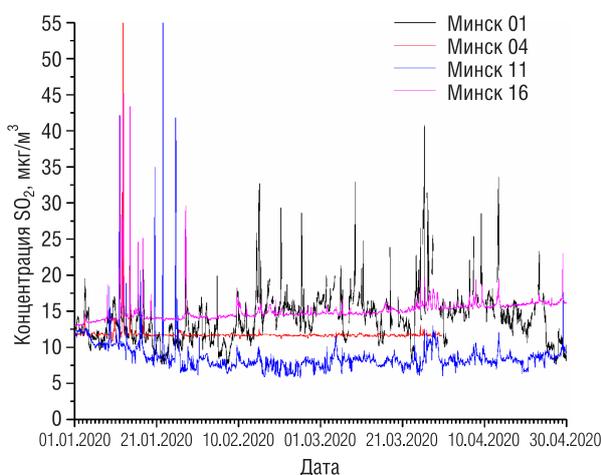


Рис. 1. Результаты измерений концентрации SO_2 на пунктах мониторинга атмосферного воздуха в г. Минске. Январь – апрель 2020 г.

флуктуаций составляет от 3 до 8 ч. Они нерегулярны и часто не совпадают с утренними и вечерними пиками концентраций других антропогенных загрязнений воздуха. Такая же ситуация характерна и для других мест наблюдений. Судя по данным, приведенным на рисунке, флуктуации одновременно проявляются на всех пунктах мониторинга в г. Минске, только с разной амплитудой и, возможно, с небольшим сдвигом по времени, что свидетельствует об их реальном существовании. Бывают также длительные периоды, когда такие флуктуации отсутствуют.

Исходные данные и детали расчетов.

Для расчета коэффициентов уравнения регрессии по методике, описанной в [12], было отобрано несколько десятков тысяч усред-

ненных околосметеорологических сроков результатов измерений во всех областных городах Беларуси. Число измерений значительно меньше, чем было использовано в [1], поскольку тогда не все наблюдения включали регистрацию диоксида серы. Поэтому сравнение результатов новых расчетов (в частности, величины объясненной дисперсии) со «старыми» не корректно.

Помимо метеорологических параметров, включающих солнечную радиацию, температуру и влажность воздуха, скорость ветра и вертикальную устойчивость атмосферы, учитывались также данные о концентрациях оксида углерода, оксида и диоксида азота, диоксида серы, ЛОС (сумме концентраций бензола, толуола и ксилола, пересчитанных в единицы ppb) и среднесуточной концентрации твердых частиц в приземном слое воздуха.

Сначала расчеты проводились без учета переменных, связанных с твердыми частицами и диоксидом серы. В этом случае объясненная дисперсия составила 55 % от полной дисперсии концентрации приземного озона. Затем в список объясняющих переменных были включены дополнительно концентрации SO_2 и твердых частиц. Объясненная дисперсия увеличилась до 58 %. Возможно, это не слишком существенное улучшение качества расчетов, однако оно действительно заметно и подтверждается примерами расчетов по двум названным схемам и их сравнением с наблюдениями. Ввиду очень большого числа использованных в расчетах наблюдений при добавлении дополнительных переменных в уравнение регрессии коэффициенты новых переменных статистически значимы на уровне $\alpha=0,001$, несмотря, казалось бы, на слабое увеличение объясненной дисперсии.

Коэффициент корреляции SO_2 с озоном оказался равным $-0,1$. Это довольно высокое значение, судя по табл. 1. В таблице приведены коэффициенты корреляции с измеренной концентрацией приземного озона основных объясняющих переменных, входящих в уравнение регрессии, для которых значения коэффициентов превышают 0,05 по абсолютной величине. Корреляция твердых частиц с озоном также отрицательна, однако в 2 раза слабее.

Отрицательные коэффициенты корреляции диоксида серы, как впрочем, и ряда других определяемых в городах Беларуси загрязняющих воздух веществ свидетельствуют, что в настоящее время антропогенное загрязнение воздуха в Беларуси приводит к снижению концентрации приземного озона, и не достигло тех уровней, когда в присутствии повышенных концентраций летучих органических соединений происходит его генерация [13].

Анализ взаимной корреляции концентраций диоксида серы и твердых частиц с другими объясняющими переменными позволяет судить о возможных общих источниках загрязнителей (табл. 2). Наибольшие по абсолютной величине значения коэффициента корреляции диоксида серы (причем отрицательные) наблюдаются с диоксидом азота и ЛОС. Возможно, это является свидетельством справедливости упомянутых ранее механизмов взаимодействия диоксида серы с диоксидом азота и ЛОС [2, 3].

Большое положительное значение имеет коэффициент корреляции диоксида серы со скоростью ветра. Это может служить доказательством поступления SO_2 в городской воздух из других регионов или интенсификации вертикального турбулентного перемешивания воздуха при увеличении скорости ветра (в литературе имеются свидетельства [9] о росте концентрации SO_2 с высотой в приземном слое воздуха из-за повышенной высоты источников выбросов). Однако вторая гипотеза маловероятна, поскольку аналогичные эффекты за счет изменения вертикальной устойчивости атмосферы (табл. 2) совершенно незначительны.

Заметные положительные коэффициенты корреляции твердых частиц получены для солнечной радиации, оксидов углерода и азота, отрицательные – для скорости ветра и вертикальной устойчивости атмосферы. Интерпретировать эти данные, наверное, преждевременно,

Таблица 1. Коэффициенты корреляции концентрации приземного озона с основными объясняющими переменными уравнения регрессии

Температура воздуха	0,15
Солнечная радиация	0,08
Скорость ветра	0,19
Концентрация CO	-0,17
Концентрация NO_2	-0,37
Концентрация NO	-0,36
Концентрация ЛОС	-0,20
Концентрация SO_2	-0,10
Частицы <10 мкм	-0,05

Таблица 2. Коэффициенты взаимной корреляции диоксида серы и твердых частиц с другими объясняющими переменными

Переменная	Концентрация SO ₂	Концентрация частиц
Температура воздуха	-0,02	0,09
Влажность	-0,01	0,02
Солнечная радиация	-0,04	0,12
Скорость ветра	0,22	-0,09
Вертикальная устойчивость атмосферы	0,01	-0,22
Концентрация CO	0,02	0,15
Концентрация NO ₂	-0,24	0,21
Концентрация NO	-0,03	0,15
Концентрация ЛОС	-0,18	0,11

ствие в воздухе названных загрязнителей в условиях Беларуси уменьшает концентрацию приземного озона. Наиболее ярко такое уменьшение проявляется в случае высоких концентраций диоксида серы и твердых частиц. Тем не менее, четко обнаружить эффект влияния на концентрацию озона запыленности воздуха по данным наблюдений в Беларуси пока не удалось, хотя тщательно анализировался случай сильного аэрозольного загрязнения в апреле 2019 г. [14], а рассчитанные коэффициенты корреляции (табл. 1) свидетельствуют о заметном отрицательном влиянии.

В качестве примера, демонстрирующего роль диоксида серы в формировании наблюдаемой концентрации приземного озона, рассмотрим ситуацию в марте и апреле 2017 г. в Гомеле (пункт наблюдений № 14). Как видно из рис. 2, в Беларуси, если отвлечься от иногда наблюдаемых (рис. 1) кратковременных флуктуаций, суточный ход концентрации диоксида серы практически незаметен в отличие от четко ранее установленных утренних и вечерних пиков концентраций других антропогенных загрязнений [15]. Безусловно существующий суточный ход концентрации твердых частиц [11] в данной публикации не обсуждается, поскольку период осреднения концентраций твердых частиц (фракции размером до 10 и до 2,5 мк) на пунктах мониторинга атмосферного воздуха в городах Беларуси составляет 24 ч.

В марте концентрация диоксида серы была высокой по сравнению с апрелем, и это с учетом ее и твердых частиц в уравнении регрессии проявилось в заметном снижении рассчитанных концентраций озона и улучшении соответствия расчета наблюдениям (в частности, дисперсия отклонений рассчитанных концентраций озона от данных наблюдений уменьшилась почти в 2 раза).

В апреле зафиксированы значительно более низкие концентрации SO₂. В результате рассчитанные по уравнению регрессии с учетом диоксида серы и частиц концентрации приземного озона увеличились. При этом возросла дисперсия отклонений данных расчета концентраций озона от экспериментальных значений по сравнению со случаем, когда диоксид серы и частицы не включались в уравнение регрессии. Здесь нет противоречия, поскольку расчеты коэффициентов регрессии осуществлялись с использованием всей совокупности данных наблюдений, а не только приведенных на рисунке.

Концентрации твердых частиц в рассмотренные периоды существенно не различались, поэтому эффект от учета такой переменной в уравнении регрессии нужно искать дополнительно. Здесь следует обратить внимание на одну особенность: результаты расчетов за апрель с учетом диоксида серы превышают рассчитанные данные без его учета, несмотря на отрицательный коэффициент корреляции диоксида серы с озоном. Объяснение этого эффекта проведем с использованием модельного примера.

Пусть переменная z линейно зависит от переменных x и y : $z = a + bx + cy$. Однако мы не догадываемся о том, что имеется зависимость от переменной y , и пытаемся определить коэффи-

поскольку в дальнейшем они будут перепроверяться и уточняться.

Влияние дополнительно учтенных переменных на концентрацию приземного озона зависит, во-первых, от эффективности действия конкретного загрязнителя, во-вторых, от его концентрации в воздухе. Первый аспект проблемы оценен посредством расчета коэффициентов корреляции загрязнителей с озоном. Оказалось, что диоксид серы весьма сильно отрицательно коррелирует с озоном. Концентрация твердых частиц в приземном слое атмосферы также антикоррелирует с озоном, однако в 2 раза слабее. Иными словами, согласно уравнению регрессии, присут-

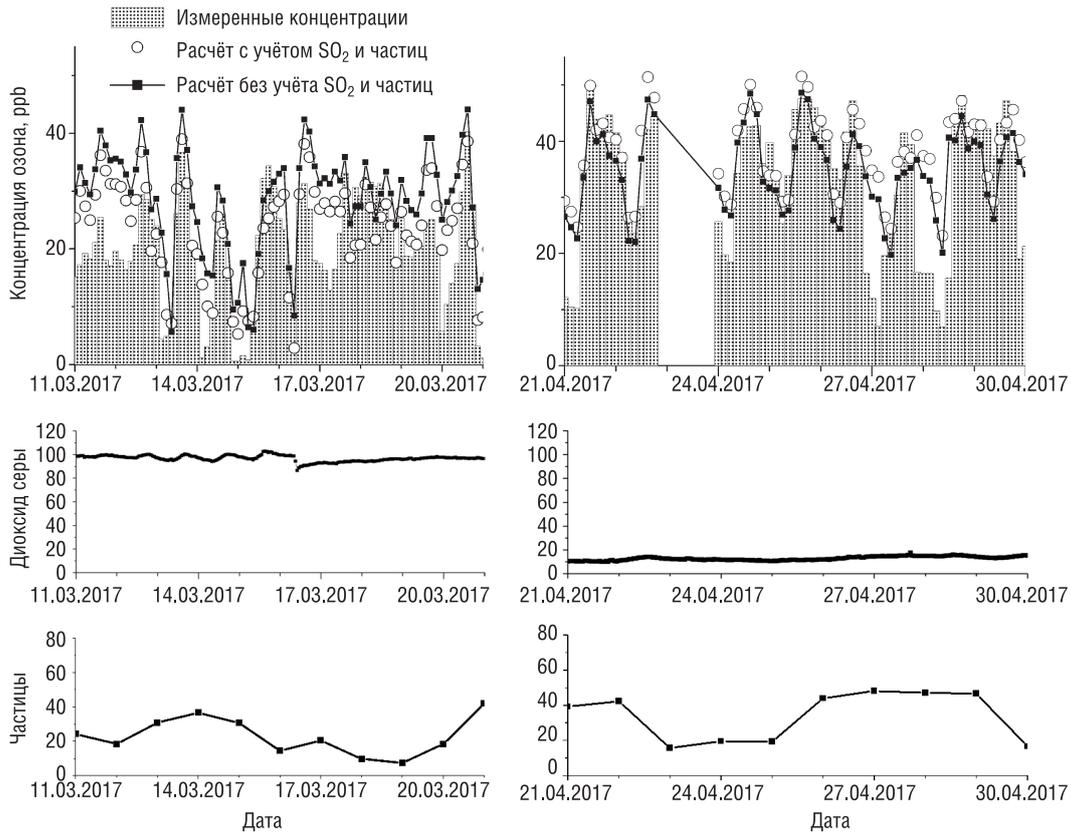


Рис. 2. Результаты наблюдений за приземным озоном в г. Гомеле в марте и апреле 2017 г. и их сравнение с расчетами по уравнению регрессии без учета и с учетом диоксида серы и твердых частиц. Приведены также данные о концентрациях диоксида серы и твердых частиц (фракция до 10 мкм) в эти периоды времени в единицах мкг/м³.

коэффициенты a и b с помощью уравнения регрессии на основании экспериментально измеренных значений z и значений, объясняющих переменную x ($i=1, N$): $z = a' + b'x$. Коэффициенты уравнения регрессии определяются из условия минимума суммы квадратов отклонений, рассчитанных по модели значений z от измеренных: $\sum_{i=1,N} (z_i - a' - b'x_i)^2$. Если сюда подставить точное выражение для z , простые выкладки приводят к следующим выражениям для коэффициентов регрессии:

$$a' = a - c \left(\frac{d_{xy}}{d_{xx}} \bar{x} - \bar{y} \right), \quad b' = b + c \frac{d_{xy}}{d_{xx}}.$$

Здесь черта обозначает усреднение по всей совокупности измеренных значений, $d_{xy} = (1/N) \sum_{i=1,N} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ – ковариация переменных x и y . Очевидно, что рассчитанные по полученному уравнению регрессии результаты будут отличаться от измеренных значений:

$$z'_i = z_i + c \left[\frac{d_{xy}}{d_{xx}} (x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y}) \right].$$

Проанализируем теперь источники этого отличия. Первый член в квадратных скобках продуцирует ошибку в расчете по уравнению регрессии за счет отклонения объясняющей переменной x от ее среднего значения, определенного по совокупности использованных данных для нахождения коэффициентов регрессии. Этот член вносит вклад только если ковариация переменных x и y отлична от нуля, т. е. названные объясняющие переменные заметно коррелируют друг с другом. Второй член всегда дает вклад в ошибку, если переменная y влияет на z (т. е. коэффициент c отличен от нуля) и меняется от измерения к измерению (т. е. результаты отдельных измерений отличаются от среднего значения).

В частности, если под переменной u подразумевать диоксид серы, коэффициент с отрицательным знаком согласно табл. 1. Следовательно, при малых (меньших средней) концентрациях диоксида серы рассчитанные значения z'_i будут в целом меньше реальных, а при высоких концентрациях – больше. Отсюда следует вывод, что уравнение регрессии с учетом диоксида серы приводит в целом к уменьшению рассчитанных концентраций озона в случае повышенных концентраций диоксида серы и к увеличению, когда его концентрация мала. Что и подтверждают данные, приведенные на рис. 1. Интуитивно следовало ожидать безусловного уменьшения рассчитанных значений при учете дополнительной переменной, отрицательно влияющей на объясняемую. Дополнительно отметим, что знак обсуждаемого отклонения зависит от среднего значения объясняющей переменной u , определенной по конкретной выборке $y_j (j = 1, N)$, проведенной параллельно с выборкой x_j . В частности, если использовать выборку из другого места наблюдений, где концентрации второй объясняющей переменной в среднем значительно отличаются от среднего значения первой выборки, то результат, полученный с помощью неполного уравнения регрессии, будет совершенно другим. Если же в уравнение внесены все переменные, то расчеты не зависят «от места наблюдений», конечно, с поправкой на ошибки измерений.

Заключение. Присутствие диоксида серы в приземном воздухе Беларуси в настоящее время способствует уменьшению концентрации приземного озона, хотя в других регионах планеты (Индия [4–6]) отмечаются случаи, когда диоксид серы стимулирует его генерацию. Результирующий эффект зависит от концентрации диоксида серы в воздухе, концентраций других загрязнителей, а также от метеорологических условий.

Установлена особенность интерпретации зависимости данных наблюдений от влияющих на них факторов с помощью уравнения регрессии. Отсутствие в списке одной из объясняющих переменных, определенно влияющей на объясняемую, приводит как к положительным, так и к отрицательным отклонениям рассчитанных значений объясняемой переменной от экспериментально измеренных независимо от результирующего эффекта влияния объясняющей переменной на объясняемую. Эту особенность следует иметь в виду при сравнении результатов расчета с измеренными значениями и выработке предположений о возможных важных неучтенных объясняющих переменных. Например, учет отрицательно влияющей объясняющей переменной не всегда уменьшает рассчитанные по уравнению регрессии значения объясняемой переменной.

Представленные на рис. 2 результаты расчетов, включающих учет диоксида серы и твердых частиц, не устраняют полностью различие между рассчитанными и измеренными концентрациями озона. Причиной этого могут быть недостатки использованной методики, неполный учет всех прекурсоров озона и, возможно, некачественные измерения. По названным проблемам ведутся исследования с целью устранения или минимизации их роли.

Список использованных источников

1. Божкова, В. В. Флуктуации поля приземного озона в Беларуси, обусловленные метеорологическими условиями и антропогенным загрязнением воздуха / В. В. Божкова, А. М. Людчик, Е. А. Мельник // Природные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 81–90.
2. Kinetics and mechanism of heterogeneous oxidation of sulfur dioxide by ozone on surface of calcium carbonate / L. Li [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics, European Geosciences Union. – 2006. – Vol. 6, N 9. – P. 2453–2464.
3. Wilson Wm. E., Jr. A Study of Sulfur Dioxide in Photochemical Smog / Wm. E. Wilson Jr., Arthur Levy, D. B. Wimmer // Journal of the Air Pollution Control Association. – 1972. – Vol. 22, N 1. – P. 27–32. DOI: 10.1080/00022470.1972.10469605
4. Multiple Regression Analysis of Ground level Ozone and its Precursor Pollutants in Coastal Mega City of Mumbai, India / S. A. Marathe [et al.] // MOJ Eco. Environ. Sci. – 2017. – Vol. 2, N 6. – P. 00041. DOI: 10.15406/mojes.2017.02.00041
5. Environmental monitoring of surface ozone and other trace gases over different time scales: chemistry, transport and modeling / R. Venkanna [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2015. – Vol. 12. – P. 1749–1758. DOI 10.1007/s13762-014-0537-8
6. Sharma, R. C. Influence of Oxides of Nitrogen, Carbon Monoxide and Sulphur Dioxide on Surface Ozone Level in Different Meteorological Seasons in Haryana State, Northern India / Ram Chhavi Sharma, Niharika Sharma // Amer. J. Environ. Protection. – 2017. – Vol. 5, N 1. – P. 1–8. DOI: 10.12691/env-5-1-1
7. Scientific Assessment of Ozone Depletion: World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project–Report. – 2018. – N 58. – 590 p.
8. Spatial and temporal distribution of NO_2 and SO_2 in Inner Mongolia urban agglomeration obtained from satellite remote sensing and ground observations / C. Zheng [et al.] // Atmospheric Environ. – 2018. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.06.029

9. *Özden, Ö.* Atmospheric Concentrations of Inorganic Pollutants (NO₂, SO₂ and Ozone) in Eskisehir: Spatial and Vertical Variations, Weekday-Weekend Differences / *Özlem Özden Üzmez // Anadolu University Journal of Science and Technology A – Applied Sciences and Engineering.* – 2018. – Vol. 19, N 2. – P. 523–535. DOI: 10.18038/aubtda.376520
10. *Al-Jeelani, H. A.* Diurnal and Seasonal Variations of Surface Ozone and Its Precursors in the Atmosphere of Yanbu, Saudi Arabia / *H. A. Al-Jeelani // Journal of Environmental Protection.* – 2014. – Vol. 5, N 5. – P. 408–422. DOI: 10.4236/jep.2014.55044
11. Influence of atmospheric particulate matter on ozone in Nanjing, China: Observational study and mechanistic analysis / *Y. W. Qu [et al.] // Adv. Atmos. Sci.* – 2018. – Vol. 35, N 11. – P. 1381–1395. DOI: 10.1007/s00376-018-8027-4
12. Статистическая оценка антропогенного воздействия на приземный озон / *А. М. Людчик [и др.] // Природные ресурсы.* – 2015. – № 1. – С. 95–105.
13. *Sillman, S.* Tropospheric ozone, smog and ozone-NO_x-VOC sensitivity / *S. Sillman // Treatise in Geochemistry.* – 2003. – Vol. 9. – P. 407–431.
14. Причины «странного» поведения приземного озона в апреле 2019 г. / *В. В. Божкова [и др.] // Природные ресурсы.* – 2021. – № 2. – С. 94–103.
15. *Bozhkova, V. V.* Influence of meteorological conditions on urban air pollution / *V. V. Bozhkova, A. M. Liudchik, S. D. Umreika // Acta Geographica Silesiana.* – 2020. – Vol. 14, N 4. – P. 5–21.

Поступила 27.09.2021

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**WATER RESOURCES****ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ**

УДК 504.05/.06:711.4

О. Г. Савич-Шемет, Е. В. Гапанович

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

КЛИМАТОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО И ПОДЗЕМНОГО СТОКА РЕК ОРШАНСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА

Аннотация. Представлены многолетние изменения расходов рек Оршанского артезианского бассейна. Показано, что основными факторами, влияющими на условия формирования стока, являются прежде всего климатические, геоморфологические и гидролого-гидрогеологические условия региона. На территории Оршанского артезианского бассейна выявлено статистически значимое снижение стока за весеннее половодье и уменьшение его доли в годовом стоке (мощность отрицательного тренда составила от 5,4 до 22,0 %). Выявлено значительное увеличение доли зимнего стока в годовом распределении для рек Оршанского артезианского бассейна. В результате построения двухфакторных регрессионных моделей связи зимних расходов и расходов воды весеннего половодья установлено, что увеличение доли зимнего стока рек связано с повышением температуры воздуха холодных месяцев, с увеличением частоты оттепелей, прохождением зимних паводков. Полученные результаты свидетельствуют, что подземный сток в зимнюю межень увеличился. Обусловлено это мягкими зимами, наличием частых оттепелей и достаточным увлажнением территории.

Ключевые слова: речной бассейн, речной сток, расход воды весеннего половодья, мощность тренда, динамическая норма ряда

O. G. Savich-Shemet, E. V. Gapanovich

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

CLIMATOGENIC CHANGES IN THE RIVER AND UNDERGROUND RIVER FLOW OF THE ORSHA ARTESIAN BASIN

Abstract. The article presents long-term changes in the flow rates of the rivers of the Orsha Artesian basin, it is shown that the main factors influencing the conditions of flow formation are primarily climatic, geomorphological and hydrological-hydrogeological conditions of the region. On the territory of the Orsha Artesian basin, a statistically significant decrease in runoff during the spring flood and a decrease in its share in the annual runoff were revealed (the power of the negative trend ranged from 5.4 to 22.0 %). A significant increase in the share of winter runoff in the annual distribution for the rivers of the Orsha Artesian basin was revealed. As a result of constructing two-factor regression models of the relationship between winter expenditures and spring flood water expenditures, it was found that an increase in the share of winter river runoff is associated with an increase in the air temperature of the cold months, with an increase in the frequency of thaws, and the passage of winter floods. The results obtained indicate that the underground runoff in the winter has increased, due to mild winters, the presence of frequent thaws and sufficient humidification of the territory.

Keywords: river basin, river runoff, spring flood water consumption, trend power, dynamic norm of the series

A. P. Savich-Shemet, E. V. Gapanovich

*Институт прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
Мінск, Беларусь, e-mail: savichoks@yandex.ru*

КЛИМАТОГЕННЫЯ ЗМЭНЫ РАЧНОГА І ПАДЗЕМНАГА СЦЁКУ РЕК АРШАНСКАГА АРТЭЗІАНСКАГА БАСЕЙНА

Анотацыя. Прадстаўлены шматгадовыя змены выдаткаў рек Аршанскага артэзіянскага басейна. Паказана, што асноўнымі фактарамі, якія ўплываюць на ўмовы фарміравання сцёку, з'яўляюцца перш за ўсё кліматычныя, геамаарфалагічныя і гідралага-гідрагеалагічныя ўмовы рэгіёну. На тэрыторыі Аршанскага артэзіянскага басейна выяўлена статыстычна значнае зніжэнне сцёку за вясновую паводку і памяншэнне яго долі ў гадавым сцёку (магутнасць адмоўнага тренду складала ад 5,4 да 22,0 %). Выяўлена значнае павелічэнне долі зімовага сцёку ў гадавым размеркаванні для рек Аршанскага артэзіянскага басейна. У выніку пабудовы двухфактарнай рэгрэсійнай мадэлі сувязі зімовых выдаткаў і выдаткаў вады вясновай паводкі ўстаноўлена, што павелічэнне долі зімовага сцёку рек звязана з павышэннем тэмпературы паветра халодных месяцаў, з павелічэннем частаты адлігаў, праходжаннем зімовых паводак. Атрыманыя вынікі сведчаць, што падземны сцёк у зімовую межень павялічыўся, што абумоўлена мяккімі зімамі, наяўнасцю частых адліг і дастатковым увільгатненнем тэрыторыі.

Ключавыя словы: рачны басейн, рачны сцёк, расход вады вясновай паводкі, магутнасць тренду, дынамічная норма шэрагу

Введение. Оршанский артезианский бассейн входит в состав Московского мегабассейна подземных вод и приурочен к центральной и северо-восточной части Беларуси. Мощность осадочных пород достигает 1500–1700 м. В бассейне по степени дренирования реками и условиям взаимосвязи поверхностных и подземных вод выделяются две гидродинамические зоны – активного и замедленного водообмена. Первая зона объединяет пресные воды четвертичных, меловых и девонских отложений мощностью 300–350 м, уменьшаясь до 200 м в сторону Жлобинской седловины. Вторая зона, расположенная ниже по разрезу, не имеет активной связи с поверхностью [1].

Гидрографическая сеть Оршанского артезианского бассейна представлена р. Днепр с притоками Березина, Сож и Западная Двина (рис. 1). В качестве объекта исследований многолетних изменений речного стока, исходя из анализа физико-географических, геолого-гидрогеологических и водохозяйственных аспектов территории, выбран бассейн стока р. Днепр с притоком р. Сож.

Основная часть. Объектом исследований являлись поверхностные воды рек Оршанского артезианского бассейна и подземная составляющая питания рек. Исследования включали: структурно-пространственный анализ материалов, характеризующих природные условия (климатические, геоморфологические, гидрологические, геолого-гидрогеологические и др.) Оршанского артезианского бассейна; анализ картографического материала; анализ трендов эквидистантных временных рядов наблюдений за расходом рек и подземного стока в реки, расчленение гидрографа, построение регрессионных одно- и двухфакторных моделей связи расходов рек с основными предикторами – атмосферными осадками и температурой атмосферного воздуха.

Гидрографическая сеть Оршанского артезианского бассейна представлена рекой Днепр с притоками Березина и Сож, Западная Двина и малыми реками.

Днепр берет начало на Валдайской возвышенности. Длина реки 2201 км, в том числе на территории Беларуси 700 км. Густота эрозионной сети 0,39 км/км². На всем белорусском отрезке река является судоходной. Ширина долины от 0,5–1,5 до 5–10 км, при слиянии с Сожем – до 35–50 км. Максимальная глубина вреза (70–80 м) установлена в районе г. Орши [2].

В долине Днепра выделяются пойма и две надпойменные террасы. На отдельных участках обособляется еще более высокий уровень, который рассматривается как перигляциальная терраса [1]. Пойма развита практически повсеместно. Ее высота снижается вниз по течению от 5–6 до 2–3 м, различаются два пойменных уровня. Пойма в большинстве случаев аккумулятивная, нередко заболоченная. В 9 км выше Орши выходы девонских пород образуют в русле реки Кобелякские пороги.

Река Березина – единственный из крупных водотоков (длина 613 км), который от истоков до устья протекает по территории Беларуси. Истоки реки располагаются в заболоченном понижении юго-западнее Докшиц. Густота эрозионной сети 0,35 км/км². Ширина долины от 200–300 м в верховье до 5–10 км и более в среднем и нижнем течении, врез от 10–15 до 20–25 м. Выделяются пойма и две надпойменные террасы.

Река Сож берет начало в пределах Смоленско-Московской возвышенности вблизи г. Смоленска. На территории Беларуси располагается долина среднего и нижнего Сожа. Длина реки 648 км (в Беларуси 493 км). Густота эрозионной сети 0,38 км/км². Ширина долины изменяется от 1,5–3,0 до 15–18 км. Ниже Гомеля совместная долина с Днепром достигает 35–50 км. Врез варьирует от 30–40 до 50–55 м. Выделяются пойма и две надпойменные террасы. Пойма чаще всего аккумулятивная.

Для определения многолетних изменений количественных характеристик речного стока рек территории исследований анализу были подвергнуты наблюдения за расходом рек по данным гидрологических постов: р. Днепр – Речица, Могилев, Орша, Жлобин; р. Сож – Гомель, Славгород, Кричев; р. Проня – Летаги. Период наблюдений на гидрологических постах приведен в табл. 1, продолжительность периода наблюдений составляет 75–126 лет.

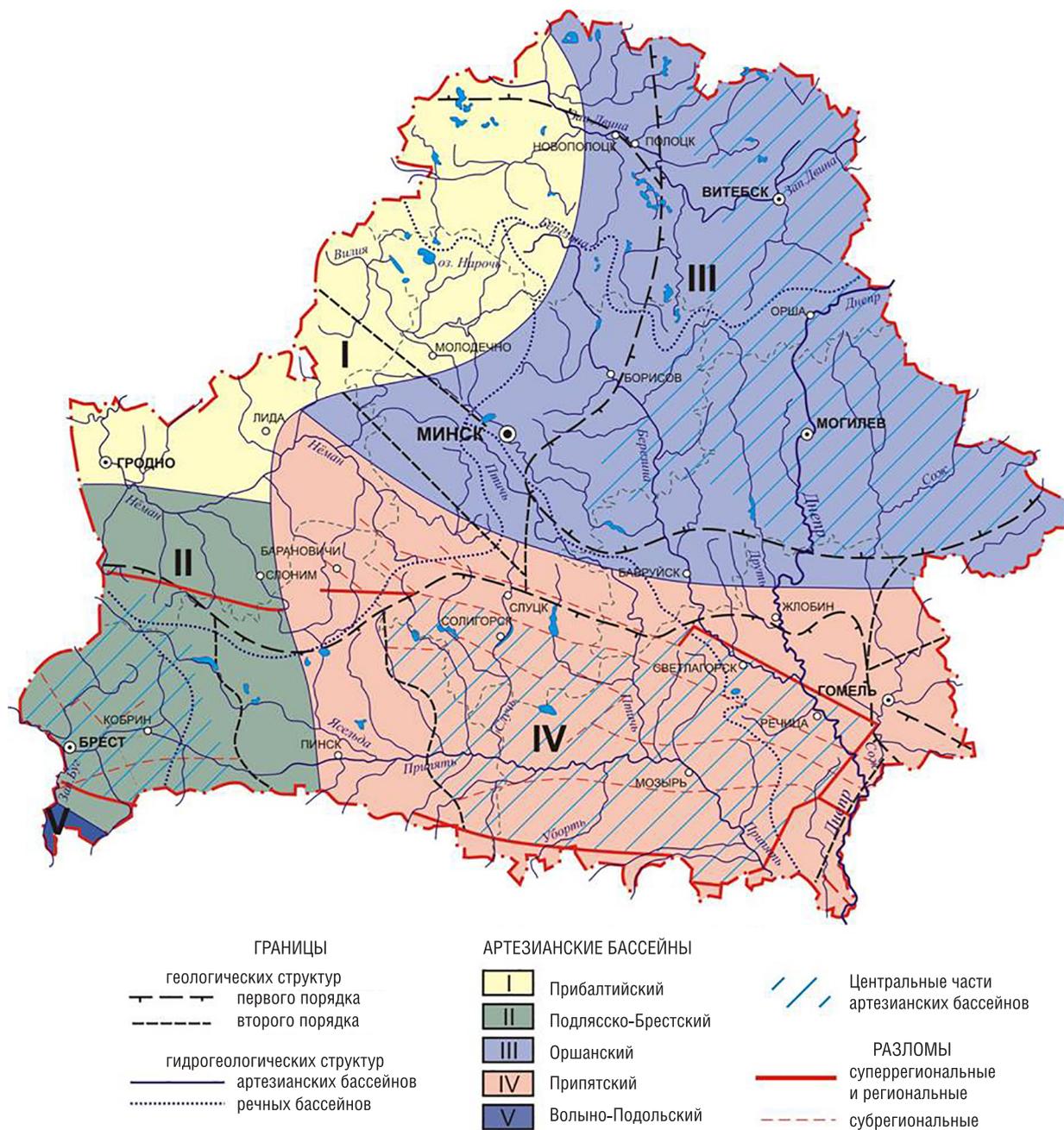


Рис. 1. Гидрогеологическое районирование территории Беларуси

Т а б л и ц а 1. Ведение гидрологических наблюдений на территории исследований

Бассейн	Пост	Период	Годы, колич.	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Отметка нуля поста, мБС
р. Днепр	Речица	1895–2015	117	1168	58 200	114,47
	Могилев	1931–2015	81	1496	20 800	138,40
	Орша	1882–2015	126	1588	18 000	148,96
	Жлобин	1936–2015	75	1285	30 300	122,65
р. Сож	Гомель	1900–2015	111	105	38 900	113,91
	Славгород	1897–2015	113	296	17 700	128,19
	Кричев	1976–2016	39	412	10 200	138,95
р. Проня	Летяги	1932–2015	65	26	4 570	132,12

Основными исходными материалами по величине атмосферных осадков и температуре атмосферного воздуха, которые являются одними из главных динамических факторов формирования речного стока, в работе послужили данные Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Хронология ведения метеорологических наблюдений на территории исследований

Артезианский бассейн	Ежемесячные данные		Срочные данные	Суточные данные
	осадки	среднемесячная температура		
Оршанский	с 1891–1905 гг. с перерывом 1933(41)–1945 по 2014 г.	с 1905 г. с перерывом 1933(41)–1945 по 2014 г.	1961–2014 гг.	1955–2014 гг.

Гидрогеологические условия. На территории Оршанского артезианского бассейна в толще осадочных пород выделяется несколько десятков водоносных горизонтов и комплексов, отличающихся стратиграфическими объемами, литологическим содержанием, пространственной структурой, водонасыщенностью и др. В зоне активного водообмена распространены водоносные горизонты и комплексы четвертичных, меловых и девонских отложений [1, 3].

Четвертичный водоносный комплекс. Четвертичные отложения представлены чередованием моренных суглинков и супесей с водно-ледниковыми, озерно-болотными и аллювиальными образованиями – песками, супесями, торфами. Мощность этих отложений изменяется от нескольких до 300 м и более, составляя в среднем 80 м. Наименьшие мощности наблюдаются на низинах и равнинах (20–60 м), наибольшие – на возвышенностях (120–240 м, максимум 325 м). Выделяются водоносные горизонты и подкомплексы в надморенных, межморенных и подморенных отложениях и разделяющие их слабопроницаемые толщи моренных отложений. Водовмещающие отложения отличаются пестротой и разнообразием литологического состава, частым выклиниванием не выдержанных по площади и в разрезе водовмещающих и слабопроницаемых пород, что обуславливает условия гидравлической связи между ними и образование единого водоносного комплекса четвертичных отложений.

Первый от поверхности горизонт грунтовых вод распространен в разновозрастных покровных отложениях. Главным образом это флювиогляциальные отложения поозерского, сожского и днепровского оледенения, верхнечетвертичные и современные аллювиальные, озерно-аллювиальные и озерно-болотные образования. Мощность горизонта грунтовых вод изменяется от 0 до 30 м составляет в среднем 5–15 м [1, 3]. Основными водоносными подкомплексами четвертичных отложений, содержащими напорные воды, являются межморенные сожско-поозерский, днепровско-сожский и березинско-днепровский (табл. 3).

Сожско-поозерский водоносный подкомплекс распространен в северной части бассейна, до границы поозерского оледенения. Глубина залегания кровли изменяется от нескольких до 90 м, мощность водовмещающих отложений от 3 до 50 м, составляя в среднем 10–20 м.

Днепровско-сожский водоносный комплекс распространен на большей части Оршанского артезианского бассейна. Глубина залегания кровли изменяется от 2–40 м в долинах рек, до 100–195 м на водоразделах. Мощность водовмещающих отложений достигает 50–90 м, преобладают значения 10–20 м.

Березинско-днепровский водоносный подкомплекс распространен почти на всей территории бассейна. Глубина залегания комплекса в северной части площади достигает 100–200 м, в центральных районах – 70–100 м, на юге – от 20 до 80 м. Мощность изменяется от 2–10 до 100–170 м и более в древних погребенных долинах.

Моренные отложения, разделяющие водоносные подкомплексы, отличаются площадной невыдержанностью как по мощности, так и по литологическому составу. Мощность морен составляет в среднем 10–30 м, но в доледниковых долинах возрастает от 50–60 до 100–120 м. Сожская морена на значительной территории имеет мощности 10–20 м, в районе возвышенностей – более 40 м. Днепровская морена – преимущественно 10–20 м, островками – более 20 м. Березинская морена – 10–20 м, на окраинах распространения – менее 10 м, редкими мелкими

фрагментами – более 20 м. Моренные отложения представлены в основном суглинками и супесями, часто с гравием, галькой и валунами, линзами и прослоями песка. Нередко морена размыта и замещена песками, через которые осуществляется активная гидравлическая связь межморенных водоносных подкомплексов между собой, с грунтовыми и поверхностными водами. Верхним водоупором межморенных подкомплексов служат моренные суглинки, супеси и озерно-ледниковые глины: на севере – поозерского оледенения, на остальной площади – сожского и днепровского оледенений. Нижним водоупором в северной части республики являются морены сожского и днепровского оледенений, в центральной и южной – днепровского, местами березинского оледенений. На участках отсутствия моренных отложений, нижним водоупором в северной части являются отложения верхнего и среднего девона, представленные глинами, не имеющие сплошного распространения. По всей территории исследований четвертичный комплекс имеет непосредственную гидравлическую связь с нижезалегающими комплексами.

Пьезометрические уровни межморенных водоносных подкомплексов на водораздельных участках имеют максимальные абсолютные отметки, но устанавливаются ниже уровней грунтовых вод. К речным долинам наблюдается снижение уровней напорных вод до минимальных отметок, но, тем не менее, превышающих отметки уровней грунтовых и поверхностных вод. Это свидетельствует о том, что питание напорных водоносных комплексов происходит на возвышенных участках за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания из горизонта грунтовых вод, а разгрузка – в долинах рек. В целом поверхность подземных вод повторяет в сглаженном виде современный рельеф, а вся четвертичная толща может рассматриваться как единая гидродинамическая система, в которой подземные воды всех водоносных горизонтов и комплексов формируют единый поток. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от долей метра до 30 м, на водоразделах – до 50 м и более, а в долинах рек поднимаются выше поверхности земли на 0,8–7,0 м (Неман, Березина, Двина, Улла и др.).

Разнообразие гранулометрического состава водовмещающих песков, изменчивость мощности обуславливают пестроту водообильности четвертичного водоносного комплекса. Удельные дебиты скважин колеблются в большом диапазоне от 0,01 до 1,1 л/с, местами достигая 5–10 л/с, чаще встречаются 0,2–0,4 л/с. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород меняется по площади и в разрезе в пределах 0,6–20,0 м/сут. Водопроницаемость по площади изменяется: для сожско-поозерского подкомплекса от 40 до 320 м²/сут, преобладают значения 100–200 м²/сут; для днепровско-сожского – от 10 до 500 м²/сут, составляя чаще 120–230 м²/сут; для березинско-днепровского – от 50–100 до 200–300 м²/сут, преобладают значения 50–70 м²/сут.

Т а б л и ц а 3. Характеристика водоносных комплексов четвертичных отложений

Характеристики комплекса	Сожско-поозерский	Днепровско-сожский	Березинско-днепровский
Глубина залегания кровли, м	2–90	2–40 в долинах рек до 100 м и более на водоразделах	1–170
Мощность водовмещающих отложений, м	3–50 (среднее 10–20)	2–74 (среднее 15–30)	от 2–10 до 100–170 м и более в древних погребенных долинах
Пьезометрические уровни, м	1–55 м (в долинах рек иногда до 1,5 м выше поверхности земли)	1–6 м в долинах рек и до 30–53 м на водоразделах	1–78 м (в долинах рек иногда до 2,5 м выше поверхности земли)
Величина напора над кровлей, м	80	1–90	1–134
Коэффициенты фильтрации, м/сут	3–10	0,2–50 (средняя 5–15)	0,2–26
Удельные дебиты скважин, л/с	0,02–3,5	0,01–9,5	0,01–4,3

По химическому составу и общей минерализации воды напорного четвертичного комплекса на всей площади распространения относятся к пресным, гидрокарбонатным кальциево-магниевым с минерализацией 0,1–0,5 г/л. Исключение составляют участки антропогенного загрязнения и разгрузки минерализованных вод в долинах некоторых рек (Зап. Двина, Припять, Днепр, Березина, Птичь и др.). Как правило, в этих водах отмечается повышенное содержание железа и недостаток фтора, согласно требованиям СанПиН 10-124 РБ99 на питьевые воды.

Так, из (4) видно, что во всех разностях присутствует одна и та же константа b , т.е. колебания рассчитанных разностей Δ зависят только от d_u , и влияние общей тенденции (тренда) исключается.

Оценка представительности климатообусловленных трендов в изменении расходов рек Оршанского артезианского бассейна базировалась на построении регрессионных моделей связи последних с основными предикторами. Задача регрессионного анализа – описание связей между исследуемыми величинами в виде уравнений или моделей связи $y = f(x)$. Для построения регрессионных моделей в работе применен метод наименьших квадратов, т.е. $y = f(x)$ строится так, чтобы сумма квадратов отклонений между модельными и фактическими величинами была минимальной.

Построение регрессионной модели представляет собой итерационный процесс, направленный на поиск эффективных независимых переменных (эффективных предикторов).

Задача построения качественного уравнения регрессии, соответствующего выборочным (эмпирическим) данным и целям исследования, является достаточно сложным и многоступенчатым процессом. Его можно разбить на три этапа: 1) выбор формулы уравнения регрессии; 2) определение параметров выбранного уравнения; 3) анализ качества уравнения и проверка адекватности уравнения эмпирическим данным, проверка статистической значимости коэффициентов, проверка остатков на наличие автокорреляционных связей членов ряда.

В общем случае при построении парной линейной регрессионной модели $y = a_0 + a_1x$ доказано, что Q_e будет минимальна если a_0 и a_1 будут найдены путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \end{cases} \quad (5)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – значения некоторой величины; y_1, y_2, \dots, y_n – соответствующие им значения y ; $Q_e = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$, Q_e – сумма квадратов ошибки или остаточная сумма квадратов.

В работе выполнена проверка адекватности и точности моделей, статистической значимости коэффициентов моделей и проверка остатков на наличие автокорреляции с помощью критерия Дарбина–Уотсона. Проверка модели на автокоррелированность остатков проводилась при предположении, что при наличии автокорреляции остатков верно соотношение:

$$e_t = \rho e_{t-1} + v_t, \quad (6)$$

где e_t – остатки; ρ – коэффициент автокорреляции остатков; v_t – независимые случайные величины. Если $\rho = 0$, то отсутствует автокорреляция остатков и оценка параметров методом наименьших квадратов является наилучшей линейной несмещенной оценкой. Если $\rho \neq 0$, то оценка параметров методом наименьших квадратов является смещенной и выводы по модели не корректны. Таким образом, при тестировании на автокорреляцию остатков выдвигается нулевая гипотеза $H_0: \rho = 0$ против альтернативной гипотезы $H_1: \rho \neq 0$.

Статистика Дарбина–Уотсона определяется соотношением:

$$D - W = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}. \quad (7)$$

Критерий Дарбина–Уотсона и коэффициент автокорреляции остатков связаны между собой соотношением (рис. 2):

$$D - W \cong 2(1 - \rho).$$



Рис. 2. Соотношение критерия Дарбина–Уотсона и коэффициента автокорреляции

Как видно из рис. 2, в случае отсутствия автокорреляции $D - W = 2$; при положительной автокорреляции стремится к нулю, а при отрицательной – к 4:

$$\begin{cases} \rho = 0 \Rightarrow D - W = 2; \\ \rho = 1 \Rightarrow D - W = 0; \\ \rho = -1 \Rightarrow D - W = 4. \end{cases}$$

На практике применение критерия Дарбина–Уотсона основано на сравнении величины $D - W$ с теоретическими значениями d_L и d_U для заданного числа наблюдений n , количества независимых переменных модели и заданного уровня значимости α :

- 1) если $D - W < d_L$, то гипотеза о независимости случайных отклонений отвергается (следовательно, присутствует положительная автокорреляция);
- 2) если $D - W > d_U$, то гипотеза не отвергается;
- 3) если $d_L < D - W < d_U$, то нет достаточных оснований для принятия решений.

Когда расчетное значение $D - W$ превышает 2, то с d_L и d_U сравнивают не сам коэффициент $D - W$, а выражение $(4 - D - W)$.

Для рек Оршанского артезианского бассейна – Днепр, Сож, Проня – выполнена количественная оценка доли различных видов питания в формировании стока с помощью графического расчленения гидрографа по видам питания (рис. 3) [5, 6].

Реки Оршанского артезианского бассейна характеризуются наличием постоянной или временной гидравлической связи речных и грунтовых вод на подъеме половодья; в результате подпора рекой грунтовых вод подземное питание уменьшается и достигает минимума при наивысшем уровне воды в реке (рис. 3, точка 3). При длительном стоянии высоких уровней, что более свойственно крупным рекам, происходит фильтрация речных вод в берега («отрицательное подземное питание», рис. 3, точка 5), а на спаде половодья или в начале межени эти воды возвращаются в реку (береговое регулирование речного стока). Согласно предложенной С.С. Белецким, В.В. Дроздом, Б.В. Поляковым, Б.И. Куделиным, К.В. Воскресенским, О.В. Поповым схеме расчленения гидрографа в момент пика половодья условно принята величина подземного питания, равная нулю (рис. 3, точка 4) [5, 6]. Подземная составляющая речного стока рек Оршанского артезианского бассейна изменяется в пределах 35–40 % (рис. 4).

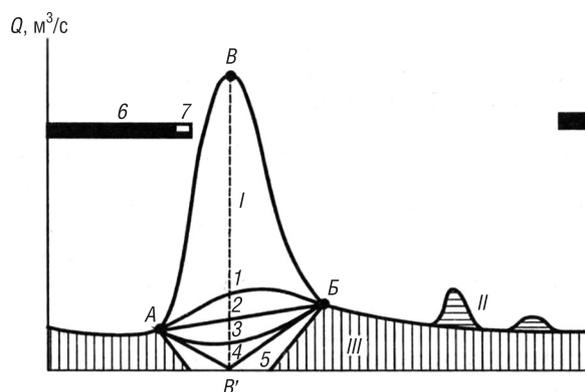


Рис. 3. Схема расчленения гидрографа реки по видам питания [5, 6]. Питание: I – снеговое, II – дождевое, III – подземное; А, Б и В – начало, конец и пик половодья; 1–5 – линии, разделяющие снеговое и подземное питание в период половодья при различном характере взаимодействия речных и грунтовых вод (пояснения см. в тексте); 6 – ледостав; 7 – ледоход

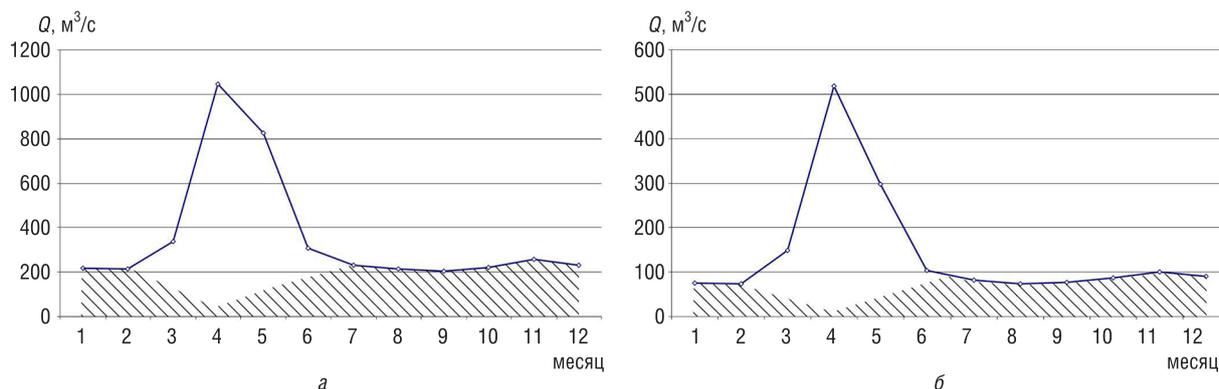


Рис. 4. Гидрограф стока р. Днепр с выделением подземного питания на постах Речицы (а) и Могилева (б)

Результаты и их обсуждение. Статистически значимых трендов в рядах наблюдений за среднегодовым расходом рек Днепр, Сож, Проня не выявлено, хотя положительная тенденция в изменении расходов усматривается. В многолетнем разрезе произошло изменение внутригодового распределения стока, уменьшились наибольшие расходы воды и объем стока весеннего половодья. На современном этапе проявилось перераспределение стока внутри года, особенно для зимних и весенних месяцев. На территории исследований заметно увеличились средние месячные расходы воды в январе–феврале и представлены линейные тренды в рядах наблюдений за расходом рек Оршанского артезианского бассейна в январе (рис. 5, табл. 4).

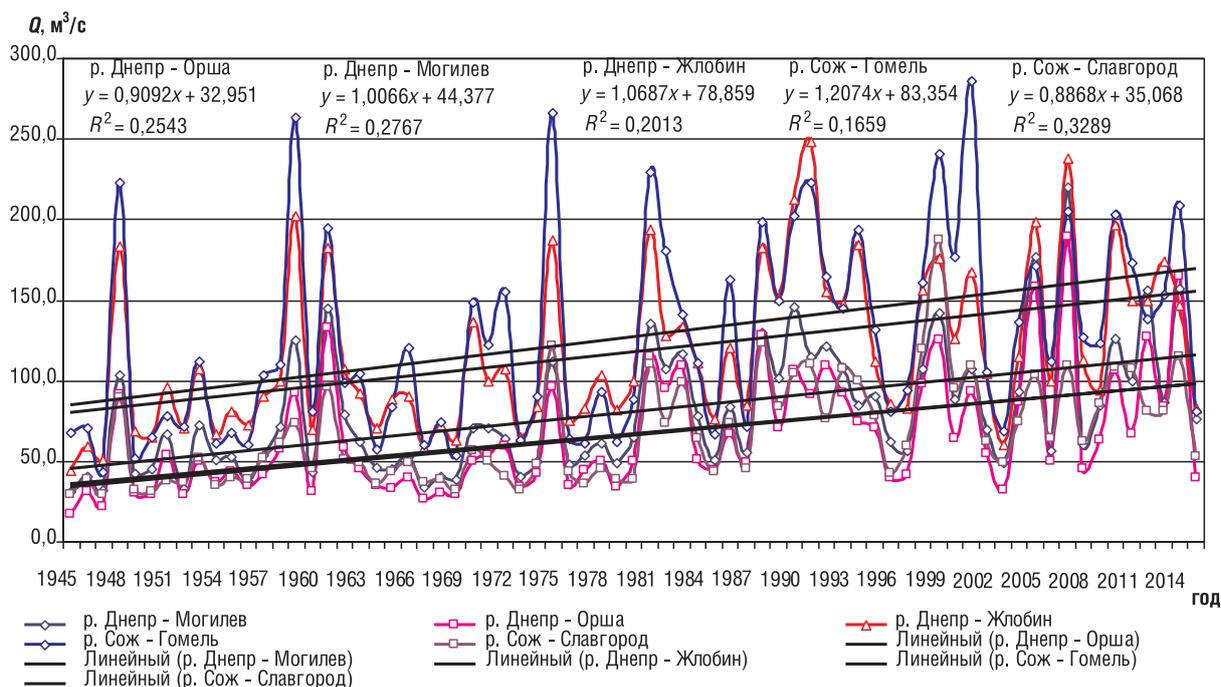


Рис. 5. Среднемесячные расходы воды в январе рек Днепр, Сож

Как видно из табл. 4, на всей территории бассейна отмечено снижение стока за весеннее половодье и уменьшение его доли в годовом стоке. Сток весенних месяцев (апрель, в р. Днепр и май) на современном этапе значительно снизился, мощность отрицательного тренда составила: р. Днепр – Речица (апрель – 20,1, май – 15,6 %), Могилев (апрель – 19,1 %), Орша (апрель – 9,3 %), Жлобин (апрель – 22,0 %); р. Сож – Гомель (апрель – 14,7 %), Славгород (апрель – 13,0 %), р. Проня – Летяги (апрель – 5,4 %), в среднем 15,0 %. Расход осенних месяцев рек территории исследований статистически значимых изменений не выявил.

Т а б л и ц а 4. Доля дисперсии, выбираемая динамической нормой временных рядов наблюдений за расходом рек Оршанского артезианского бассейна, %

Пост	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
р. Днепр – Речица	16,7	17,3	3,0	20,1	15,6	1,2	0,5	0,7	0,4	1,1	0,4	9,2	5,2
Динамическая норма ряда	рост	рост	–	убывание	убывание	–	–	–	–	–	–	рост	–
р. Днепр – Могилев	32,0	28,1	4,0	19,1	3,4	6,1	0,9	0,5	1,9	2,7	4,7	9,7	0,3
Динамическая норма ряда	рост	рост	–	убывание	–	–	–	–	–	–	–	рост	–
р. Днепр – Орша	32,6	21,4	7,2	9,3	4,6	4,0	0,5	1,1	3,6	0,9	0,9	7,6	0,1
Динамическая норма ряда	рост	рост	–	убывание	–	–	–	–	–	–	–	–	–
р. Днепр – Жлобин	23,5	22,7	5,6	22,0	6,7	15,8	2,8	1,0	4,5	4,7	6,4	12,7	0,4
Динамическая норма ряда	рост	рост	–	убывание	–	рост	–	–	–	–	–	рост	–
р. Сож – Гомель	15,1	22,6	2,7	14,7	1,2	1,2	1,3	0,1	0,1	1,3	0,5	3,5	1,1
Динамическая норма ряда	рост	рост	–	убывание	–	–	–	–	–	–	–	–	–
р. Сож – Славгород	35,6	23,3	1,8	13,0	0,5	1,4	0,1	0,0	0,2	2,2	1,0	8,0	0,4
Динамическая норма ряда	рост	рост	–	убывание	–	–	–	–	–	–	–	–	–
р. Проня – Лятеги	29,6	15,2	0,2	5,4	0,7	0,0	1,9	0,0	0,0	0,9	0,3	11,9	0,2
Динамическая норма ряда	рост	рост	–	убывание	–	–	–	–	–	–	–	рост	–

Максимальными мощностями положительных трендов (от 15,1 % р. Сож – Гомель до 35 % р. Сож – Славгород) характеризуется зимний сток, как видно из табл. 4, т.е. можно говорить о значительном увеличении доли зимнего стока в годовом распределении для рек Оршанского артезианского бассейна.

При построении двухфакторных линейных регрессионных моделей связи расхода рек в январе в качестве предикторов выступали величина атмосферных осадков за зимний период и температура атмосферного воздуха, осредненная за период декабрь–январь. При построении двухфакторных линейных регрессионных моделей связи расхода рек весеннего половодья в качестве предикторов выступали величина атмосферных осадков за период март–апрель и температура атмосферного воздуха, осредненная за тот же период. Для принятия решения о наличии автокорреляции в остатках построенных двухфакторных моделей связи с количеством наблюдений 70, статистика Дарбина–Уотсона на уровне значимости 0,05 равна: $d_L = 1,55$, $d_U = 1,67$. Результаты построения приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5. Оценка качества двухфакторных регрессионных моделей

Показатель	Днепр – пост Могилев		Днепр – пост Орша		Днепр – пост Жлобин	
	январь	весеннее половодье	январь	весеннее половодье	январь	весеннее половодье
Оценка точности модели (R^2)	0,44	0,14	0,42	0,15	0,42	0,19
Проверка адекватности модели	0,00031	0,019	$2,1 \cdot 10^{-7}$	0,0049	0,0052	0,023
Проверка статистической значимости коэффициентов модели (P)	$P_1=0,001$ $P_2=0,004$	$P_1=0,007$ $P_2=0,774$	$P_1=3,45 \cdot 10^{-6}$ $P_2=0,011$	$P_1=0,008$ $P_2=0,032$	$P_1=0,0008$ $P_2=0,006$	$P_1=0,007$ $P_2=0,391$
Критерий Дарбина–Уотсона	2,18	2,36	1,92	2,02	2,12	2,38
Решение	Автокорреляция отсутствует	Область неопределенности	Автокорреляция отсутствует	Автокорреляция отсутствует	Автокорреляция отсутствует	Область неопределенности
	Сож – пост Гомель		Сож – пост Славгород			
	январь	весеннее половодье	январь	весеннее половодье	январь	весеннее половодье
Оценка точности модели (R^2)	0,41	0,23	0,45	0,21		
Проверка адекватности модели	$7,8 \cdot 10^{-8}$	0,00019	$3,9 \cdot 10^{-7}$	0,0075		
Проверка статистической значимости коэффициентов модели (P)	$P_1=6,6 \cdot 10^{-11}$ $P_2=0,0064$	$P_1=0,008$ $P_2=0,054$	$P_1=7,6 \cdot 10^{-6}$ $P_2=0,001$	$P_1=0,003$ $P_2=0,457$		
Критерий Дарбина–Уотсона	2,01	2,41	1,96	2,34		
Решение	Автокорреляция отсутствует	Область неопределенности	Автокорреляция отсутствует	Область неопределенности		

Как видно из табл. 5, более высоким значением показателя точности модели, принимающим значения от 0,42 до 0,45, характеризуются двухфакторные модели связи расхода января месяца с осадками и температурой, тогда как этот показатель для весеннего половодья изменяется от 0,14 до 0,23. Таким образом, можно утверждать, что для зимних расходов рек от 42 до 44 % изменений величины Y обусловлены изменениями статистически значимых коэффициентов моделей. Расчетный уровень значимости всех моделей меньше заданного 0,05, что свидетельствует о том, что регрессионные модели являются значимыми. Автокорреляция в остатках не выявлена для всех двухфакторных моделей зимних расходов рек, регрессионные модели для весеннего половодья не показали 100%-ное отсутствие автокорреляции в остатках. Проверка статистической значимости коэффициентов моделей показала, что статистически значимым во всех регрессионных моделях является коэффициент A_1 – коэффициент при независимой переменной «температура атмосферного воздуха соответствующего периода», коэффициент A_2 – коэффициент при независимой переменной «величина атмосферных осадков соответствующего периода» является статистически значимым в регрессионных моделях для расходов весеннего половодья.

Выводы. На территории Оршанского артезианского бассейна выявлено статистически значимое снижение стока за весеннее половодье и уменьшение его доли в годовом стоке. Сток весенних месяцев (апрель, в р. Днепр и май) на современном этапе значительно снизился, мощность отрицательного тренда составила: р. Днепр – Речица (апрель – 20,1, май – 15,6 %), Могилев (апрель – 19,1 %), Орша (апрель – 9,3 %), Жлобин (апрель – 22,0 %); р. Сож – Гомель (апрель – 14,7 %), Славгород (апрель – 13,0 %), р. Проня – Лятыги (апрель – 5,4 %), в среднем составляет 15,0 %. Расход воды рек территории исследований в осенние месяцы оказался статистически незначимым.

Выявлено значительное увеличение доли зимнего стока в годовом распределении для рек Оршанского артезианского бассейна. В результате построения двухфакторных регрессионных моделей связи зимних расходов и расходов воды весеннего половодья установлено, что увеличение доли зимнего стока рек связано с повышением температуры воздуха холодных месяцев, с увеличением частоты оттепелей, прохождением зимних паводков. Снижение доли весеннего стока рек обусловлено снижением величины твердых атмосферных осадков в виде снега, повышением температуры воздуха зимой, которое сопровождается уменьшением предвесенних запасов воды.

Список использованных источников

1. Махнач, А. С. Геология Беларуси / А. С. Махнач, Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев. – Минск: Институт Геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озёр. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Т. 5, ч. I. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 1107 с.
3. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон; пер. И. Б. Журбенко. – М.: Мир, 1971. – 757 с.
4. Вуколов, Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL / Э. А. Вуколов. – М.: Форум, 2004. – 464 с.
5. Белецкий, С. С. Опыт оценки подземного стока в реки БССР / С. С. Белецкий // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии : сб. науч. тр. / Белорус. науч.-исслед. геологоразведоч. ин-т ; науч. ред. А. П. Лавров. – Минск, 1974. – С. 60–75.
6. Дрозд, В. В. Водные ресурсы Беларуси: методология, структура, оценка, прогноз / В. В. Дрозд. – Минск: Ковчег, 2010. – 202 с.

Поступила 20.10.2021

Н. С. Шевцова*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: shevtsova-ns@yandex.ru***ТИПИЗАЦИЯ УЧАСТКОВ РЕК ГРОДНЕНСКОЙ И БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТЕЙ БЕЛАРУСИ
ПО ПРОФИЛИРУЮЩИМ ВИДАМ ВОДНОЙ РЕКРЕАЦИИ И ТУРИЗМА**

Аннотация. Представлены результаты туристско-рекреационной оценки природного потенциала 26 рек Гродненской и 15 рек Брестской областей Беларуси, на основе которых проведено пространственно-функциональное туристско-рекреационное зонирование их акваторий с выделением соответственно 54 и 41 участков рек, различающихся структурой подтипов профилирующих видов их туристско-рекреационного использования в области водного туризма. Сравнительный анализ доли пригодных для туристско-рекреационного использования участков рек в исследуемых областях позволил выявить общую тенденцию роста их доли в направлении от первого к третьему типу, которая сменяется на диаметрально противоположную при переходе от третьего к четвертому типу. Кроме того, детально отражены различия в структуре 15 и 12 подтипов внутри выделенных четырех типов для участков рек соответственно в Гродненской и Брестской областях. Практические результаты оценки природного туристско-рекреационного потенциала рек, проведенного на их основе функционального зонирования и типизации по профилирующим видам туристско-рекреационного использования в западной и юго-западной областях Беларуси, могут быть использованы для разработки мероприятий по повышению эффективности использования участков с целью развития речного туризма.

Ключевые слова: туристско-рекреационный природный потенциал, туристско-рекреационное использование, типизация участков рек, профилирующие виды

N. S. Shevtsova*Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: shevtsova-ns@yandex.ru***TYPIFICATION OF RIVER SECTIONS IN THE GRODNO AND BREST REGIONS OF BELARUS BY THE TYPES
OF WATER RECREATION AND TOURISM**

Abstract: This work presents the results of a tourist and recreational assessment of the natural potential of 26 rivers of the Grodno and 15 rivers of the Brest region of Belarus, and on the basis of which the spatial and functional tourist and recreational zoning of their water areas was carried out with the allocation of 54 and 41 sections of rivers respectively, differing in the structure of subtypes of the main types of their tourist-recreational use in the field of water tourism. Comparative analysis of the share of river sections suitable for their tourist-recreational use in the studied regions revealed a general tendency for their share to increase in the direction from type 1 to type 3, which is replaced by a diametrically opposite one when passing from type 3 to type 4. In addition, the article describes the differences in the structure of 15 and 12 subtypes within 4 the identified types for river sections for Grodno and Brest regions respectively. The practical results of assessing the natural tourist and recreational potential of rivers, based on their functional zoning and typing according to the main types of tourist and recreational use in the western and southwestern regions of Belarus, can be used for measurements development to improve the efficiency of the use of sites in order to develop river tourism.

Keywords: tourist and recreational natural potential, tourist and recreational use, typification of river sections, major species

Н. С. Шаўцова*Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: shevtsova-ns@yandex.ru***ТЫПІЗАЦЫЯ ўЧАСТКАў РЕК ГРОДЗЕНСКАЙ І БРЭСЦКАЙ АБЛАСЦЕЙ БЕЛАРУСІ ПА ПРАФІЛЮЮЧЫХ ВІДАХ
ВОДНАЙ РЕКРЭАЦЫІ І ТУРЫЗМУ**

Анатацыя. Прадстаўлены вынікі турысцка-рэкрэацыйнай ацэнкі прыроднага патэнцыялу 26 рэк Гродзенскай і 15 рэк Брэсцкай абласцей Беларусі, на аснове якіх праведзена прасторава-функцыянальнае турысцка-рэкрэацыйнае заніраванне іх акваторый з вылучэннем адпаведна 54 і 41 участкі рэк, якія адрозніваюцца структурай падтыпаў прафілюючых відаў іх турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання ў галіне воднага турызму. Параўнальны аналіз долі прыдатных для турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання участкаў рэк у даследаваных абласцях дазволіў выявіць агульную тэндэнцыю росту іх долі ў напрамку ад першага да трэцяга тыпу, якая змяняецца дыяметральна супрацьлеглым пры пераходзе ад трэцяга да чацвертага тыпу. Акрамя таго, дэталёва адлюстраваны адрозненні ў структуры 15 і 12 падтыпаў у сярэдзіне чатырох вылучаных тыпаў для участкаў рэк адпаведна Гродзенскай і Брэсцкай абласцей. Практычныя вынікі ацэнкі прыроднага турысцка-рэкрэацыйнага патэнцыялу рэк, праведзенага на іх аснове функцыянальнага заніравання і тыпізацыі па прафілюючых відах турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання ў заходняй і паўднёва-заходняй абласцях Беларусі, могуць быць выкарыстаны для распрацоўкі мерапрыемстваў па павышэнню эфектыўнасці выкарыстання участкаў з мэтай развіцця рэчнага турызму.

Ключавыя словы: турысцка-рэкрэацыйны прыродны патэнцыял, турысцка-рэкрэацыйнае выкарыстанне, тыпізацыя участкаў рэк, прафілюючая віды

Введение. В Республике Беларусь развитие водного туризма приобрело приоритетное значение, так как водные ресурсы являются наиболее перспективной частью природно-рекреационного потенциала страны (далее – ПРП). На территории страны насчитывается более 20,8 тыс. рек, 10,8 тыс. озер, около 130 водохранилищ. Из 18 зон отдыха более 26 % приурочено к крупным озерным системам и около 50 % – к рекам [1]. Наиболее хорошо выраженная и разветвленная сеть учреждений длительного и кратковременного отдыха сформировалась вдоль долин крупных рек. Общее число отдыхающих в этих учреждениях составляет около 2,580 млн человек в год [2]. В рекреационный сезон острой становится проблема дисбаланса между приоритетностью потребительских запросов населения к конкретным видам водного туризма, и возможностью их удовлетворения с позиции обеспечения эколого-технических условий безопасности.

Для решения проблемы в рамках реализации мероприятий «Национальной программы по развитию туризма в Республике Беларусь» (Постановление Совета Министров Республики Беларусь №927 от 24.08.2005 г.) были активизированы и приобрели системный характер работы, направленные на оценку ПРП акваторий рек и определение профиля их туристско-рекреационного использования (ТРИ) для водного туризма, с целью более полного удовлетворения потребностей внутреннего и въездного туриста в полноценном туризме и отдыхе [3].

Объект, предмет, цель и задачи исследования. Объектами оценки послужили 26 рек (1–2 порядка) Гродненской и 15 рек Брестской областей Беларуси [4, 5]. Предметом оценки являлся природный туристско-рекреационный потенциал и структура профилирующих видов туристско-рекреационного использования рек [6]. Цель исследования – типизация участков рек Гродненской и Брестской областей Беларуси по структуре профилирующих видов туристско-рекреационного использования.

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи: проведена дифференцированная оценка природного потенциала рек на основе системы показателей и критериев, определяющих условия экологической безопасности, технической возможности и психолого-эстетической привлекательности использования рек для контактных, бесконтактных и промысловых видов рекреации и туризма; выявлены профилирующие виды туристско-рекреационного использования; проведено функциональное туристско-рекреационное зонирование рек; осуществлена типизация участков рек по возможности их одновременного использования для сочетаний различных видов водной рекреации и туризма.

Методы исследований. В качестве инструмента для проведения комплексной оценки ПРП рек с целью выделения профилирующих видов их ТРИ и определения специализации использовали методику [7]. Ключевыми элементами методики комплексной оценки ПРП являются: структура видов ТРИ водных акваторий, система показателей и критериев, определяющих условия экологической безопасности и технической возможности использования рек для видов водного туризма и отдыха. Для условий Беларуси были выделены 8 профилирующих видов водного туризма и отдыха: купание, подводное плавание, гребля на лодках, катание на яхтах и водных лыжах, любительское рыболовство и охота, которые в разных сочетаниях являются элементами типологии профилирующих видов ТРИ рек и определяют специализацию участков рек [7].

Типология профилирующих видов ТРИ – это выделение типов профилирующих видов ТРИ акватории или ее части по критерию (спецификации) их количества, определяемому спектром единовременно возможных к реализации видов туризма и отдыха. Типология профилирующих видов ТРИ по вариантам их спецификации представлена 4 типами туристско-рекреационных структур: 1 – непригодного для использования; 2 – с монофункциональным характером ТРИ; 3 – с ограниченно-полифункциональным ТРИ; 4 – с полифункциональным ТРИ (рисунок) [8–11].

В рамках из всех выделенных типов в соответствии со структурой профилирующих видов ТРИ каждому из участков рек присваивается соответствующий подтип, определяющий туристско-рекреационную специализацию участка реки в области водного туризма и отдыха.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате выявления профилирующих видов ТРИ по итогам оценки ПРП 26 рек Гродненской области Беларуси были выделены 54 участка, не идентичные по структуре профилирующих видов рекреации и туризма, что позволило их типизировать по 4 типам и 15 подтипам туристско-рекреационного использования (табл. 1) [5, 12].

Т а б л и ц а 1. Типология структур профилирующих видов туристско-рекреационного использования рек Гродненской области [5, 8–11, 13–21].

Тип туристско-рекреационного использования	Типологический признак выделения типа туристско-рекреационного использования	Подтип туристско-рекреационного использования	Структура профилирующих видов туристско-рекреационного использования
1. непригодный для использования	Отсутствие профилирующих видов	1.1	Отсутствует
2. Монофункциональный	Один профилирующий вид	2.1	Любительское рыболовство
		2.2	Любительская охота
3. Ограниченно-полифункциональный	Наличие 2–3 профилирующих видов	3.1	Любительское рыболовство, любительская охота
		3.4	Гребля на лодках, любительская охота
		3.5	Гребля на лодках, любительское рыболовство
		3.6	Купание, гребля на лодках, любительское рыболовство
		3.8	Гребля на лодках, любительское рыболовство, любительская охота
		3.9	Катание на яхтах, гребля на лодках, любительская охота
		3.10	Подводное плавание, гребля на лодках, любительское рыболовство
		3.11	Купание, любительская охота, любительское рыболовство
4. Полифункциональный	Четыре и более профилирующих видов	4.1	Купание, гребля на лодках, любительское рыболовство, любительская охота
		4.3	Подводное плавание, гребля на лодках, любительское рыболовство, любительская охота
		4.4	Катание на яхтах, гребля на лодках, любительское рыболовство, любительская охота
		4.5	Купание, подводное плавание, гребля на лодках, любительское рыболовство, любительская охота

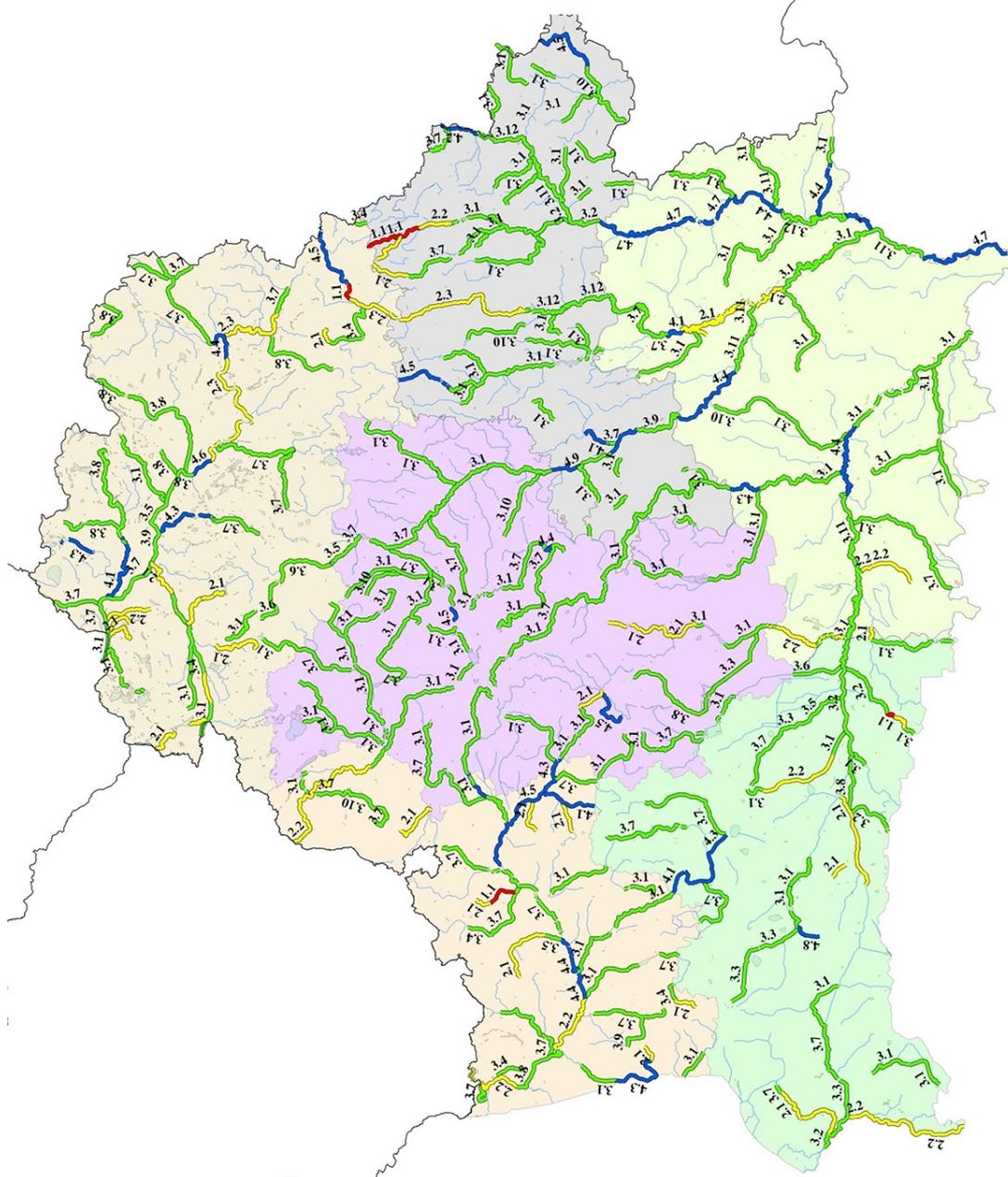
Первый тип с непригодным характером туристско-рекреационного использования присвоен первому участку р. Лидея (Лидский район).

Второй тип монофункционального ТРИ структурно представлен 2 подтипами и выявлен на 12 участках 9 рек. В том числе профиль любительское рыболовство (**подтип 2.1**) зафиксирован на 8 участках 7 рек: на 1-х участках рек Лидея (Лидский район), Валовка (Новогрудский район), Невда (Кореличский район), Гольшанка (Ошмянский район), Зельвянка (Свислочский район), Свислочь (Свислочский район) и на 1-м, 3-м участках реки Лебеда (Щучинский и Лидский районы), а специализация любительская охота (**подтип 2.2**) выявлена на 4 участках 2 рек: на 7-м, 9-м участках р. Неман (Гродненский район) и на 1-м, 3-м участках Вилии (Островецкий и Сморгонский районы).

Самую крупную группу, в которую входят 34 участка на 20 реках, формируют 8 подтипов 3-го типа с *ограниченно-полифункциональным характером* ТРИ. Данная группа представлена 3 подтипами из 2 профилирующих видов рекреации и туризма, которые выявлены на 17 участках 11 рек. В их числе специализация любительская охота и любительское рыболовство (**подтип 3.1**) присвоено 1-м участкам рек: Нарев (Свислочский район), Молчадь (Дятловский), Исса (Слонимский), Страча (Островецкий), Черная Ганча (Гродненский), Россь (Свислочский район), 3-му участку р. Свислочь (Берестовицкий район), 1–4-м участкам р. Щара (Слонимский, Дятловский, Мостовский районы), 4-м, 5-м участкам р. Зельвянка (Зельвянский и Мостовский районы). Профиль туристско-рекреационного использования из сочетания гребли на лодках и любительской охоты (**подтип 3.4**) выявлен исключительно для 2-го участка р. Вилия (Сморгонский район), а из гребли на лодках и любительского рыболовства (**подтип 3.5**) – на 1-х участках 3 рек: Дитва (Вороновский район) и Гожка (Гродненский район), на 2-м участке р. Зельвянка (Волковысский район).

Подтипы с расширенной структурой специализации 3-го типа идентифицированы на 16 участках 11 рек. Этот тип представлен 5 подтипами из 3 профилирующих видов рекреации и туризма: купание, гребля на лодках, любительское рыболовство на 2-м участке р. Лебеда (Лидский район) (**подтип 3.6**), в составе гребли на лодках, любительского рыболовства и любительской охоты

Тип ТРИ	Подтип ТРИ	Структура профилирующих видов ТРИ
1. Не приравненный для использования	1.1	Осушенные
	2.1	Литовское рыболовство
	2.2	Кунава на озерах
	2.3	Рыба на озерах
2. Многофункциональный	2.1	Литовское рыболовство, литовская охота
	2.2	Кунава на озерах; литовская охота
	2.3	Рыба на озерах; литовская охота
	2.4	Рыба на озерах; литовское рыболовство
3. Организационно-полюсформированный	3.1	Кунава; рыба на озерах; литовское рыболовство
	3.2	Полупроме калмаки; литовское рыболовство; литовская охота
	3.3	Рыба на озерах; литовское рыболовство; литовская охота
	3.4	Кунава на озерах; рыба на озерах; литовская охота
	3.5	Полупроме калмаки; рыба на озерах; литовское рыболовство
	3.6	Кунава; литовское рыболовство; литовская охота
	3.7	Кунава на озерах; литовское рыболовство; литовская охота
	3.8	Кунава на озерах; рыба на озерах; литовская охота
	3.9	Полупроме калмаки; рыба на озерах; литовское рыболовство
	3.10	Кунава; литовское рыболовство; литовская охота
4. Инвазивный	4.1	Кунава; рыба на озерах; литовское рыболовство; литовская охота
	4.2	Кунава; полупроме калмаки; рыба на озерах; литовское рыболовство
	4.3	Полупроме калмаки; рыба на озерах; литовское рыболовство
	4.4	Кунава на озерах; рыба на озерах; литовское рыболовство; литовская охота
	4.5	Кунава; полупроме калмаки; рыба на озерах; литовское рыболовство; литовская охота
	4.6	Кунава на озерах; калмаки на озерах; рыба на озерах; литовское рыболовство; литовская охота
	4.7	Кунава; полупроме калмаки; калмаки на озерах; рыба на озерах; литовское рыболовство; литовская охота
	4.8	Кунава; полупроме калмаки; литовское рыболовство; литовская охота
	4.9	Полупроме калмаки; калмаки на озерах; рыба на озерах; литовское рыболовство; литовская охота



Область

- Брестская
- Витебская
- Гомельская
- Гродненская
- Минская
- Могилевская

Типизация участков рек Брестской и Гродненской областей по структуре их туристско-рекреационного использования

(**подтип 3.8**) – на 12 участках 9 рек: 1-х участках рек Гавья (Ивьевский район), Уша (Кореличский) и Березина (Ивьевский), 2-м участке р. Дитва (Лидский район), 3-м участке р. Зельвянка (Зельвянский район), 1-м, 2-м участках р. Котра (Гродненский район), 2-м, 3-м участках р. Россь (Волковысский район), 1-м, 3-м участках р. Ошмянка (Ошмянский и Островецкий районы), 4-м участке р. Неман (Лидский район). Специализация катание на яхтах, гребля на лодках, любительская охота (**подтип 3.9**) присвоена 8-му участку р. Неман (Гродненский район), а профиль подводное плавание, гребля на лодках, любительское рыболовство (**подтип 3.10**) – 1-му участку р. Нетупа (Волковысский район). Купание, любительская охота, любительское рыболовство (**подтип 3.11**) является областью специализации 2-го участка р. Ошмянка (Сморгонский район).

К 4-му типу с *полифункциональным характером* туристско-рекреационного использования относятся 8 участков 4 рек, в пределах которых выявлены 4 подтипа, 3 из которых со структурой из 4-х видов и 1 подтип из 5-ти видов водной рекреации и туризма.

При этом специализация туристско-рекреационного использования из сочетаний 4 видов ТРИ в составе: купание, гребля на лодках, любительская охота, любительское рыболовство (**подтип 4.1**) присвоена 1-м участкам рек Исlochь (Ивьевский район) и Сервечь (Кореличский район), в свою очередь структура видов из подводного плавания, гребли на лодках, любительской охоты и любительского рыболовства (**подтип 4.3**) выявлена для 1-го участка р. Неман (Кореличский район) и 2-го участка р. Свисlochь (Берестовицкий район). Спецификация водных видов рекреации и туризма, определяемая катанием на яхтах, греблей на лодках, любительским рыболовством и любительской охотой (**подтип 4.4**) присвоена 5-му и 6-му участкам р. Неман (Ивьевский и Новогрудский районы).

Подтип с полифункциональным характером туристско-рекреационного использования, сочетающий 5 профилирующих видов в составе: купание, подводное плавание, гребля на лодках, любительское рыболовство и любительская охота (**подтип 4.5**) выявлен в границах 2-го и 3-го участков р. Неман (Ивьевский и Новогрудский районы) [5, 8–11, 13–21].

В результате выявления профилирующих видов ТРИ по итогам оценки ПРП 15 рек Брестской области Беларуси был выделен 41 участок, не идентичный по структуре профилирующих видов рекреации и туризма, что позволило их типизировать по 4 типам и 12 подтипам туристско-рекреационного использования (табл. 2) [5, 12].

Первый тип с непригодным характером туристско-рекреационного использования выявлен на 1-м участке р. Горынь (Столинский район).

Второй тип монофункционального ТРИ структурно представлен 2 подтипами и идентифицирован на 6 участках 5 рек. При этом **подтип 2.1** с профилем любительское рыболовство присвоен 2-м участкам 2 рек: Лесной (Каменецкий район) и Ствиги (Столинский район); а **подтип 2.2** со специализацией любительская охота – 1-м, 2-м участкам р. Западный Буг (Брестский район) и 2-м участкам 2 рек – Горынь (Столинский район) и Бобрик (Лунинецкий район).

Самую крупную группу, в которую входят 32 участка на 15 реках, формируют 8 подтипов 3-го типа с *ограниченно-полифункциональным характером* туристско-рекреационного использования.

Данная группа представлена 5 подтипами из 2 профилирующих видов рекреации и туризма, которые выявлены на 21-м участке 11 рек. В их числе **подтип 3.1** с профилем любительское рыболовство и любительская охота присвоен 9 участкам 9 рек, в том числе: 2-м участкам рек Мухавец (Кобринский и Брестский районы), Бобрик (Ганцевичский и Лунинецкий районы), 1-му участку рек Лань (Ганцевичский район), Ясельда (Пружанский), Горынь, Стырь и Ствига (Столинский район), а специализация катание на яхтах и любительская охота **подтипа 3.2** выявлена для 6 участков 3 рек, в том числе: 3-м участкам р. Припять (Пинский и Лунинецкий районы), 2-м участкам р. Западный Буг (Брестский район) и на 1-м участке р. Горынь (Кореличский район). В то же время возможность реализации гребли на лодках и любительской охоты **подтипа 3.3** определена для 5 участков 4 рек, в том числе для 1-х участков 3 рек: Западный Буг (в черте г. Бреста), Мухавец (Жабинковский район), Цна (Лунинецкий район) и 2-х участков р. Ясельда

Т а б л и ц а 2. Типология структур профилирующих видов туристско-рекреационного использования рек Брестской области [4, 8–22]

Тип туристско-рекреационного использования	Типологический признак выделения типа туристско-рекреационного использования	Подтип туристско-рекреационного использования	Структура профилирующих видов туристско-рекреационного использования
1. непригодный для использования	Отсутствие профилирующих видов	1.1	Отсутствует
2. Монофункциональный	Один профилирующий вид	2.1	Любительское рыболовство
		2.2	Любительская охота
3. Ограниченно-полифункциональный	Наличие 2–3 профилирующих видов	3.1	Любительское рыболовство, любительская охота
		3.2	Катание на яхтах, любительская охота
		3.3	Гребля на лодках, любительская охота
		3.4	Гребля на лодках, любительское рыболовство
		3.5	Купание, гребля на лодках, любительское рыболовство
		3.6	Подводное плавание, любительское рыболовство, любительская охота
		3.7	Гребля на лодках, любительское рыболовство, любительская охота
		3.8	Катание на яхтах, гребля на лодках, любительская охота
4. Полифункциональный	Четыре и более профилирующих видов	4.1	Купание, гребля на лодках, любительское рыболовство, любительская охота
		4.3	Подводное плавание, гребля на лодках, любительское рыболовство, любительская охота

(Березовский район). Единственный участок, которому присвоен **подтип 3.4** со специализацией гребля на лодках и любительское рыболовство выявлен на р. Мухавец (Брестский район).

Подтипы с расширенной структурой специализации 3-го типа идентифицированы на 11 участках 9 рек. Этот тип представлен 4 подтипами из 3 профилирующих видов рекреации и туризма. При этом **подтип 3.5** с профилем купание, гребля на лодках и любительское рыболовство выявлен на 1-м участке р. Цна (Лунинецкий район), а **подтип 3.6** со специализацией подводное плавание, любительское рыболовство и любительская охота присвоен 1-му участку р. Лань (Лунинецкий район). В то же время благоприятные условия для реализации **подтипа 3.7**, включающего греблю на лодках, любительское рыболовство и любительскую охоту, выявлены для 8 участков, в том числе для двух участков р. Мухавец (Кобринский и Жабинковский районы), одного участка рек: Цна (Ганцевичский район), Случь (Лунинецкий), Гривда (Ивацевичский), Лесная (Каменецкий), Мышанка (Барановичский), Щара (Ляховичский район), а **подтип 3.8** со специализацией катание на яхтах, гребля на лодках и любительская охота присвоен одному участку р. Припять (Пинский район).

К 4-му типу с *полифункциональным характером* туристско-рекреационного использования относятся 2 участка одной реки, в пределах которых выявлены 2 подтипа со структурой из 4 видов водной рекреации и туризма.

При этом **подтип 4.1** с профилирующими видами водной рекреации в составе: купание, гребля на лодках, любительское рыболовство и любительская охота выявлен для одного участка р. Щара (Барановичский район), а **подтип 4.3** со специализацией подводное плавание, гребля на лодках, любительское рыболовство и любительская охота – на одном участке р. Щара (Ивацевичский район) [4, 8–22].

Заключение. Типизация 54 участков, выделенных на 26 реках Гродненской области, позволила идентифицировать 4 типа структур, различающихся по спецификации профилирующих видов ТРИ. При этом доля участков рек 1-го типа с непригодным природным туристско-рекреационным потенциалом составила 1,9 % от общего числа исследованных, 2-го типа с монофункциональной структурой – 22,0 %, 3-го типа с ограниченно-полифункциональным характером – 61,1 %, 4-го типа полифункционального – 14,8 %. Таким образом, максимальная доля участков рек, используемых по 3-му типу с ограниченно-полифункциональным режимом. Кроме того, для Гродненской области выявлен незначительный процент участков рек 1-го типа, природный по-

тенциал которых не может быть использован в целях водной рекреации и туризма, что свидетельствует о практически полном использовании природного туристско-рекреационного потенциала акваторий рек на современном этапе.

Анализ особенностей структуры подтипов туристско-рекреационного использования рек Гродненской области показал, что максимальное количество участков рек (24,0 %) соответствует условиям реализации подтипа 3.1 с профилем любительская охота и любительское рыболовство, далее в порядке убывания располагаются: подтип 3.8 со специализацией гребля на лодках, любительское рыболовство и любительская охота, для которого пригодны 22,1 % участков, затем подтип 2.1, профилирующим видом для которого является любительское рыболовство, на 14,8 % участков, подтип 2.2 с возможностью реализации любительской охоты на 7,4 % участков и подтип 3.5 со специализацией гребля на лодках и любительское рыболовство на 5,5 % участков. Для большинства подтипов 4-го типа с полифункциональным характером туристско-рекреационного использования (подтип 4.1, 4.3–4.5) доля пригодных участков рек незначительна и составляет 3,7 %. Крайне низок процент участков с благоприятными условиями для ряда подтипов (подтип 3.4, 3.6, 3.9, 3.10, 3.11) 3-го типа с ограниченно-полифункциональным использованием, который составляет 1,9 %.

В то же время типизация 41 участка на 15 реках Брестской области позволила выявить 4 типа структур профилирующих видов и 12 подтипов их ТРИ. При этом доля участков рек 1-го типа с непригодным природным туристско-рекреационным потенциалом составила 2,4 % от общего числа исследованных, 2-го типа с монофункциональной структурой – 14,7 %, 3-го типа с ограниченно-полифункциональным характером – 78,1 %, 4-го типа полифункционального – 4,8 %. Следует отметить, что устойчиво доминирует доля участков рек 3-го типа с ограниченно-полифункциональным режимом. При этом выявлен незначительный процент участков рек 1-го типа, природный потенциал которых не может быть использован в целях водной рекреации и туризма, что свидетельствует о практически полном вовлечении природного потенциала акваторий рек в использование для водной рекреации и туризма на современном этапе.

В итоге проведенного ранжирования подтипов туристско-рекреационного использования рек Брестской области было выявлено, что максимальное количество участков рек (21,9 %) соответствует условиям реализации подтипа 3.1 с профилем любительская охота и любительское рыболовство, далее в порядке убывания располагаются: подтип 3.7, профилирующими видами для которого являются сочетание из гребли на лодках, любительского рыболовства и любительской охоты с возможностью их реализации на 19,6 %, затем подтипы 3.2 и 3.3 со специализацией соответственно из катания на яхтах, с любительской охотой и гребли на лодках с любительской охотой, для которых пригодны 14,7 и 12,3 % участков, а для подтипов 3.4 с профилем из гребли на лодках с любительским рыболовством, 3.5 со специализацией из купания, гребли на лодках с любительским рыболовством, 3.6 с профилирующими видами из подводного плавания, любительского рыболовства с любительской охотой и 3.8 со спецификацией из катания на яхтах, гребли на лодках и любительской охоты, для которых по каждому подтипу пригодны по 2,4 % участков. Для подтипов 4.1 и 4.3 4-го типа с полифункциональным характером ТРИ процент пригодных участков рек незначителен и соответствует в каждом случае 2,4 %.

Сравнительный анализ доли пригодных для ТРИ участков рек в исследуемых областях позволил выявить общую тенденцию их роста в направлении от 1-го типа к 3-му, сменяемую диаметрально противоположной при переходе от 3-го к 4-му типу. Однако наряду с выявленной общей тенденцией по тренду процентов пригодных участков рек имеют место различия, наблюдаемые в структуре подтипов внутри выделенных типов для участков рек между областями. В частности, для участков рек Гродненской области из 8 подтипов 3-го типа с ограниченно-полифункциональным характером ТРИ эксклюзивными являются подтипы 3.9.–3.11, а для акваторий рек Брестской области – подтипы 3.2, 3.3, 3.7. В то же время в структуре 4-го типа полифункционального ТРИ на участках рек Гродненской области выражен более широкий спектр подтипов по сравнению с Брестской областью за счет наличия в нем подтипов 4.4 и 4.5, что свидетельствует о расширенной гамме профилирующих видов ТРИ на участках рек западного региона.

Результаты оценки природного туристско-рекреационного потенциала рек, их функционального зонирования и типизации по профилирующим видам в западной и юго-западной областях Беларуси, послужат основой для повышения эффективности их использования с целью удовлетворения потребностей населения в водных видах рекреации и туризма за счет развития речного туризма.

Список использованных источников

1. Блакітная кніга Беларусі. Энциклапедыя (Водныя аб'екты Беларусі). – Мінск: БЭ імя Петруся Броўкі, 1996. – 416 с.
2. Туризм и туристические ресурсы Республики Беларусь 2017: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 83 с.
3. Национальная программа по развитию туризма в Республике Беларусь на 2006–2010 гг. Постановление Совета Министров Республики Беларусь №927 от 24.08.2005 г. / Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь 2005 г. №137.5/16437.
4. Комплексная туристско-рекреационная оценка природного потенциала водотоков и особо охраняемых природных территорий Брестской области / Н. С. Шевцова [и др.] // Природные ресурсы. – 2008. – №2. – С. 78–90.
5. Оценка рекреационного природно-ресурсного потенциала рек Гродненской области / Н. С. Шевцова [и др.] // Природные ресурсы – 2010. – №2. – С. 96–105.
6. Шевцова, Н. С. Научно-методические подходы к оценке природного туристско-рекреационного потенциала водных объектов / Н. С. Шевцова, А. К. Вишняк, А. В. Пахомов // Природные ресурсы. – 2019 – №3 – С. 122–139.
7. Шевцова Н. С. Структура модели комплексной туристско-рекреационной оценки природного потенциала рек / Региональная физическая география в новом столетии / Деп. в ГУ БелИСА 06.09.2011 № Д201139. – Минск: БГУ–БГПУ, 2011. – Вып. 5. – С. 283–290.
8. Шевцова, Н. С. Типизация профилирующих видов туристско-рекреационного использования участков рек Витебского, Гродненского и Брестского регионов / Н. С. Шевцова // Вес. БГПУ. Сер. 3. – 2016. – №3. – С. 44–55.
9. Шевцова, Н. С. Типизация структур профилирующих видов туристско-рекреационного использования акваторий рек трансграничных областей Беларуси / Н. С. Шевцова // Туризм и региональное развитие: IX Междунар. науч.-практ. конф.: Смоленск. гос. ун-т. – Смоленск, 2016 – С. 115–122.
10. Шевцова, Н. С. Типизация рек Беларуси по структуре профилирующих видов водного туризма и отдыха / Н. С. Шевцова, А. В. Пахомов // Туризм и региональное развитие: X Междунар. науч.-практ. конф.: Смоленск. гос. ун-т. – Смоленск, 2017. – С. 226–234.
11. Шевцова, Н. С. Типы профилирующих видов туристско-рекреационного использования рек Беларуси / Н. С. Шевцова // Туристско-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы: VI Междунар. науч.-практ. конф. – Геленджик, 2018. – С. 270–272.
12. Оценка туристско-рекреационной пригодности природно-ресурсного потенциала бассейна реки Западный Буг для кадастра туристских ресурсов / Н. С. Шевцова [и др.] // Природные ресурсы. – 2007. – №1. – С. 66–81.
13. Современное состояние и перспективы туристско-рекреационного использования малых рек Гродненской области / Н. С. Шевцова [и др.] // Природные ресурсы. – 2014. – №2 – С. 96–105.
14. Шевцова, Н. С. Зонирование малых рек Гродненской области на основе типологии структур профилирующих видов туристско-рекреационной деятельности / Н. С. Шевцова // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 апр. 2014 г. – Брест, 2014. – С. 70–73.
15. Шевцова, Н. С. Кадастр туристских ресурсов – форма учета и оценки природно-ресурсного потенциала р. Зельвянка / Н. С. Шевцова // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии: IV междунар. конф., Минск, 14–17 окт. 2008 г. / – Минск: ИЦ БГУ, 2008. – С. 126–127.
16. Шевцова, Н. С. Комплексная оценка природно-ресурсного потенциала р. Неман / Н. С. Шевцова, В. В. Устин, М. Л. Колядич // Материалы респ. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Витебск. гос. ун-т им. П. М. Машерова. – Витебск, 2009. – С. 153–155.
17. Шевцова, Н. С. Структура профилирующих видов туристско-рекреационного использования рек Беларуси / Н. С. Шевцова // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии: VI Междунар. науч. конф. к 110-летию В. А. Деметтьева / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2018 – С. 159–162.
18. Шевцова, Н. С. Специализация туристско-рекреационного использования участков рек Гродненской области / Н. С. Шевцова // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: V Междунар. науч. конф., Минск–Нарочь, 12–17 сент. 2016 г. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2016. – С. 374–376.
19. Шевцова, Н. С. Туристско-рекреационный природный потенциал рек Беларуси: география и оптимизация инфраструктуры / Н. С. Шевцова. – Минск: БГУ, 2020 – 350 с.
20. Шевцова, Н. С. Функциональное туристско-рекреационное зонирование акватории реки Свислочь / Н. С. Шевцова // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии: V Междунар. науч. конф. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2014. – С. 171–173.
21. Шевцова, Н. С. Зонирование рек Беларуси по уровню их пригодности для профилирующих видов водного туризма и отдыха / Н. С. Шевцова, А. В. Пахомов // Природные ресурсы. – 2019. – №1. – С. 23–39.
22. Функциональное туристско-рекреационное зонирование средних и малых рек Брестской области / Н. С. Шевцова [и др.] // Природные ресурсы. – 2015. – №2. – С. 107–116.

Поступила 01.06.2021

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 504.6:62/69

Ю. В. Голод, С. А. Дубенок

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь, e-mail: ylia-gold@mail.ru, dsnega@list.ru*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К НОРМИРОВАНИЮ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ЧЕРЕЗ СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Аннотация. Одними из крупнейших водопользователей республики являются организации водопроводно-канализационного и жилищно-коммунального хозяйств, осуществляющие сброс городских сточных вод после очистки на очистных сооружениях в поверхностные водные объекты. На качество сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты с очистных сооружений населенных пунктов, значительное влияние оказывают качественные характеристики сточных вод, поступающих на очистку, применяемые технологии очистки и эффективность работы очистных сооружений. Развитие системы нормирования сточных вод, отводимых через сети канализации на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов, позволит снизить нагрузку на очистные сооружения и, как следствие, снизить вероятность сброса недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты.

Ключевые слова: сточные воды, системы водоотведения, абонент, очистные сооружения, водный объект

Y. V. Holad, S. A. Dubianok

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus,
e-mail: ylia-gold@mail.ru, dsnega@list.ru*

IMPROVEMENT OF APPROACHES TO THE REGULATION OF WASTEWATER DISCHARGES INTO THE ENVIRONMENT THROUGH THE SEWERAGE SYSTEMS OF SETTLEMENTS

Abstract. One of the largest water users of the republic are organizations of water supply and sewerage services and housing and communal services that discharge urban wastewater after treatment at sewage treatment plants of settlements into surface water bodies. The quality of wastewater discharged into surface water bodies from wastewater treatment plants of settlements is significantly influenced by the qualitative characteristics of wastewater entering the treatment, the wastewater treatment technologies used and the efficiency of wastewater treatment plants. The development of a system for rationing wastewater discharged through the sewerage network to wastewater treatment plants in settlements will reduce the load on wastewater treatment plants, and, as a result, reduce the likelihood of dumping insufficiently treated wastewater into surface water bodies.

Keywords: wastewater, wastewater disposal systems, subscriber, treatment facilities, water facility

Ю. В. Голод, С. А. Дубянок

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь,
e-mail: ylia-gold@mail.ru, dsnega@list.ru*

УДАСКАНАЛЬВАННЕ ПАДЫХОДАЎ ДА НАРМІРАВАННЯ СКІДВАННЯЎ СЦЁКАВЫХ ВОД У НАВАКОЛЬНАЕ АСЯРОДДЗЕ ПРАЗ СІСТЭМЫ КАНАЛІЗАЦЫІ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАЎ

Анатацыя. Аднымі з найбуйнейшых водакарыстальнікаў рэспублікі з'яўляюцца арганізацыі водаправодна-каналізацыйнай і жыллёва-камунальнай гаспадарак, якія ажыццяўляюць скід гарадскіх сцёкавых вод пасля ачысткі на ачышчальных збудаваннях населеных пунктаў у паверхневыя водныя аб'екты. На якасць сцёкавых вод у паверхневыя водныя аб'екты з ачышчальных збудаванняў значны ўплыў аказваюць якасныя характарыстыкі сцёкавых вод, якія паступаюць на ачыстку, прымяняемыя тэхналогіі ачысткі і эфектыўнасць работы ачышчальных збудаванняў. Развіццё сістэмы нарміравання сцёкавых вод, якія адводзяцца праз сеткі каналізацыі на ачышчальныя збудаванні сцёкавых вод населеных пунктаў, дазволіць знізіць нагрузку на ачышчальныя збудаванні і, як следства, знізіць верагоднасць скіду недастаткова ачышчаных сцёкавых вод у паверхневыя водныя аб'екты.

Ключавыя словы: сцёкавыя воды, сістэмы водаадвядзення, абанент, ачышчальныя збудаванні, водны аб'ект

Введение. В настоящее время наибольшее воздействие на поверхностные водные объекты Республики Беларусь оказывают сточные воды, сбрасываемые после очистных сооружений сточных вод населенных пунктов, принадлежащих организациям водопроводно-канализационного хозяйства (далее – ВКХ) или жилищно-коммунального хозяйства (далее – ЖКХ). В 2020 г. по данным Государственного водного кадастра объем сброса недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты составил 2,71 млн м³, при этом 93 % или 2,53 млн м³ из этого объема составляют недостаточно очищенные сточные воды после очистных сооружений организаций ВКХ (ЖКХ) [1].

Очистные сооружения сточных вод населенных пунктов предназначены для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих от потребителей (население) и абонентов

(предприятия и организации), и производственных сточных вод, поступающих от абонентов, в централизованные системы водоотведения (канализации). При этом на очистные сооружения могут поступать поверхностные сточные воды, а также собственные сточные воды организаций ВКХ (ЖКХ).

Ежедневно в сети канализации от предприятий и организаций, являющихся абонентами организаций ВКХ (ЖКХ), отводится около 1,6 млн м³ сточных вод, очистка которых затем осуществляется на 1470 очистных сооружениях: сооружения биологической очистки в искусственных условиях и сооружения почвенной очистки (представленные в основном полями фильтрации) суммарной установленной мощностью 3,5 млн м³/сут [1].

Существующие очистные сооружения сточных вод в малых и средних населенных пунктах построены преимущественно в 1960–80-е годы, имеют большой физический износ и не могут обеспечить качественную очистку по современным требованиям и в первую очередь по удалению биогенных элементов (азота и фосфора), что не предусматривалось в тот период технологиями очистки сточных вод [2]. В то же время в соответствии со Стратегией в области охраны окружающей среды до 2025 г. организации ВКХ (ЖКХ) обязаны сократить сброс в водные объекты азота и фосфора на 50 % к уровню 2010 г. [3].

Неэффективная работа очистных сооружений сточных вод организаций ВКХ (ЖКХ) связана с высокими концентрациями загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих в приемную камеру очистных сооружений, которые значительно превышают проектные данные. Высокие концентрации загрязняющих веществ обусловлены тем, что большинство предприятий отводят свои производственные сточные воды в централизованные системы водоотведения (канализации) без предварительной очистки на локальных очистных сооружениях. В нашей республике условия приема сточных вод в централизованные системы водоотведения (канализации) осуществляются в соответствии с Правилами пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах (далее – Правила пользования) [4].

Правилами пользования [4] закреплены общие требования к производственным сточным водам, отводимым абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации), и установлены максимальные допустимые концентрации загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод в разрезе видов экономической деятельности. Однако отсутствуют методические подходы к нормированию производственных сточных вод, отводимых абонентами в централизованную систему водоотведения (канализации), учитывающие количественные и качественные характеристики сточных вод, поступающих на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов, и их эффективность удаления на очистных сооружениях организаций ВКХ (ЖКХ).

Методическая часть. Первые методологические подходы к нормированию производственных сточных вод, отводимых в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, разработаны в 1984 г. НИИ КВОВ АКХ им. К.Д. Памфилова и утверждены в виде «Правил приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов. Издание 5-е, дополненное» (далее – Правила приема 1984 г.) [5]. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод абонентов в соответствии с Правилами приема 1984 г. осуществляется на основании расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей в составе производственных сточных вод. Проводимый расчет учитывает эффективность удаления загрязняющих веществ и показателей на очистных сооружениях, количественные характеристики производственных сточных вод и качественные характеристики хозяйственно-бытовых сточных вод.

В законодательстве Украины [6] и Молдовы [7] сохранились аналогичные подходы к расчету допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод абонентов. В законодательстве России [8] при расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод абонентов учитывается только фактическая эффективность удаления загрязняющих веществ и показателей на очистных сооружениях

и допустимые концентрации загрязняющих веществ и показателей, установленных на выпуске в поверхностный водный объект. При этом в России, Украине и Молдове установлены максимальные допустимые концентрации загрязняющих веществ и показателей в составе производственных сточных вод без учета видов производственной деятельности абонентов, осуществляющих отведение производственных сточных вод в централизованные системы водоотведения (канализации) населенного пункта.

С целью усовершенствования методических подходов к нормированию производственных сточных вод в Республике Беларусь авторами проведен анализ основных показателей водопользования организаций ВКХ (ЖКХ) за период 2017–2020 гг. на предмет дифференцированного учета всех потоков сточных вод, поступающих в централизованную систему водоотведения (канализации), с определением доли каждого потока сточных вод от общего объема городских сточных вод на приемной камере очистных сооружений: производственные сточные воды от абонентов – их доля от 0,77 до 58,4 % от общего объема городских сточных вод; хозяйственно-бытовые сточные воды от потребителей и абонентов – от 25,79 до 80,34 %; хозяйственно-бытовые сточные воды, доставляемые ассенизационным транспортом – от 0 до 5,29 %; собственные сточные воды организаций ВКХ (ЖКХ) – от 0 до 28,23 %; дополнительный приток – от 0 до 49,91 % от общего объема городских сточных вод.

Статистическая обработка и анализ данных организаций ВКХ (ЖКХ) по объемам сточных вод, поступающих на очистные сооружения населенных пунктов, позволил сделать вывод об отсутствии учета объема собственных сточных вод организаций ВКХ (ЖКХ) и учета дополнительного притока. Также стоит отметить, что в ряде населенных пунктов отсутствуют сооружения, предназначенные для приема сточных вод от ассенизационного транспорта (сливные станции), или учет поступления таких вод в централизованную систему водоотведения (канализации) организаций ВКХ (ЖКХ) не осуществляется. Такой подход организаций ВКХ (ЖКХ) приводит к искажению первичной отчетной документации [9], на основании которой осуществляется заполнение ежегодной формы государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) [10]. С целью повышения точности учета сточных вод, поступающих в сети канализации и далее на очистные сооружения, необходимо дифференцировать виды сточных вод в зависимости от условий их образования.

Для дальнейшего определения методологических подходов к нормированию производственных сточных вод, отводимых абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации), авторами предложена следующая дифференциация сточных вод, поступающих на очистные сооружения: хозяйственно-бытовые сточные воды; производственные; поверхностные; собственные сточные воды организаций ВКХ (ЖКХ); дополнительный приток. Рассмотрим подходы к учету качественных и количественных характеристик по каждому из перечисленных видов сточных вод.

Хозяйственно-бытовые сточные воды. Совершенствование методического подхода к учету количественных характеристик хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих в централизованные системы водоотведения (канализации), основано на раздельном учете: от потребителей; от абонентов; доставляемых ассенизационным транспортом; собственных хозяйственно-бытовых сточных вод организаций ВКХ (ЖКХ).

Учет хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих от потребителей, абонентов и организации ВКХ (ЖКХ), подключенных к централизованной системе водоотведения (канализации), осуществляется неинструментальным методом, как правило, в объеме 100 % от объема водопотребления, поскольку приборный учет хозяйственно-бытовых сточных вод отсутствует. Стоит отметить, что в большинстве населенных пунктов Беларуси объем сточных вод, поступающих на очистные сооружения населенных пунктов, формируется именно за счет объема хозяйственно-бытовых сточных вод, что требует точного учета их количественных и качественных характеристик.

В национальном законодательстве требования к качеству хозяйственно-бытовых сточных вод регламентированы СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [11], где

для расчета концентраций загрязняющих веществ и показателей в составе хозяйственно-бытовых сточных вод при проектировании очистных сооружений представлены данные по 8 веществам и показателям (взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, аммоний-иону, азот по Кьельдалю, фосфор общий, фосфат-ион и хлорид-ион). При этом перечень загрязняющих веществ, подлежащих нормированию в составе хозяйственно-бытовых сточных вод на выпуске в водный объект, в соответствии с [12] включает 11 веществ и показателей. Таким образом, в настоящее время при проектировании очистных сооружений сточных вод населенных пунктов для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих от потребителей (населения), отсутствуют нормативные данные по сульфат-иону, минерализации, азоту общему и СПАВ (анион.).

Производственные сточные воды. В централизованные системы водоотведения (канализации) поступают производственные сточные воды от абонентов. Учет объема производственных сточных вод в соответствии с Правилами пользования [4] должен осуществляться инструментальным методом – по приборам учета (при расходе более 100 м³/сут), а также в случае наличия собственных источников водоснабжения – при объеме добычи (изъятия) воды свыше 100 м³/сут [4]. Однако в настоящее время незначительное количество предприятий, осуществляющих отведение производственных сточных вод в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов, осуществляют учет производственных сточных вод инструментальным методом (по одному предприятию – в городах Брест, Ошмяны, Жодино, Несвиж, по двум – в Витебске). Большинство абонентов, осуществляющих отведение производственных сточных вод в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов, выполняют такой учет неинструментальным методом.

Совершенствование методического подхода к учету количественных характеристик производственных сточных вод абонентов включает дифференцированный подход учета производственных сточных вод, поступающих в централизованные системы водоотведения (канализации), который должен осуществляться следующим образом: 1) инструментальным методом (по прибору учета) при отведении в централизованную систему водоотведения (канализации) более 100 м³/сут производственных сточных вод; 2) при отсутствии приборного учета сточных вод учет осуществляется неинструментальным методом – в объеме 100 % от объема воды, потребленной абонентом из централизованной системы водоснабжения населенного пункта и/или из собственных источников, за исключением случаев приведенных в п. 3; 3) при отсутствии приборного учета сточных вод и потреблением абонентом воды, которая по рецептурам используется для производства продукции (производство напитков и хлебобулочных изделий) и/или образованием дополнительного объема, поступающего в сети канализации абонента при производстве продукции (производство молочных продуктов), учет осуществляется неинструментальным методом – с учетом утвержденных индивидуальных технологических нормативов водопользования.

Контроль качественных характеристик производственных сточных вод абонентов осуществляется лабораторными службами организаций ВКХ (ЖКХ) в соответствии с Условиями приема сточных вод, которые утверждаются местными исполнительными и распорядительными органами по согласованию с территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды на срок до 10 лет [13].

Собственные сточные воды организаций ВКХ (ЖКХ). Учитывая специфику деятельности организаций ВКХ (ЖКХ) в процессе их функционирования образуются хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды, т. е. собственные сточные воды организаций ВКХ (ЖКХ), также поступающие в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов, которые образуются при эксплуатации систем водоподготовки, сетей водоснабжения и водоотведения, при эксплуатации объектов вспомогательного назначения, а также при эксплуатации очистных сооружений.

Учет сточных вод, образующихся при эксплуатации систем водоснабжения, как правило, осуществляется неинструментальным методом и включает сточные воды от технологических нужд организаций ВКХ (ЖКХ). В соответствии с постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 29 декабря 2004 г. №39 «Об оценке и расчете

технологических расходов воды в централизованных системах питьевого водоснабжения» [14] и [15] собственные производственные сточные воды организаций ВКХ (ЖКХ) могут включать: воды от промывки и дезинфекции водоводов 1-го подъема; от промывки сетчатых барабанных фильтров и микрофильтров; от промывки баков реагентов; от промывки фильтровальных сооружений; от профилактической очистки и дезинфекции отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды, водонапорных башен; сброс осадка из сооружений повторного использования воды (СПИВ); воды от промывки бактерицидных установок; от производственных нужд лабораторий организаций ВКХ (ЖКХ); от профилактической промывки водопроводных сетей; от промывки и очистки коллекторов, сетей, оборудования и сооружений систем водоотведения (в случае их промывки чистой водой).

При эксплуатации очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях у организаций ВКХ (ЖКХ) также образуются производственные сточные воды: от промывки решеток; дренажные воды с песковых площадок; иловые воды с иловых площадок (возвратная иловая вода); иные виды сточных вод (например, от эксплуатации биогазовых установок).

Учет производственных сточных вод очистных сооружений населенных пунктов может осуществляться как инструментальным, так и неинструментальным методом (по времени работы и производительности насосного оборудования). Учитывая условия формирования сточных вод, образующихся от технологических нужд организаций ВКХ (ЖКХ), сточные воды могут содержать высокие концентрации целого ряда загрязняющих веществ:

– взвешенные вещества – от промывки и дезинфекции водоводов 1-го подъема; от промывки сетчатых барабанных фильтров и микрофильтров; от промывки фильтровальных сооружений; от профилактической очистки и дезинфекции отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды, водонапорных башен; при сбросе осадка из СПИВ; от профилактической промывки водопроводных сетей; от промывки и очистки коллекторов, сетей, оборудования и сооружений систем водоотведения;

– железо общее – от промывки фильтровальных сооружений; от профилактической очистки и дезинфекции отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды, водонапорных башен; при сбросе осадка из СПИВ.

При этом сточные воды, образующиеся при использовании воды организациями ВКХ (ЖКХ) на технологические нужды, отводимые непосредственно в централизованную систему водоотведения (канализации), их объем и качественный состав учитывается в смеси городских сточных вод на приемной камере очистных сооружений. Сточные воды, образующиеся непосредственно в процессе эксплуатации очистных сооружений (в том числе возвратная иловая вода), могут поступать на разные этапы очистки и учет их количественных и качественных характеристик, как правило, не осуществляется. Однако возвратные иловые воды, образующиеся при работе очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях, при их подаче на очистку могут оказывать значительное воздействие на эффективность работы очистных сооружений.

Учитывая, что качественный состав производственных сточных вод очистных сооружений напрямую зависит от качественного состава городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения населенного пункта, то при расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод абонентов, необходимо учитывать влияние возвратной иловой воды на эффективность работы очистных сооружений.

Поверхностные сточные воды. В централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов могут поступать поверхностные сточные воды населенного пункта (при отсутствии централизованных сетей дождевой канализации) и поверхностные сточные воды с производственных площадок абонентов (на основании договора на прием таких вод с организацией ВКХ (ЖКХ)).

Учет поверхностных сточных вод осуществляется неинструментальным методом в соответствии с [11]. Согласно постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды № 16 [12], для поверхностных сточных вод характерно содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов. Учитывая, что поверхностные сточные воды в составе городских сточных

вод, поступающая на очистные сооружения населенного пункта, увеличивают на них нагрузку, то необходимо учитывать их качественные характеристики при расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод.

При отведении поверхностных сточных вод с производственных площадок абонентов в централизованные системы водоотведения (канализации) населенного пункта требования к качественным характеристикам данных сточных вод отсутствуют. При этом поверхностные сточные воды могут содержать специфические загрязняющие вещества, характерные для производственных процессов абонентов, которые могут поступать с площадки абонента совместно с поверхностными сточными водами в централизованную систему водоотведения (канализации) населенного пункта. Для повышения достоверности учета массы загрязняющих веществ и показателей в составе производственных сточных вод абонентов, организациям ВКХ (ЖКХ) необходимо осуществлять лабораторный контроль за составом отводимых в централизованную систему водоотведения (канализации) поверхностных сточных вод абонентов.

Дополнительный приток. Дополнительный приток является достаточно условной величиной и рассчитывается как разница между объемом сточных вод, поступивших на очистные сооружения по данным приборного учета, и объемом производственных сточных вод, оплаченных абонентами, и хозяйственно-бытовых сточных вод, оплаченных абонентами и потребителями.

При отсутствии дифференцированного учета всех видов сточных вод в объем дополнительного притока могут включаться следующие составляющие.

1. Производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды, отводимые абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации) сверх оплаченных объемов, что обусловлено отсутствием у большей части абонентов организаций ВКХ (ЖКХ) приборов учета сточных вод.

2. Хозяйственно-бытовые сточные воды потребителей в виде недоучета воды приборами учета потребителей из-за их нечувствительности к малым расходам воды и ухудшения метрологических характеристик приборов учета в процессе их эксплуатации и коммерческих потерь воды.

3. Сточные воды, поступающие в централизованные системы водоотведения (канализации) через сливные колодцы, сливные пункты (при отсутствии учета данных сточных вод).

4. Собственные сточные воды организаций ВКХ (ЖКХ).

5. Поверхностные сточные воды.

6. Грунтовые воды, поступающие в централизованные системы водоотведения (канализации) в связи с несовершенством и конструктивными особенностями коллекторов.

Учитывая условия формирования дополнительного притока, поступающего на очистные сооружения сточных вод населенного пункта, осуществлять мониторинг его качественного состава не предоставляется возможным. Поскольку дополнительный приток может включать в себя хозяйственно-бытовые, производственные, поверхностные сточные воды и неорганизованный приток, но формируется преимущественно за счет поверхностных и грунтовых вод, то при расчете допустимых концентраций взвешенных веществ и нефтепродуктов в составе производственных сточных вод абонентов, осуществляющих отведение в централизованные системы водоотведения (канализации), необходимо учитывать его объем.

Применение исследуемых методических подходов к нормированию производственных сточных вод абонентов организаций ВКХ (ЖКХ) указывает на необходимость разработки национальной методики нормирования производственных сточных вод, отводимых абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов Республики Беларусь.

Разработанный дифференцированный подход к учету количественных и качественных характеристик сточных вод, поступающих на очистные сооружения, лег в основу разработки методики по расчету допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод, отводимых абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, которая определяет порядок проведения расчета в несколько этапов.

1. Расчет допустимой концентрации загрязняющих веществ и показателей в составе производственных сточных вод абонентов ($C_{\text{ПСВ}i}$) осуществляется по формуле:

$$C_{\text{ПСВ}i} = \frac{Q}{q_i} \times (C_{\text{ГСВ}i} - C_{\text{хоз-быт}i}) + C_{\text{хоз-быт}i} \quad (1)$$

где Q – расход городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения сточных вод населенного пункта, м³/сут; q – суммарный расход сточных вод, содержащих i -е загрязняющее вещество (показатель), м³/сут; $C_{\text{ГСВ}i}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества (показателя) в составе производственных (смеси производственных и хозяйственно-бытовых) сточных вод нормируемых абонентов, осуществляющих их отведение в сети канализации и далее поступающих на очистные сооружения населенного пункта, мг/дм³; $C_{\text{хоз-быт}i}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества (показателя) в составе хозяйственно-бытовых сточных вод, рассчитанная на основании не менее трех отборов проб, мг/дм³.

Учитывая условия формирования объема сточных вод, поступающих на очистные сооружения, и предлагаемый дифференцированный подход к их учету, расход сточных вод, поступающих в централизованную систему водоотведения (канализации), рассчитывается по формуле:

$$Q = q_{\text{ПСВ}} + q_{\text{ХБСВ}} + q_{\text{АХБСВ}} + q_{\text{собст. ХБСВ}} + q_{\text{собст. ПСВ}} + q_{\text{собст. ПСВ ОС}} + q_{\text{поверх. СВ}} + q_{\text{доп. СВ}} \quad (2)$$

где $q_{\text{ПСВ}}$ – среднесуточный расход производственных (смеси производственных и хозяйственно-бытовых) сточных вод нормируемых абонентов, м³/сут; $q_{\text{ХБСВ}}$ – среднесуточный расход хозяйственно-бытовых сточных вод (абонентов и потребителей), подключенных к централизованной системе водоотведения (канализации), м³/сут; $q_{\text{АХБСВ}}$ – среднесуточный расход хозяйственно-бытовых сточных вод, доставляемых ассенизационным транспортом, м³/сут; $q_{\text{собст. ХБСВ}}$ – среднесуточный расход собственных хозяйственно-бытовых сточных вод организаций ВКХ (ЖКХ), м³/сут; $q_{\text{собст. ПСВ}}$ – расход собственных производственных сточных вод организаций ВКХ (ЖКХ), м³/сут. Рассчитывается как сумма среднесуточных расходов производственных сточных вод, образующихся при эксплуатации сооружений водоподготовки, при промывке и профилактической очистке и дезинфекции отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды, при плановой и внеплановой промывке водопроводных и канализационных сетей, м³/сут; $q_{\text{собст. ПСВ ОС}}$ – среднесуточный расход собственных производственных сточных вод от эксплуатации очистных сооружений сточных вод населенного пункта, м³/сут; $q_{\text{поверх. СВ}}$ – среднесуточный расход поверхностных сточных вод, м³/сут; $q_{\text{доп. СВ}}$ – среднесуточный расход дополнительного притока, м³/сут.

2. Расчет допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей в составе городских сточных вод в приемной камере очистных сооружений сточных вод населенного пункта ($C_{\text{ГСВ}i}$) осуществляется по следующей формуле:

$$C_{\text{ГСВ}i} = \frac{C_{\text{ст}i} \cdot 100}{100 - A_i} \quad (3)$$

где $C_{\text{ст}i}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества (показателя) в составе городских сточных вод на выпуске в водный объект, установленная в комплексном природоохранном разрешении или разрешении на специальное водопользование, мг/дм³; A_i – эффективность удаления i -го загрязняющего вещества (показателя) в составе сточных вод на очистных сооружениях населенного пункта, %. Расчет эффективности удаления i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод на очистных сооружениях населенного пункта, осуществляется по формуле:

$$A_i = 100 - C_{\text{выход}i} : C_{\text{вход}i} \cdot 100, \% \quad (4)$$

где $C_{\text{выход}i}$ – средняя фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества (показателя) в составе сточных вод на выходе с очистных сооружений населенного пункта (т.е. на выпуске в водный объект), мг/дм³; $C_{\text{вход}i}$ – средняя фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества (показателя) в составе сточных вод на входе очистных сооружений (т.е. в приемной камере), мг/дм³.

При расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей в составе городских сточных вод необходимо учитывать фактическую, проектную и нормативную допустимую эффективность удаления загрязняющих веществ в составе сточных вод в процессе биологической очистки на очистных сооружениях.

В действующих нормативно-правовых актах Республики Беларусь не установлена допустимая эффективность удаления загрязняющих веществ и показателей в составе сточных вод в процессе биологической очистки по взвешенным веществам, БПК₅, ХПК_{Cr}, аммоний-иону, азоту общему, фосфору общему, минерализации, хлорид-иону, сульфат-иону. При этом необходимо учитывать, что в ходе биологической очистки минерализация, хлорид-ион, сульфат-ион (обусловленные высокими концентрация растворенных солей) не удаляются, а иногда наблюдается обратная тенденция, поэтому расчет допустимых концентраций осуществляется с учетом отсутствия эффективности удаления загрязняющих веществ ($A = 0 \%$).

Расчет допустимых концентраций по показателям – взвешенные вещества, БПК₅, ХПК_{Cr} и допустимых концентраций по аммоний-иону, азоту общему, фосфору общему в составе городских сточных вод в приемной камере очистных сооружений населенных пунктов ($C_{ГСВ}$) осуществляется с учетом следующих условий: при отсутствии проектных данных расчет осуществляется с учетом фактической эффективности удаления перечисленных загрязняющих веществ и показателей; при наличии проектных данных и фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества (показателя) выше проектной ($A_{факт} > A_{проект}$), расчет осуществляется с учетом проектной эффективности удаления i -го загрязняющего вещества (показателя); при наличии проектных данных и фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества (показателя) ниже проектной ($A_{факт} < A_{проект}$), расчет осуществляется с учетом фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества (показателя).

Расчет допустимой концентрации СПАВ(анион.), железа общего, специфических загрязняющих веществ (свинец, медь, никель, хром общий, цинк, кадмий, кобальт, фенолы суммарно, формальдегид и т.д.) в составе городских сточных вод в приемной камере очистных сооружений населенного пункта ($C_{ГСВ}$) осуществляется: при отсутствии проектных данных и фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества выше, чем установленная в НПА и ТНПА ($A_{факт} > A_{НПА и ТНПА}$), с учетом эффективности удаления i -го загрязняющего вещества, установленной в НПА и ТНПА; при отсутствии проектных данных и фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества ниже, чем установленная в НПА и ТНПА ($A_{факт} < A_{НПА и ТНПА}$), с учетом фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества; при наличии проектных данных и фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества выше проектной ($A_{факт} > A_{проект}$), с учетом проектной эффективности удаления i -го загрязняющего вещества; при наличии проектных данных и при фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества ниже проектной ($A_{факт} < A_{проект}$), с учетом фактической эффективности удаления i -го загрязняющего вещества.

С целью недопущения увеличения нагрузки на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов при расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод необходимо учитывать только те потоки сточных вод, которые содержат данное загрязняющее вещество.

Расчет допустимой концентрации в составе производственных (смеси производственных и хозяйственно-бытовых) сточных вод абонентов по показателю взвешенные вещества осуществляется:

$$C_{ПСВ \text{ взвеш. вещ-ва}} = \frac{Q}{q_{ПСВ} + q_{\text{собст. ПСВ}} + q_{\text{собст. возвр.}} + q_{\text{поврех. СВ}} + q_{\text{доп.}}} (C_{ГСВ} - C_{\text{хоз-быт}}) + C_{\text{хоз-быт}}, \quad (5)$$

по железу общему:

$$C_{ПСВ \text{ железо общ.}} = \frac{Q}{q_{ПСВ} + q_{\text{собст. ПСВ}} + q_{\text{собст. возвр.}}} (C_{ГСВ} - C_{\text{хоз-быт}}) + C_{\text{хоз-быт}}, \quad (6)$$

по нефти и нефтепродуктам в растворенном и эмульгированном состоянии:

$$C_{\text{ПСВ нефтeпродукты}} = \frac{Q}{q_{\text{ПСВ}} + q_{\text{собст. возвр}} + q_{\text{поврех. СВ}} + q_{\text{доп}}} (C_{\text{ГСВ}} - C_{\text{хоз-быт}}) + C_{\text{хоз-быт}} \quad (7)$$

по остальным загрязняющим веществам:

$$C_{\text{ПСВ } i} = \frac{Q}{q_{\text{ПСВ } i} + q_{\text{собст. возвр.}}} (C_{\text{ГСВ } i} - C_{\text{хоз-быт } i}) + C_{\text{хоз-быт } i} \quad (8)$$

Если концентрация i -го загрязняющего вещества (показателя) в составе хозяйственно-бытовых сточных вод превышает расчетную допустимую концентрацию i -го загрязняющего вещества (показателя) в составе городских сточных вод ($C_{\text{хоз-быт } i} > C_{\text{ГСВ } i}$), то допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в составе производственных (смеси производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод) равняется расчетной допустимой концентрации i -го загрязняющего вещества в составе городских сточных вод ($C_{\text{ПСВ } i} = C_{\text{ГСВ } i}$).

Применение разработанной методики расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей в составе производственных сточных вод абонентов позволяет учесть условия формирования городских сточных вод и эффективность работы очистных сооружений населенных пунктов.

Заключение. Развитие системы нормирования сточных вод заключается в усовершенствовании методологических подходов к нормированию производственных сточных вод, поступающих через сети канализации на очистные сооружения населенных пунктов с последующим их сбросом в поверхностные водные объекты. На очистные сооружения в составе городских сточных вод поступает смесь сточных вод, которые могут оказывать существенное воздействие на эксплуатацию очистных сооружений, снижая эффективность очистки, что необходимо учитывать при нормировании производственных сточных вод абонентов.

Предлагаемая методика расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод учитывает не только количественные и качественные характеристики всех потоков сточных вод, поступающих на очистные сооружения, но и эффективность работы очистных сооружений, что позволит исключить сброс недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты.

Список использованных источников

1. Официальный сайт РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by>. – Дата доступа 07.10.2021.
2. О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 янв. 2021 г., №50 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100050_1612299600.pdf. – Дата доступа: 07.10.2021.
3. О Государственной программе «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 19 фев. 2021 г., №99 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100099>. – Дата доступа: 07.10.2021.
4. Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 сен. 2016 г., №788 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600788&p1=1>. – Дата доступа: 07.10.2021.
5. Правила приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов [Электронный ресурс]: приказ Мин. ЖКХ РСФСР, 2 мар. 1984 г., №107 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://rdocs3.cntd.ru/document/1200037398>. – Дата доступа: 07.10.2021.
6. Об утверждении Правил приема сточных вод в системы водоотведения и Порядка определения размера платы, взимаемой за сверхнормативные сбросы сточных вод в системы водоотведения [Электронный ресурс]: приказ Министерства регионального развития, строительства жилищно-коммунального управления Украины, 1 дек. 2017 г., №316 // Информационная система Континент. – Режим доступа: http://continent-online.com/Document/?doc_id=36705649#pos=0;0. – Дата доступа: 06.10.2021.
7. Об утверждении Положения о требованиях к сбору, очистке и сбросу сточных вод в канализационную систему и/или в приемник для городских и сельских населенных пунктов [Электронный ресурс]: постановление Правительства Респ. Молдова, 25 нояб. 2013 г., №950 // База данных Законодательства стран СНГ. – Режим доступа: https://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=64899. – Дата доступа: 06.10.2021.

8. Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации [Электронный ресурс] : постановление Правительства РФ, 29 июля. 2013 г., №644 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499036854>. – Дата доступа: 07.10.2021.

9. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок ведения учета в области охраны окружающей среды и заполнения форм учетной документации в области охраны окружающей среды = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Парадак вядзення ўліку у галіне аховы навакольнага асяроддзя і запаўненні формаў ўліковай дакументацыі у галіне аховы навакольнага асяроддзя : ТПК ТКП 17.02-12-2014 (02120). – Введ. 03.03.2017. – Минск : Минприроды, 2014.

10. Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании воды» и указаний по ее заполнению [Электронный ресурс] : постановление Нац. стат. комитета Респ. Беларусь, 11 нояб. 2016 г., №169 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/T21603645p_1480021200.pdf. – Дата доступа: 07.10.2021.

11. Канализация. Наружные сети и сооружения = Водазабеспячненне. Знадворныя сеткі і збудаванні : СН 4.01.02-2019 – Введ. 31.10.19. – Минск: Минстройархитектуры, 2020.

12. О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод [Электронный ресурс] : постановление М-ва природы Респ. Беларусь, 26 мая 2017 г., № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/W21732141_1497992400.pdf. – Дата доступа: 07.10.2021.

13. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 30 июля 2014 г., №149-3 : принят Палатой представителей 2 апреля 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апреля 2014 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.06.2019 г.// ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

14. Об оценке и расчете технологических расходов воды в централизованных системах питьевого водоснабжения [Электронный ресурс] : постановление Мин. ЖКХ Респ. Беларусь, 29 дек. 2004 г., №39 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/W21934768_1574283600.pdf. – Дата доступа: 07.10.2021.

15. Об утверждении Правил технической эксплуатации систем питьевого водоснабжения и водоотведения (канализации) населенных пунктов [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 4 сен. 2019 г., №594 // Правовая платформа «Бизнес-Инфо». – Режим доступа: <https://bii.by/tx.dll?d=408755&=1&f=#f>. – Дата доступа: 07.10.2021.

Поступила 08.10.2021

compared to previous season (from 3 to 18 times). It is shown that in a two-year cycle of observations in the Smolevichi district, all the tested agricultural technics contributed to an increase in its size with the greatest, and similar in both varieties, the effectiveness applying of Basacote Plus 6M and Ekogum complex. In the Dokshytsy district, along with the mineral one, the most effective was the use of MaKloR (5 %), which was 1.5 times inferior to it in this regard, in the absence of an impact on the productivity of the late-maturing variety of the Ekogum complex and MaKloR (10 %).

Keywords: large-fruited cranberry, generative organs, varieties, mineral and organic fertilizers, size parameters of fruits, yield, weather conditions

А. П. Якаўлеў¹, Ж. А. Рупасава¹, С. П. Антохіна¹, І. В. Савоська¹, П. М. Белы¹, Л. У. Ганчарова¹, Т. І. Васілеўская¹, Э. І. Каламіец², З. М. Алешчанкава², Т. М. Карбановіч³

¹Цэнтральны батанічны сад Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

²Інстытут мікрэбіялогіі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: microbio@mbio.bas-net.by

³Міністэрства сельскай гаспадаркі і харчавання Рэспублікі Беларусь, Мінск, Беларусь,
e-mail: veget@mshp.gov.by

УПЛЫЎ УГНАЕННЯЎ НА ФАРМАВАННЕ ГЕНЕРАТЫЎНАЙ СФЕРЫ РАСЛІН ЖУРАВІН БУЙНАПЛОДНЫХ НА ТАРФЯНЫМ РАДОВІШЧЫ ВЕРХАВОГА ТЫПУ, ЯКОЕ РЭКУЛЬТИВІРУЕЦЦА

Анотацыя. Прыведзены вынікі параўнальнага даследавання ўплыву мінеральнага (Basacote Plus 6M) і арганічных (Экогум-комплекс, МаКлоР (5, 10 %)) угнаенняў на біямэтрычныя і біяпрадукцыйныя характарыстыкі генератыўных органаў пяцігадовых раслін ранняспелага (*Ben Lear*) і познаспелага (*Stevens*) гатункаў журавін буйнаплодных у кантрастных па ўмовах надвор'я сезоны 2019 і 2020 гг. у доследнай культуры на плошчах тарфяных радовішчаў, якія рэкультивіруюцца у Смалявіцкім (Мінская вобл.) і Докшыцкім (Віцебская вобл.) раёнах. Выяўлены істотныя міжрэгіянальныя, генатыпічныя і міжварыянтныя адрозненні рэакцыі вопытных раслін на ўнясенне ўгнаенняў. У першы год даследаванняў, які характарызаваўся павышаным тэмпературным фонам і багаццем ападкаў, выяўлена стымулюючае дзеянне ўгнаенняў на марфаметрычныя і біяпрадукцыйныя характарыстыкі плодоў журавін, найбольш яўнае ў ранеспелага гатунку. Умерана халоднае і дажджлівае надвор'е вегетатыўнага сезона 2020 г. спрыяла істотнаму паслабленню дзеяння ўгнаенняў на доследныя характарыстыкі плодоў журавін: назіралася зніжэнне дадатку ўраджайнасці плодоў ад 3 да 18 разоў у параўнанні з папярэднім сезонам. Паказана, што ў двухгадовым цыкле назіранняў у Смалявіцкім раёне ўсе варыянты ўгнаенняў спрыялі павелічэнню яе памераў пры найбольшай, прычым падобнай у абодвух гатункаў, выніковасці ўнясення мінеральнага ўгнаення Basacote Plus 6M і апрацовак Экогум-комплекс. У Докшыцкім раёне нараўне з мінеральным найбольш эфектыўным было выкарыстанне 5%-нага МаКлоР (якое, аднак, саступала яму ў гэтым плане ў 1,5 разы) пры адсутнасці ўплыву на прадуктыўнасць познаспелага гатунку Экогум-комплекс і 10%-нага МаКлоР.

Ключавыя словы: журавіны буйнаплодных, генератыўныя органы, гатункі, мінеральныя і арганічныя ўгнаенні, размерныя параметры плодоў, ураджайнасць, умовы надвор'я

Введение. В связи с оптимизацией режима минерального питания клюквы крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus* Ait. Pers.) при выращивании на рекультивируемых площадях, выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Беларуси, представлялось целесообразным дать сравнительную оценку эффективности применения минеральных и органических удобрений, обеспечивающих снижение химической нагрузки на субстрат за счет биологических механизмов стимуляции у растений биопродукционного процесса и способствующих получению экологически чистой, высоковитаминной ягодной продукции.

Для реализации этой цели на сортах клюквы разных сроков созревания было осуществлено испытание новых видов удобрений – минерального комплексного гранулированного удобрения пролонгированного действия Basacote Plus 6M (N₁₅P₈K₁₂ кг/га д.в.) производства компании СОМРО (Германия), а также двух видов органических удобрений нового поколения – Экогум-комплекс и соответствующего биологической природе вересковых микробного препарата МаКлоР. Первое из них производства УП «Белуниверсалпродукт» (РБ) – полностью натуральное гуминовое органическое удобрение нового поколения с повышенной физиологической активностью, созданное на основе вытяжки из торфа с добавлением макро- и микроэлементов. Входящие в состав препарата гуминовые и фульвокислоты оказывают непосредственное влияние на клеточные мембраны, повышая их проницаемость и обеспечивая транспорт минеральных соединений в активные метаболические зоны растений.

Микробный препарат МаКлоР создан в Институте микробиологии НАН Беларуси специально для обработки почвы и корневой системы микроклональных и вегетирующих растений рода *Vaccinium*, являющихся, как и *O. macrocarpus*, представителями сем. *Ericaceae*. Его основой являются азотфиксирующие бактерии и арбускулярно-микоризные грибы, входящие в состав препарата, которые размножаются на поверхности корневой системы и способствуют накоплению

биологического азота и фосфора, стимулирующие у растений развитие ризосферы и ростовую функцию [1, 2].

Особый научный и практический интерес в данной работе представляло исследование ответной реакции на испытываемые агроприемы плодоносящих растений клюквы, уже вступивших в устойчивый генеративный период развития. В этой связи в 2019–2020 гг. на двух рекультивируемых участках торфяных месторождений верхового типа в центральной и северной частях Беларуси было проведено сравнительное исследование влияния обозначенных выше видов удобрений на основные показатели генеративных органов пятилетних растений клюквы крупноплодной.

Методика и материалы исследований. Исследование влияния испытываемых видов удобрений на биометрические и биопродукционные характеристики модельных сортов *O. macrocarpus* разных сроков созревания – *Ben Lear* (из раннеспелых) и *Stevens* (из позднеспелых) было осуществлено в двух районах республики – Смолевичском (Минская обл.) и Докшицком (Витебская обл.), расположенных друг от друга на расстоянии 200 км, в рамках однотипных полевых экспериментов с 5-вариантной схемой: 1 – контроль без внесения удобрений; 2 – припосадочное (в мае) луночное внесение удобрения Basacote Plus 6M из расчета 1,5 г под растение; 3 – некорневая обработка вегетирующих растений раствором удобрения Экогум-комплекс в концентрации 15 мл на 3 л воды из расчета 75 мл на растение; 4 – припосадочное (в мае) луночное внесение 5%-ного раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение; 5 – припосадочное (в мае) луночное внесение 10%-ного раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение. Повторность опытов трехкратная, в каждом варианте было высажено по 15 растений каждого сорта клюквы крупноплодной.

Для получения информации о биометрических и биопродукционных характеристиках плодов опытных растений в период их съемной зрелости повариантно определяли урожайность ягодной продукции, среднюю массу плодов, а также их усредненные линейные параметры (длину и диаметр) с последующей статистической обработкой данных с использованием программы Excel.

Результаты исследований и их обсуждение. По нашим данным, приведенным в табл. 1, в Смолевичском районе в условиях сезона 2019 г., отмеченного неравномерным выпадением осадков и значительными колебаниями температурного фона – чрезвычайно высокого в июне и несколько пониженного в июле и августе, размерные параметры плодов модельных сортов *O. macrocarpus* – раннеспелого *Ben Lear* и позднеспелого *Stevens* изменялись по вариантам опыта в довольно узких диапазонах, соответствующих по длине – 1,68–1,88 и 1,57–1,65 см, по диаметру – 1,41–1,52 и 1,17–1,29 см. При этом более крупные плоды сорта *Ben Lear* характеризовались также более высокими, чем у сорта *Stevens*, показателями их средней массы – 1,20–1,49 г против 0,83–1,01 г. В Докшицком районе плоды сорта *Stevens* несколько уступали своим экспериментальным аналогам в более южном Смолевичском районе по линейным параметрам и средней массе, составлявшим соответственно 1,35–1,62 см, 1,05–1,29 см и 0,58–1,02 г.

В отличие от морфометрических характеристик, урожайность плодов клюквы в Смолевичском районе варьировалась в рамках эксперимента, хотя и в близких между собой, но при этом достаточно широких диапазонах значений – от 616,4 до 1346,0 г/растение у раннеспелого сорта и от 707,2 до 1586,8 г/растение у позднеспелого, что свидетельствовало о существенном влиянии испытываемых агроприемов на их биопродукционные показатели. При этом несмотря на сравнительно небольшое расстояние между опытными стационарами (в пределах 250 км), в Докшицком районе урожайность сорта *Stevens* примерно втрое уступала таковой в Смолевичском районе при наибольших различиях, достигавших 7-кратной величины, при обработках Экогум-комплексом (табл. 1).

Как следует из табл. 2, в обоих районах исследований применение удобрений обусловило выраженные в разной степени достоверные изменения большинства анализируемых признаков относительно контроля. Наиболее выразительно они проявились в Смолевичском районе, в котором использование органических удобрений способствовало увеличению размеров плодов сорта *Ben Lear* на 8–12 % в длину и на 6–8 % в ширину при отсутствии влияния на данные показатели минерального удобрения Basacote Plus 6M. Для сорта *Stevens* аналогичный позитивный

Т а б л и ц а 1. Урожайность и морфометрические характеристики плодов *Oxycoccus macrocarpus* в вариантах полевого опыта в районах исследований

Вариант опыта	Длина, см		Диаметр, см		Длина/Диаметр		Масса плода, г		Урожайность, г/растение	
	$\bar{X} \pm S_x$	t	$\bar{X} \pm S_x$	t	$\bar{X} \pm S_x$	t	$\bar{X} \pm S_x$	t	$\bar{X} \pm S_x$	t
2019 г.										
Смолевичский р-н Минской обл.										
Сорт <i>Ben Lear</i>										
1	1,68±0,10	–	1,41±0,05	–	1,2±0,1	–	1,20±0,10	–	616,4±37,2	–
2	1,76±0,09	0,59	1,43±0,07	0,25	1,2±0,1	0	1,33±0,08	1,59*	1271,6±56,4	9,70*
3	1,81±0,08	1,82*	1,52±0,03	1,97*	1,2±0,1	0	1,49±0,05	2,32*	1346,0±89,8	7,51*
4	1,88±0,12	2,28*	1,51±0,04	1,94*	1,2±0,1	0	1,55±0,06	2,55*	904,0±78,6	3,31*
5	1,82±0,08	1,94*	1,49±0,05	1,75*	1,2±0,1	0	1,44±0,06	2,06*	895,6±78,8	3,20*
Сорт <i>Stevens</i>										
1	1,59±0,12	–	1,17±0,08	–	1,4±0,1	–	0,83±0,06	–	707,2±64,4	–
2	1,65±0,15	0,31	1,24±0,04	0,83	1,3±0,1	0,71	0,96±0,06	1,57*	1403,2±95,2	6,06*
3	1,60±0,14	0,05	1,24±0,09	0,58	1,3±0,1	0,71	0,96±0,06	1,57*	1586,8±135,0	5,88*
4	1,61±0,10	0,13	1,28±0,05	1,97*	1,3±0,1	0,71	1,01±0,04	1,85*	1397,6±70,4	7,24*
5	1,57±0,10	–0,13	1,29±0,05	2,06*	1,2±0,1	1,41*	1,01±0,02	2,40*	846,4±44,2	2,31*
Докшицкий р-н Витебской обл.										
Сорт <i>Stevens</i>										
1	1,41±0,05	–	1,10±0,09	–	1,3±0,1	–	0,67±0,06	–	230,4±49,6	–
2	1,62±0,06	2,29*	1,29±0,05	2,58*	1,3±0,1	0	1,02±0,03	3,06*	547,6±56,0	4,24*
3	1,36±0,10	–0,32	1,07±0,08	–0,28	1,3±0,1	0	0,58±0,04	–1,72*	226,4±21,4	–0,07
4	1,46±0,12	0,29	1,13±0,10	0,22	1,3±0,1	0	0,72±0,12	0,61	487,2±51,2	3,61*
5	1,35±0,12	–0,35	1,05±0,10	–0,37	1,3±0,1	0	0,58±0,05	–1,61*	232,8±24,0	0,04
2020 г.										
Смолевичский р-н Минской обл.										
Сорт <i>Ben Lear</i>										
1	1,69±0,06	–	1,56±0,14	–	1,1±0,1	–	1,56±0,09	–	983,4±22,7	–
2	1,84±0,11	2,38*	1,64±0,11	0,45	1,1±0,1	0	1,85±0,22	1,45*	1308,5±65,4	4,70*
3	1,70±0,13	0,16	1,50±0,13	–0,13	1,1±0,1	0	1,42±0,18	–1,58*	1048,2±19,5	2,17*
4	1,76±0,13	0,80	1,53±0,10	–0,17	1,2±0,1	0,71	1,51±0,26	–0,32	1110,4±28,1	3,52*
5	1,76±0,12	0,81	1,50±0,11	–0,34	1,2±0,1	0,71	1,40±0,16	–1,79*	1042,2±18,2	2,03*
Сорт <i>Stevens</i>										
1	1,68±0,11	–	1,37±0,10	–	1,2±0,1	–	1,21±0,10	–	717,3±26,1	–
2	1,70±0,11	0,13	1,40±0,09	0,45	1,2±0,1	0	1,23±0,19	0,07	971,7±22,9	7,35*
3	1,60±0,13	–0,47	1,34±0,08	–0,23	1,2±0,1	0	1,05±0,08	–1,57*	867,2±16,8	4,83*
4	1,59±0,12	–0,55	1,32±0,10	–0,35	1,2±0,1	0	1,05±0,07	–1,61*	863,5±24,1	4,12*
5	1,54±0,06	–1,68*	1,37±0,12	0	1,1±0,1	–0,71	1,10±0,05	–1,34*	894,9±22,5	5,12*
Докшицкий р-н Витебской обл.										
Сорт <i>Stevens</i>										
1	1,37±0,17	–	1,07±0,10	–	1,3±0,1	–	0,68±0,12	–	408,8±36,7	–
2	1,44±0,11	0,35	1,25±0,05	1,67*	1,2±0,1	–0,71	0,90±0,09	1,98*	539,0±45,1	2,24*
3	1,41±0,10	0,20	1,08±0,09	0,07	1,3±0,1	0	0,68±0,12	0	407,6±34,5	–0,02
4	1,36±0,15	–0,04	1,06±0,08	0,08	1,3±0,1	0	0,67±0,13	–0,06	412,0±32,4	0,07
5	1,43±0,14	0,27	1,08±0,10	0,07	1,3±0,1	0	0,66±0,16	–0,10	397,0±30,4	–0,25

* Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$.

эффект, проявившийся в увеличении диаметра плодов на 10 %, был показан лишь в вариантах опыта с внесением МаклоР. При этом все испытываемые агроприемы оказали положительное влияние на среднюю массу плодов обоих сортов клюквы, что подтверждалось достоверным ее увеличением по сравнению с контролем на 11–29 % у раннеспелого сорта и на 16–22 % у позднеспелого, наиболее значительным в обоих случаях при использовании 5%-ного МаклоР (табл. 2).

Таблица 2. Относительные различия с контролем вариантов полевого опыта с внесением удобрений по урожайности и морфометрическим характеристикам плодов *Oxycoccus macrocarpus* в районах исследований, %

Вариант опыта	Длина плода	Диаметр плода	Длина/Диаметр плода	Масса плода	Урожайность
2019 г.					
Смолевичский р-н Минской обл.					
Сорт <i>Ben Lear</i>					
2	–	–	–	+10,8	+106,3
3	+7,7	+7,8	–	+24,2	+118,4
4	+11,9	+7,1	–	+29,2	+46,7
5	+8,3	+5,7	–	+20,0	+45,3
Сорт <i>Stevens</i>					
2	–	–	–	+15,7	+98,4
3	–	–	–	+15,7	+124,4
4	–	+9,4	–	+21,7	+97,6
5	–	+10,3	–14,3	+21,7	+19,7
Докшицкий р-н Витебской обл.					
Сорт <i>Stevens</i>					
2	+14,9	+17,3	–	+52,2	+137,7
3	–	–	–	–13,4	–
4	–	–	–	–	+111,5
5	–	–	–	–13,4	–
2020 г.					
Смолевичский р-н Минской обл.					
Сорт <i>Ben Lear</i>					
2	+8,9	–	–	+18,6	+33,1
3	–	–	–	–9,0	+6,6
4	–	–	–	–	+12,9
5	–	–	–	–10,3	+6,0
Сорт <i>Stevens</i>					
2	–	–	–	–	+35,5
3	–	–	–	–13,2	+20,9
4	–	–	–	–13,2	+20,4
5	–8,3	–	–	–9,1	+24,8
Докшицкий р-н Витебской обл.					
Сорт <i>Stevens</i>					
2	–	+16,8	–	+32,4	+31,9
3	–	–	–	–	–
4	–	–	–	–	–
5	–	–	–	–	–

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$.

Наряду с этим усиление минерального питания опытных растений способствовало увеличению урожайности плодов на 45–118 % у раннеспелого сорта и на 20–124 % у позднеспелого при наибольшей выразительности позитивного эффекта на фоне обработок Экогум-комплексом. Весьма результативным было также внесение минерального удобрения *Basacote Plus 6M*, незначительно уступавшее в этом плане предыдущему агроприему, и наименее эффективным для обоих сортов оказалось использование *MaKлоP*, особенно 10%-ной концентрации.

В условиях более северного Докшицкого района достоверное увеличение размеров плодов сорта *Stevens* (на 15 % в длину, на 17 % в ширину) и средней массы на 52 % по сравнению с контролем выявлено лишь в единичном случае – при внесении минерального удобрения, тогда как использование всех видов органических удобрений не оказало значимого влияния на размерные характеристики плодов и более того обусловило даже снижение показателя их средней массы на 13 % (табл. 2). При этом внесение удобрения Basacote Plus 6M способствовало наибольшему в эксперименте увеличению урожайности плодов на 138 % по сравнению с контролем. Несколько меньшим ее увеличением (на 112 %) характеризовался вариант опыта с использованием 5%-ного МаКлоР и абсолютно неэффективными в этом плане оказалось применение его в 10%-ной концентрации как, впрочем, и препарата Экогум-комплекс.

Во второй год испытания агроприемов в условиях прохладного и дождливого сезона 2020 г. в Смолевичском районе размерные параметры плодов раннеспелого и позднеспелого сортов клюквы изменялись по вариантам опыта в сходных с предыдущим сезоном диапазонах по длине – 1,69–1,84 и 1,54–1,70 см, но по диаметру оказались смещенными в область более высоких значений – 1,50–1,64 и 1,32–1,40 см (см. табл. 1). При этом они характеризовались более значительной средней массой при сохранении установленного в предыдущем сезоне отставания сорта *Stevens* от сорта *Ben Lear* по данному показателю – 1,05–1,23 г против 1,40–1,85 г. В более северном Докшицком районе, как и годом ранее, плоды сорта *Stevens* несколько уступали своим экспериментальным аналогам в Смолевичском районе по линейным параметрам и средней массе, составлявшим соответственно 1,36–1,44 см, 1,06–1,25 см и 0,66–0,90 г.

Урожайность плодов раннеспелого сорта клюквы варьировалась в рамках эксперимента в области более высоких, чем годом ранее значений – от 983,4 до 1308,5 г/растение, но при этом более низких у позднеспелого сорта – от 717,3 до 971,7 г/растение, что свидетельствовало о существенном влиянии не только испытываемых агроприемов, но и гидротермического режима сезона. Вместе с тем, как и годом ранее, урожайность сорта *Stevens* в Докшицком районе примерно вдвое уступала таковой в Смолевичском при наибольших различиях на фоне применения органических удобрений (см. табл. 1).

Во втором прохладном и дождливом сезоне использование удобрений оказало менее выраженное, чем годом ранее влияние на размерные параметры плодов опытных растений (см. табл. 2). Так, в Смолевичском районе у сорта *Ben Lear* только внесение минерального удобрения Basacote Plus 6M способствовало увеличению их средней длины на 9 % по сравнению с контролем, тогда как у сорта *Stevens* при использовании 10%-ного МаКлоР, напротив, наблюдалось ее уменьшение на 8 %. При этом большинство испытываемых агроприемов оказало преимущественно негативное влияние на среднюю массу плодов клюквы, что подтверждалось достоверным ее снижением у раннеспелого сорта на 9–10 % при применении Экогум-комплекса и 10%-ного МаКлоР, и лишь внесение Basacote Plus 6M обеспечило увеличение данного показателя на 19 % относительно контроля. Что касается позднеспелого сорта, то для него было показано уменьшение средней массы плодов на 9–13 % только при использовании всех видов органических удобрений при отсутствии достоверного влияния на данный показатель минерального удобрения. В Докшицком же районе наблюдалась противоположная картина – увеличение средней массы плодов сорта *Stevens* на 32 % относительно контроля на фоне внесения минерального удобрения и отсутствие достоверного влияния на нее органических.

Вместе с тем, как и в предыдущем сезоне, в Смолевичском районе усиление минерального питания опытных растений способствовало увеличению урожайности плодов обоих сортов клюквы, но при заметно меньшей степени данного увеличения (см. табл. 2). Так, у раннеспелого сорта превышение ее контрольного уровня составило лишь 6–33 %, у позднеспелого – 20–36 % при наибольших значениях у обоих таксонов на фоне внесения минерального удобрения. Заметим, что в Докшицком районе только в последнем случае имело место увеличение урожайности плодов сорта *Stevens* относительно контроля на 32 % при отсутствии достоверных различий с ним при применении органических удобрений.

Показанные выше генотипические, межсезонные и межрегиональные различия в степени влияния испытываемых агроприемов на продуктивность опытных растений не позволяют выявить наиболее эффективные среди них в плане получения максимальной урожайности плодов. На наш взгляд, наиболее объективное представление об этом можно составить на основе повариантного сравнения суммарной за два года прибавки урожайности опытных растений, интегрирующей в себе влияние на продукционный процесс биотических и абиотических факторов (табл. 3). Установлено, что в Смолевичском районе все испытываемые агроприемы способствовали ее увеличению при наибольшей, причем сходной у обоих сортов результативности внесения минерального удобрения Basacote Plus 6M и обработок Экогум-комплексом, тогда как в Докшицком районе наряду с минеральным наиболее эффективным было использование уступавшего ему в этом плане в 1,5 раза 5%-ного МаклоР при отсутствии влияния на продуктивность позднеспелого сорта Экогум-комплекса и 10%-ного МаклоР.

Выводы. В результате сравнительного исследования в контрастные по погодным условиям сезоны 2019 и 2020 гг. в опытной культуре на рекультивируемых участках торфяных месторождений в Смолевичском (Минская обл.) и Докшицком (Витебская обл.) районах влияния минерального (Basacote Plus 6M) и органических (Экогум-комплекс, 5- и 10%-ный МаклоР) удобрений на биометрические и биопродукционные характеристики генеративных органов пятилетних растений раннеспелого *Ben Lear* и позднеспелого *Stevens* сортов клюквы крупноплодной установлены существенные межрегиональные, генотипические и межвариантные различия их ответной реакции на испытываемые агроприемы. В первый год исследований, характеризовавшийся повышенным температурным фоном и обилием осадков, выявлено стимулирующее действие удобрений на морфометрические и продукционные характеристики плодов клюквы, наиболее выраженное у раннеспелого сорта, у которого наблюдалось увеличение их размеров на 8–12 % в длину и на 6–8 % в ширину по сравнению с контролем исключительно при использовании органических удобрений, тогда как у позднеспелого сорта увеличение диаметра плодов на 10 % выявлено только при внесении МаклоР. Все виды удобрений обеспечивали увеличение средней массы плодов на 11–29 % и урожайности на 20–124 % при наибольшей эффективности Экогум-комплекса и Basacote Plus 6M. В условиях более северного Докшицкого района только внесение минерального удобрения способствовало увеличению у сорта *Stevens* средних размеров и массы плодов (соответственно на 15–17 и 52 %) и обеспечивало более значительное, нежели при использовании 5%-ного МаклоР, увеличение урожайности (на 138 % против 112 %) при абсолютной неэффективности в этом плане 10%-ного МаклоР и Экогум-комплекса.

Умеренно прохладная и дождливая погода сезона 2020 г. способствовала существенному ослаблению влияния испытываемых агроприемов на морфометрические и биопродукционные характеристики плодов клюквы. При этом в Смолевичском районе у раннеспелого сорта установлено преимущественное снижение относительно контроля их средней массы на 9–10 % при применении Экогум-комплекса и 10%-ного МаклоР, а ее увеличение на 19 % лишь при внесении Basacote Plus 6M. У позднеспелого сорта наблюдалось уменьшение средней массы плодов на 9–13 % только при использовании всех видов органических удобрений, тогда как в Докшицком районе у него выявлена противоположная картина – увеличение данного показателя на 32 % на фоне внесения минерального удобрения и отсутствие влияния на него органических удобрений. При этом прибавка урожайности плодов в 3–18 раз уступала таковой в предыдущем сезоне и составляла у раннеспелого сорта лишь 6–33 %, у позднеспелого – 20–36 % при наибольших значениях на фоне внесения минерального удобрения, обеспечившего в Докшицком районе у сорта *Stevens* увеличение урожайности плодов лишь на 32 % при отсутствии достоверного влияния на нее органических удобрений.

Таблица 3. Суммарная за два года (2019 и 2020 гг.) прибавка урожайности плодов *Oxycoccus macrocarpus* в вариантах полевого опыта с внесением удобрений по сравнению с контролем, %

Вариант опыта	сорт <i>Ben Lear</i>	сорт <i>Stevens</i>
Смолевичский р-н Минской обл.		
2	139,4	133,9
3	125,0	145,3
4	59,6	118,0
5	51,3	44,5
Докшицкий р-н Витебской обл.		
2	–	169,6
3	–	–
4	–	111,5
5	–	–

На основании повариантного сравнения в двухлетнем цикле наблюдений размеров прибавки урожайности плодов клюквы при использовании удобрений установлено, что в Смолевичском районе все испытываемые агроприемы способствовали ее увеличению при наибольшей, причем сходной у обоих сортов, результативности внесения минерального удобрения Basacote Plus 6M и обработок Экогум-комплексом, тогда как в Докшицком районе, наряду с минеральным, наиболее эффективным было использование уступавшего ему в этом плане в 1,5 раза 5%-ного МаклоРа при отсутствии влияния на продуктивность позднеспелого сорта Экогум-комплекса и 10%-ного МаклоР.

Список использованных источников

1. *Алещенкова, З.М.* Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений / З.М. Алещенкова // Наука и инновации. – 2015. – №8 (150). – С. 66–67.
2. Микробный препарат АгроМик для стимуляции роста и развития тритикале / Е.А. Соловьева [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр. / Ин-т микробиол. НАН Беларуси, Белорус. респ. фонд фундаментальных исслед., Белорус. общ. объединение микробиол.; под ред. Э.И. Коломиец, А.Г. Лобанка. – Минск: Беларуская навука, 2013. – С. 331–342.

Поступила 08.07.2021

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 582.32(4-11); 574.91

О. М. Масловский

*Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь,
e-mail: oleg.maslovsky@tut.by*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ СТРУКТУР БРИОФЛОРИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ БЕЛАРУСИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы регионального географического анализа флористических комплексов мохообразных. Исследования проводились на территории Беларуси и Восточной Европы на основе картирования по 390 квадратам (100×100 км). На территории республики выделены 4 субрегиона (бореально-прибалтийский, бореально-таежный, неморально-западный и неморально-центральный), дана сравнительная характеристика географических элементов мохообразных для каждого субрегиона. Исследования показали, что географические структуры бриофлористических комплексов Беларуси показывают, с одной стороны, их тесную связь с соответствующими бриофлорами субрегионов, а с другой – ярко выраженную специфичность между собой, особенно относящихся к разным природным регионам. Более тесные связи с основными частями субрегионов отмечаются для территории неморальной зоны, в меньшей – бореальной. В целом можно сделать вывод, что в пределах Беларуси мохообразные не формируют единую бриофлору, а представлены четырьмя взаимодействующими фрагментами более обширных бриофлор определенных регионов (бореального и неморального) и субрегионов (бореально-прибалтийского, бореально-таежного, неморально-западного и неморально-центрального).

Ключевые слова: мохообразные, бриофлора, Беларусь, Восточная Европа, географический анализ

O. M. Maslovsky

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: oleg.maslovsky@tut.by*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GEOGRAPHICAL STRUCTURES OF THE BRYOFLORESTIC COMPLEXES OF BELARUS

Abstract. The article considers the issues of the regional geographical analysis of bryofloristic complexes of the Belarus. The studies were made in Belarus and Eastern Europe on the basis of mapping on 390 squares (100×100 km). Four subregions (boreal-baltic, boreal-taiga, nemoral-western and nemoral-central) are distinguished in the Belarus, the distribution of species of bryophytes was characterized, results of the geographic analysis for each subregion were presented. Studies have shown that the geographical structures of the bryofloristic complexes of Belarus show, on the one hand, their close relationship with the respective bryofloras of the subregions, and on the other hand, a pronounced specificity among themselves, especially those related to different natural regions. Closer ties with the main parts of the subregions show the territories of the nemoral zone, in a smaller one - the boreal zone. In general, it can be concluded that on the territory of Belarus bryophytes do not form a single bryoflora, but are represented by 4 interacting fragments of larger bryofloras of the regions (boreal and nemoral) and subregions (boreal-Baltic, boreal-taiga, nemoral-western and nemoral-central).

Keywords: bryophytes, bryoflora, Belarus, Eastern Europe, geographical analysis

A. M. Masloўski

*Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: oleg.maslovsky@tut.by*

ПАРАЎНАЛЬНЫ АНАЛІЗ ГЕАГРАФІЧНАЙ СТРУКТУРЫ БРЫЯФЛАРЫСТЫЧНЫХ КОМПЛЕКСАЎ БЕЛАРУСІ

Анатацыя. У артыкуле разгледжаны пытанні геаграфічнага аналізу фларыстычных комплексаў мохападобных. Даследаванні праводзіліся на тэрыторыі Беларусі і Усходняй Еўропы на аснове карціравання па 390 квадратах (100×100 км). У рэспубліцы вылучаны 4 субрэгіёны (барэальна-прыбалтыйскі, барэальна-тайговы, неморальна-заходні і неморальна-цэнтральны), дадзена характарыстыка геаграфічных элементаў мохападобных для кожнага субрэгіёну. Даследаванні паказалі, што геаграфічныя структуры брыяфларыстычных комплексаў Беларусі паказваюць, з аднаго боку, іх цесную сувязь з адпаведнымі брыяфлорамі субрэгіёнаў, а з другога – ярка выяўленую спецыфічнасць паміж сабой, асабліва якія адносяцца да розных прыродных рэгіёнаў. Больш цесныя сувязі з асноўнымі часткамі субрэгіёна паказваюць тэрыторыі неморальнай зоны, у меншай ступені – барэальнай. У цэлым можна зрабіць выснову, што на тэрыторыі Беларусі мохападобныя не фарміруюць адзіную брыяфлору, а прадстаўленыя чатырма узаемадзейнымі фрагментамі больш шырокіх брыяфлор рэгіёнаў (барэальнага і неморальнага) і субрэгіёнаў (барэальна-прыбалтыйскага, барэальна-тайговага, неморальна-заходняга і неморальна-цэнтральнага).

Ключавыя словы: мохападобныя, брыяфлора, Беларусь, Усходняя Еўропа, геаграфічны аналіз

Введение. В процессе исследования мохообразных Беларуси было проанализировано распространение бриофитов на территории Восточной Европы по квадратам [1] согласно биогеографическому районированию Европы [2], в рамках пяти биогеографических регионов:

арктический, альпийский, бореальный, неморальный и аридный. Внутри этих регионов, согласно детализированной биогеографической карте Европы [3], был идентифицирован ряд субрегионов, отражающих влияние Атлантики и других климатических особенностей.

В своей предыдущей работе [4] мы проанализировали таксономическое разнообразие мохообразных на территории Беларуси. Ее бриофлора [5, 6] насчитывает около 470 видов и разновидностей, из которых бриевые мхи – 331, сфагновые – 36, андреевые мхи – 1, печеночники (маршанциевые и юнгерманниевые) – 101, антоцеротовые – 2 вида. На территории республики представлены фрагменты четырех субрегионов (бореально-прибалтийского, бореально-таежного, неморально-западного и неморально-центрального). Предыдущие исследования показали [4], что каждый субрегион в бриоботаническом отношении, несмотря на территориальную и природную близость, характеризуется достаточно высокой видовой специфичностью. Лишь только 53 % видов мохообразных на территории Беларуси представлены во всех четырех субрегионах, а 60 видов (или 12,8 %) – лишь в одном субрегионе. Более тесные связи в таксономическом отношении с основными частями субрегионов показывают территории неморальной зоны, в меньшей – бореальной.

В настоящей работе впервые рассмотрены особенности географической структуры бриофлористических комплексов Беларуси в системе бриофлор Восточной Европы, специфичность состава и степени представительства отдельных географических элементов мохообразных в бриофлористических комплексах в Беларуси и прилегающих территориях.

Материалы и методы. Полевые бриофлористические исследования проводились автором с 1985 г. по общепринятым ботаническими методикам на территории Беларуси и в ряде регионов Восточной Европы (Литва, Карпаты, Крым, Предуралье, Центрально-лесной заповедник, Апатиты и др.). Картирование мохообразных осуществлялось на основании обработки литературных источников и материалов полевых исследований по 390 квадратам примерно 100×100 км. Материалы заносились в специализированные базы данных. Анализ результатов осуществлялся с помощью оригинальных компьютерных программ (разработанных П. А. Родионовым совместно с О. М. Масловским), на основании которых построен электронный атлас распространения мохообразных в Восточной Европе.

Территория Восточной Европы подразделена на следующие регионы и субрегионы [1] (рис. 1): арктический (ARC); альпийский (ALP), включая APL1 (запад Кольского полуострова), ALP2 (Урал), ALP3 (Карпаты), ALP4 (северные предгорья Кавказа); бореальный (BOR), включая BOR-KAR (Карелия), BOR-PRI (страны Балтии, северо-запад Беларуси и северо-запад Российской Федерации), BOR-TAI (северо-восток Беларуси и большая часть таежной зоны Российской Федерации); неморальный (NEM), который подразделяется на западный (NEM-ZAP), центральный (NEM-CEN) и восточный (NEM-EAS) субрегионы; аридный (ARI), включая западный (ARI-STR) и прикаспийский (ARI-CAS) субрегионы; черноморский (BLS).

Республика Беларусь расположена на территории двух регионов (бореальный и неморальный) и четырех субрегионов: бореально-прибалтийский (BOR-PRI), бореально-таежный (BOR-TAI), неморально-западный (NEM-ZAP) и неморально-центральный (NEM-CEN).

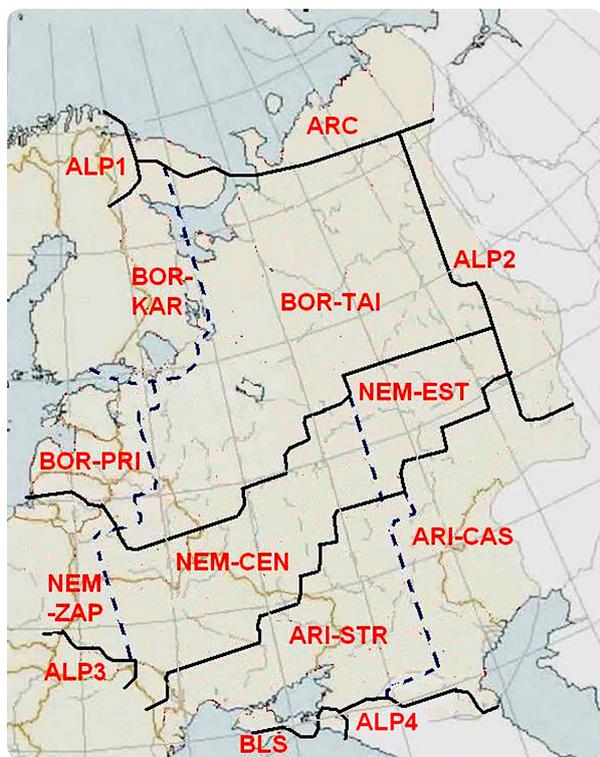


Рис. 1. Биогеографические регионы и субрегионы Восточной Европы

В настоящей работе рассматриваются только широтные элементы флоры. Система географических элементов отражает современное распространение видов по всему ареалу. Количественные оценки приводятся на основе данных по территории Восточной Европы. Дополнительные исследования на территории всей Европы и других континентов дадут возможности для коррекции количественных показателей для конкретных видов. В целом система географических элементов бриофлор Восточной Европы может быть представлена следующим образом (рис. 2).

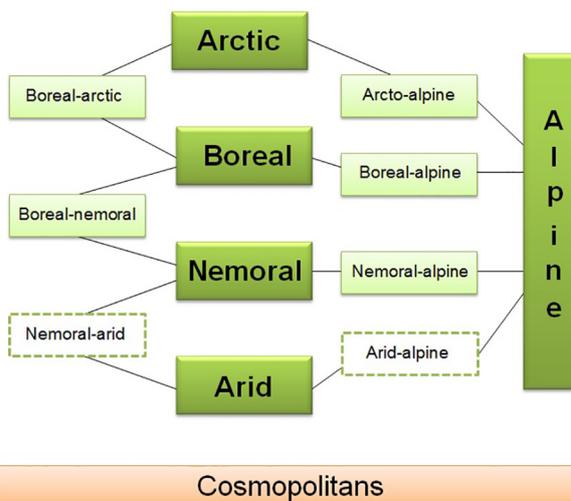


Рис. 2. Система географических элементов мохообразных Восточной Европы [7]

Согласно биогеографическому районированию регионов Европы [6, 7], мы выделили 5 базовых геоэлементов мохообразных в Восточной Европе: арктический, альпийский, бореальный, неморальный, аридный, а также группы космополитов. Мы разделили также некоторые дополнительные промежуточные элементы: аркто-альпийский, бореально-альпийский, бореально-арктический, бореально-неморальный, неморально-альпийский.

Два промежуточных элемента (неморально-аридный и аридно-альпийский), а также субтропические бриофиты в этой работе не рассматриваются, поскольку они требуют дополнительных исследований за пределами региона.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенный сравнительный анализ географических структур мохообразных четырех субрегионов (бореально-прибалтийский, бореально-таежный, неморально-западный и неморально-центральный) в целом и их частей на территории Беларуси позволил выявить ряд особенностей в географическом отношении.

Бореально-прибалтийский субрегион. В географической структуре (рис. 3) субрегиона как в целом, так и его фрагменте на территории Беларуси преобладают бореальные виды (46 и 51 % соответственно), бореально-неморальные (18 и 27 %), неморальные (10 и 11 % соответственно). Несмотря на более значительное представительство промежуточного бореально-неморального геоэлемента в Беларуси и преобладание бореально-альпийского в субрегионе в целом в силу специфики физико-географических условий обращает на себя внимание одинаковое на обеих территориях соотношение неморальных и бореальных видов по 1:4,6, что свидетельствует о близости сравниваемых бриофлористических структур.

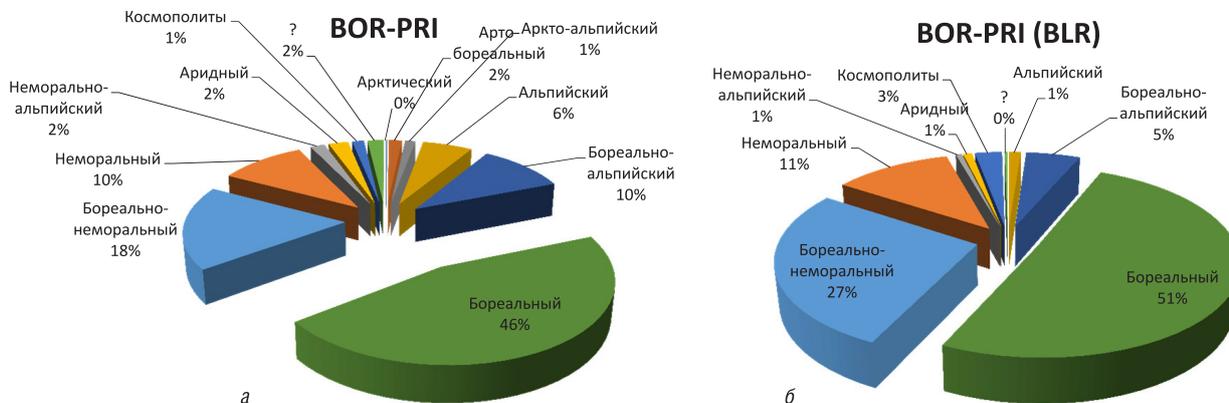


Рис. 3. Географические структуры бриофлор Бореально-Прибалтийского субрегиона в целом (а) и его фрагмента на территории Беларуси (б)

Бореально-таежный субрегион. В географической структуре (рис. 4) субрегиона как в целом, так и его фрагменте на территории Беларуси преобладают бореальные виды (40 и 52 % соответственно), бореально-неморальные (16 и 29 %), неморальные (9 и 10 % соответственно). Основное отличие в географической структуре бореально-таежного субрегиона заключается в более широком представительстве аркто-бореальных, аркто-альпийских, альпийских и бореально-альпийских видов, что связано со спецификой физико-географических условий и отсутствием на территории Беларуси горных массивов. Тем не менее соотношение неморальных и бореальных видов составляет 1:4,4 (для субрегиона в целом) и 1:5,2 (для территории Беларуси), что в целом характерно для бореальных бриофлор и свидетельствует о близости сравниваемых бриофлористических структур.

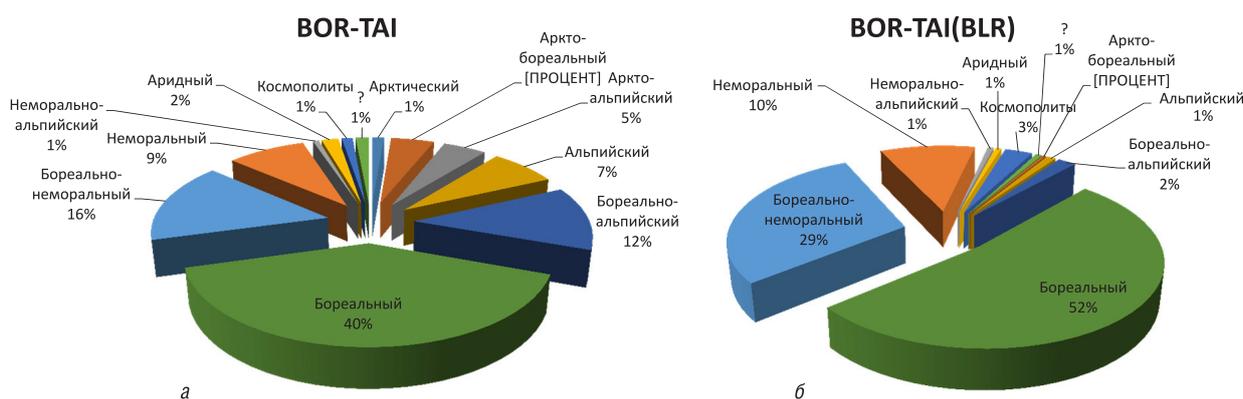


Рис. 4. Географические структуры бриофлор бореально-таежного субрегиона в целом (а) и его фрагмента на территории Беларуси (б)

Неморально-западный субрегион. В географической структуре (рис. 5) субрегиона как в целом, так и его фрагменте на территории Беларуси преобладают бореальные виды (41 и 45 % соответственно), однако их доля минимальна. Бореально-неморальных мохообразных – 20 и 27 %, неморальных – 13 и 16 % соответственно. Соотношения неморальных и бореальных видов в этом субрегионе имеют достаточно высокие значения 1:3,2 (для субрегиона в целом) и 1:2,8 (для территории Беларуси), что в целом характерно для неморальных бриофлор и свидетельствует о значительной близости сравниваемых бриофлористических структур.

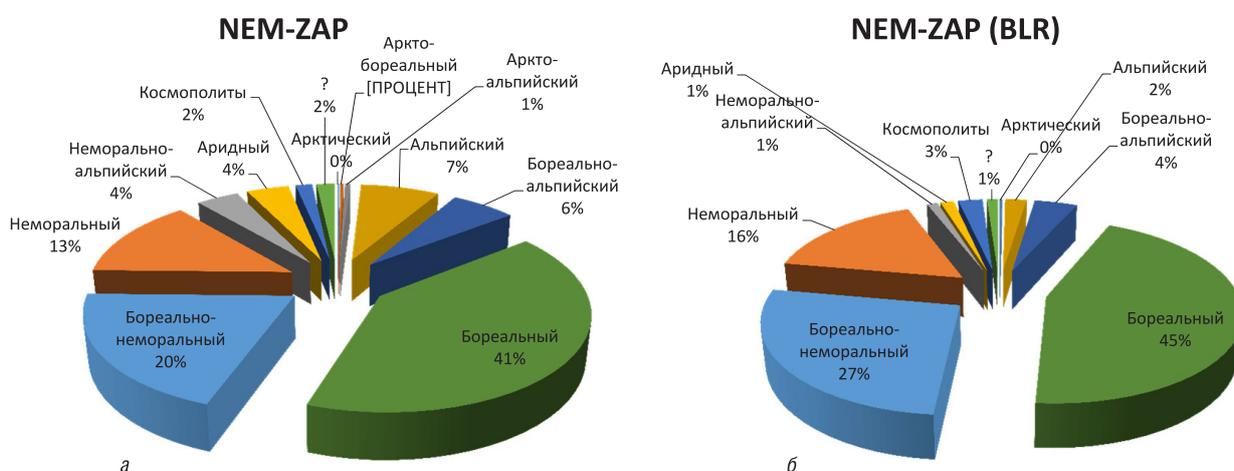


Рис. 5. Географические структуры бриофлор неморально-западного субрегиона в целом (а) и его фрагмента на территории Беларуси (б)

Неморально-центральный субрегион. В географической структуре (рис. 6) субрегиона как в целом, так и его фрагмента на территории Беларуси преобладают бореальные виды (39 и 46 % соответственно), однако их доля минимальна. Бореально-неморальных мохообразных – 19 и 28 %, неморальных – 14 и 16 % соответственно. Соотношение неморальных и бореальных видов в этом субрегионе имеет самые высокие значения 1:2,8 (для субрегиона в целом) и 1:2,88 (для территории Беларуси), что в целом характерно для неморальных бриофлор и свидетельствует о максимальной близости сравниваемых бриофлористических структур.

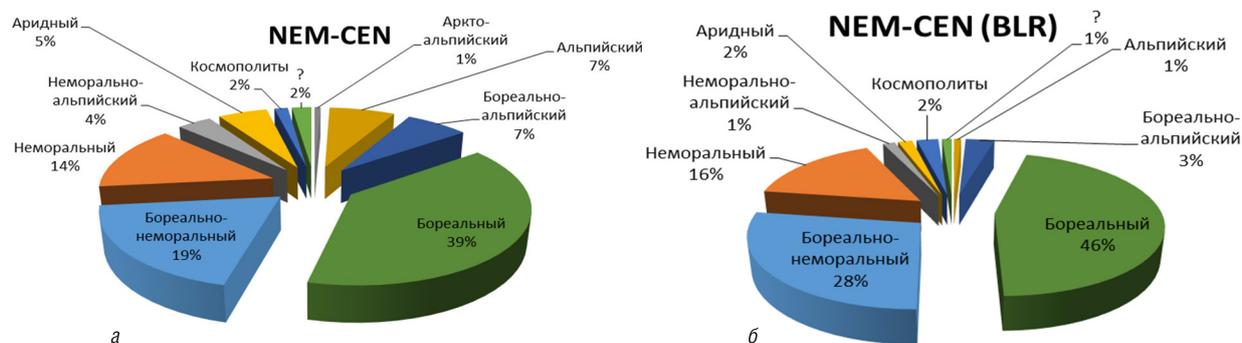


Рис. 6. Географические структуры бриофлор неморально-центрального субрегиона в целом (а) и его фрагмента на территории Беларуси (б)

Закключение. Как показали исследования, несмотря на тесные природную и пространственную близость субрегионов на территории Беларуси, они характеризуются достаточно высокой специфичностью. Более тесные связи с основными частями субрегионов показывают территории неморальной зоны, в меньшей – бореальной.

Географические структуры бриофлористических комплексов Беларуси демонстрируют, с одной стороны, их тесную связь с соответствующими бриофлорами субрегионов, а с другой – ярко выраженную специфичность между собой, особенно относящихся к разным регионам. Представляется интересным соотношение основных географических элементов в бореальном и неморальном регионах. Данное соотношение, на наш взгляд, в большей степени отражает специфику бриофлор, поскольку здесь в определенной степени нивелируются отличия, связанные с наличием или отсутствием горных образований на той или иной территории.

В целом можно сделать вывод, что на территории Беларуси мохообразные не формируют единую бриофлору, а представлены четырьмя взаимодействующими фрагментами более обширных бриофлор регионов (бореального и неморального) и субрегионов (бореально-прибалтийского, бореально-таежного, неморально-западного и неморально-центрального).

Список использованных источников

1. Maslovsky, O. Atlas of rare and threatened bryophytes of Eastern Europe as candidates to new European Red List / O. Maslovsky. – Minsk: Belarus. nauka, 2017. – 100 p.
2. Biogeographic regions in Europe. – 2011. – European Environment Agen.
3. Biogeographic Map of Europe: S. Rivas-Martínez, A. Penas & T.E. Díaz, 2004, March, 4. – Cartographic Service. – University of León, Spain, 2004.
4. Масловский, О.М. Сравнительный анализ видового биоразнообразия бриофлористических комплексов Беларуси / О.М. Масловский // Природные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 62–69.
5. Рыковский, Г.Ф. Флора Беларуси. Мохообразные / Г.Ф. Рыковский, О.М. Масловский. – Т. 1. – Минск: Тэхналогія, 2004. – 437 с.
6. Рыковский Г.Ф. Флора Беларуси. Мохообразные / Г.Ф. Рыковский, О.М. Масловский. – Т. 2. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 213 с.
7. Масловский, О.М. Альпийский (монтанный) геоэлемент бриофлоры Беларуси / О.М. Масловский // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2020. – Вып. 49. – С. 99–109.

Поступила 08.06.2021

П. Ю. Лобановская, Л. Н. Акимова

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: lobanovskaya_polina@inbox.ru

ЛИЧИНОЧНАЯ СТАДИЯ НЕМАТОД *ELAPHOSTRONGYLUS CERVI* (NEMATODA: PROTOSTRONGYLIDAE) НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Аннотация. При обследовании биоматериала в 2019 г. от оленей благородных, обитающих на территории вольеров Вилейской, Жлобинской, Любанской, Светлогорской и Калинковичской районных организационных структур, нами выявлены личинки нематод первой стадии семейства Protostrongylidae Leiper, 1926. На основании морфометрических характеристик личинок и их специфичности к хозяину обнаруженные нами гельминты могут быть отнесены к виду *Elaphostrongylus cervi* Cameron, 1931. Нематоды *Elaphostrongylus cervi* паразитируют в мозге и межмышечной соединительной ткани оленей, вызывая заболевание элафостронгилез, которое относится к числу наиболее патогенных для копытных.

Ключевые слова: *Elaphostrongylus cervi*, Protostrongylidae, гельминты, нематоды, личиночная стадия, гельминтозы, дикие копытные

P. Y. Labanouskaya, L. N. Akimova

Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources, Minsk, Belarus, e-mail:
lobanovskaya_polina@inbox.ru

LARVAL STAGE OF *ELAPHOSTRONGYLUS CERVI* (NEMATODA: PROTOSTRONGYLIDAE) IN THE TERRITORY OF BELARUS

Abstract. The aim of the study was species identification of nematodes from the family Protostrongylidae parasitizing on red deer from enclosures of the Vileiskaya, Zhlobin, Lyubanskaya Svetlogovskaya and Kalinkovichi regional organizational structures. From the material collected in 2019, morphometric characteristics of larvae were used for species identification. As a result, we identified nematodes belonging to *Elaphostrongylus cervi* Cameron, 1931. The species parasitize in the brain and intermuscular connective tissue of red deer, causing the disease elaphostrongylosis, known as one of the most pathogenic for ungulates.

Keywords: *Elaphostrongylus cervi*, Protostrongylidae, helminths, nematodes, larval stage, helminthiasis, wild ungulates

П. Ю. Лобаноўская, Л. М. Акімава

Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь, e-mail:
lobanovskaya_polina@inbox.ru

ЛІЧЫНАЧНАЯ СТАДЫЯ НЕМАТОД *ELAPHOSTRONGYLUS CERVI* (NEMATODA: PROTOSTRONGYLIDAE) НА ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ

Анатацыя. Пры абследаванні біяматэрыялу ў 2019 г. ад аленяў высакародных, якія жывуць на тэрыторыі вальераў Вілейскай, Жлобінскай, Любанскай, Светлагорскай і Калінкавіцкай раённых арганізацыйных структур, намi выяўлены лічынкi нематод першай стадыі сямейства Protostrongylidae Leiper, 1926. На падставе морфаметрычных характарыстык лічынак і іх спецыфічнасці да гаспадара выяўленыя намi гельмінты могуць быць аднесены да віду *Elaphostrongylus cervi* Cameron, 1931. Нематоды *Elaphostrongylus cervi* паразітуюць у мозгу і міжмышачнай злучальнай тканцы аленяў, выклікаючы захворванне элафастрангілез, якое адносіцца да ліку найбольш патогенных для капытных.

Ключавыя словы: *Elaphostrongylus cervi*, Protostrongylidae, гельмінты, нематоды, лічынкавая стадыя, гельмінтозы, дзікія капытныя

Введение. В Беларуси большое внимание уделяется вопросам охраны природы и использованию животных ресурсов. Одним из аспектов этой проблемы является сохранение диких копытных, увеличение их численности и обогащение их видового состава в отдельных регионах [1].

На динамику численности животных большое влияние оказывают различные заболевания, в том числе гельминтозы. Гельминты могут наносить охотничьим хозяйствам весьма ощутимый ущерб, так как по мере нарастания численности копытных животных увеличивается и их зараженность паразитами [2–4].

К числу наиболее патогенных гельминтозов промысловых животных относятся протостронгилидозы, которые имеют широкое распространение среди диких копытных [5]. Возбудителями протостронгилидозов являются нематоды семейства Protostrongylidae Leiper, 1926. Это тонкие волосовидные нематоды, локализующиеся в дыхательной и кровеносной системах, а также в головном и спинном мозге парнокопытных, реже представителей других отрядов животных [6].

Они являются яйцеродящими, личинки появляются в организме хозяина и во внешнюю среду выделяются с фекалиями. Данные нематоды являются биогельминтами, жизненный цикл которых проходит с обязательным участием промежуточных хозяев – наземных моллюсков, также в этой роли могут выступать и водные гастроподы, в которых развитие инвазионной стадии личинок протостронгилид удлинняется по сравнению с наземными. В моллюсках неинвазионные личинки первой стадии дважды линяют и становятся инвазионными (без промежуточных хозяев личинки не могут стать инвазионными). Расселение моллюсков в конкретных системах (в стоячих или проточных водоемах, на пастбищах и т. п.) придает своеобразие природным очагам соответствующих гельминтозов, в частности протостронгилидозов. Определяющим звеном в заражении диких животных представителями семейства Protostrongylidae является обилие наземных моллюсков и их инвазированность данными личинками в биоценозах.

Согласно литературным данным, на территории Восточной Европы зарегистрированы представители 16 видов семейства Protostrongylidae [6–8], из которых 11 видов отмечены на территориях, прилегающих к Беларуси стран – Литвы, Польши, России и Украины: 6 видов протостронгилид характерны для мелких копытных животных, а также домашних овец и коз – *Protostrongylus rufescens* (Leuckart, 1865), *P. davtiani* Savina, 1940, *P. raillieti* (Schulz, Orlow & Kutass, 1933), *Cystocaulus ocreatus* (Railliet & Henry, 1907), *Muellerius capillaris* (Muller, 1889), *Neoststrongylus linearis* (Marotel, 1913); еще 5 видов характерны для остальных копытных животных – *Varestrongylus alces* (Steen, Chabaud & Reh binder, 1989), *V. capreoli*, *V. sagittatus* (Mueller, 1890), *Elaphoststrongylus cervi* Cameron, 1931, *E. panticola* Lubimov, 1945.

На территории Беларуси на сегодняшний день зарегистрировано 4 вида протостронгилид: *V. capreoli*, *M. capillaris*, *E. panticola* и *P. rufescens*, еще один вид определен на уровне рода *Protostrongylus*, также есть данные об обнаружении нематод, для которых указана только принадлежность к семейству Protostrongylidae [9].

Для нематод *E. cervi*, являющихся объектом наших исследований, в половозрелой стадии характерна локализация в соединительной ткани между мышцами, а также в тканях головного и спинного мозга. Из отложенных самками яиц выходят личинки, которые проникают в кровеносные сосуды и, мигрируя по малому кругу кровообращения, попадают в легкие, где проникают в бронхи, а затем с бронхиальной слизью попадают в пищеварительный тракт и выделяются наружу [6]. Данный вид нематод сложно выявляется на половозрелой стадии из-за его локализации. Обнаружить личинок первой стадии при капроларвоскопии гораздо проще. Однако личинок данного вида необходимо правильно дифференцировать от морфологически схожих личинок близкородственных видов [10]. В связи с этим цель наших исследований – установить наличие вида *E. cervi* семейства Protostrongylidae на стадии неинвазивной личинки на территории Беларуси.

Материал и методы. Исследования проводились в марте и апреле 2019 г. на территории вольеров Вилейской, Жлобинской, Любанской и Светлогорской районных организационных структур (РОС), куда были завезены олени благородные (*Cervus elaphus* Linnaeus, 1758 семейства Cervidae Goldfuss, 1820) из Литвы, а также в вольерах Калинковичской РОС, используемых для разведения оленей. Всего за период исследований обследовано 510 проб фекалий (табл. 1). Также проведено неполное вскрытие внутренних органов от 5 оленей благородных. Для выявления личиночных стадий нематод использовали метод Вайда [11].

Результаты и их обсуждение. При обследовании проб фекалий нами выявлены личинки нематод семейства Protostrongylidae (рис. 1).

Личинки протостронгилид имеют характерно сформированный хвостовой конец тела, который загнут, и заканчивается шипиком,

Т а б л и ц а 1. Количество обследованного биоматериала (проб фекалий) от оленей

Вольеры	Количество проб		
	всего	март	апрель
Вилейская РОС	79	47	32
Жлобинская РОС	79	39	40
Любанская РОС	81	31	50
Светлогорская РОС	74	32	42
Калинковичская РОС № 1	61	31	30
Калинковичская РОС № 2	71	23	25
Калинковичская РОС № 3			23
Калинковичская РОС № 4	65	25	40
Итого	510	228	282



Рис. 1. Строение личинок первой стадии семейства Protostrongylidae из проб фекалий оленей (фото Л.Н. Акимовой): 1 – общий вид; 2 – строение хвостового конца

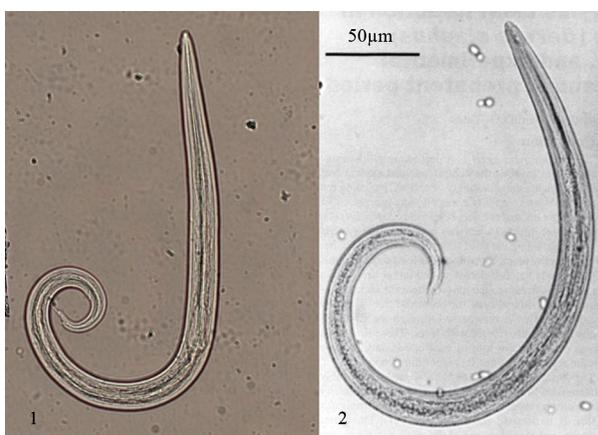


Рис. 2. Неинвазионные личинки первой стадии *Elaphostrongylus cervi* семейства Protostrongylidae из фекалий *Cervus elaphus*: 1 – в наших исследованиях, 2 – по Gajadhar et al., 1994 [12]

у некоторых личинок различим еще и дорзальный шипик (рис. 1, обозначено стрелкой). В англоязычной литературе такие личинки называются «spiny-tailed larvae», т. е. личинки с шипиком на хвосте, или «dorsal-spined larvae», т. е. личинки с дорзальным шипиком.

На рис. 2 приводятся фотографии внешнего вида личинок *E. cervi* от оленей благородных из наших исследований и других авторов [12].

На территории Европы личинки с шипиком на конце хвостового отдела, паразитирующие у копытных, относятся к 4 родам семейства Protostrongylidae – *Cystocaulus* Schulz, Orlov & Kutass, 1933; *Elaphostrongylus* Cameron, 1931; *Muellerius* Cameron, 1927; *Varestrongylus* Bhalerao, 1932. Представители всех указанных родов, кроме *Elaphostrongylus*, являются легочными паразитами. Нематоды родов *Cystocaulus* и *Muellerius* относятся к легочным паразитам мелкого рогатого скота, иногда коз, поэтому их обнаружение у оленей маловероятно. Также стоит отметить, что при проведении неполного вскрытия внутренних органов оленей благородных, половозрелых гельминтов в легких обнаружено не было.

Установлено, что личинок протостронгилид с шипиком на хвостовом конце можно дифференцировать до рода по размерным характеристикам [10]. На рис. 3 показаны различия в размерах неинвазионных личинок первой стадии семейства Protostrongylidae.

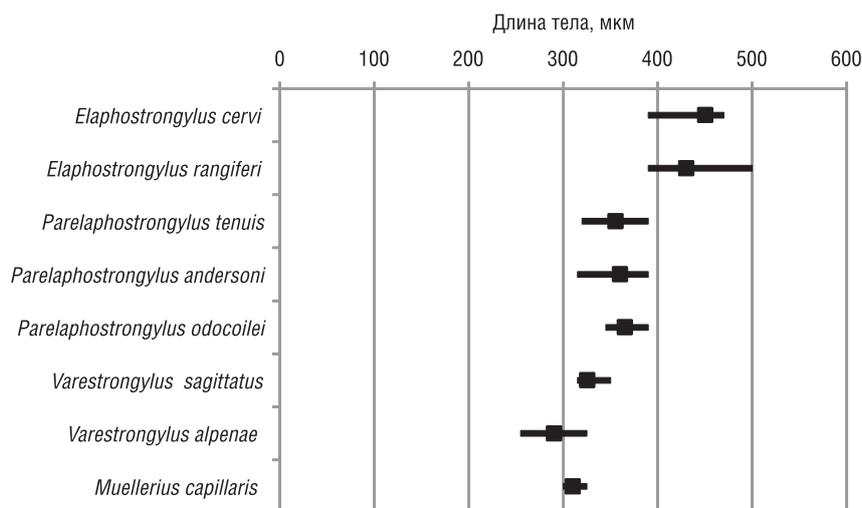


Рис. 3. Диапазон длины тела личинок первой стадии некоторых видов нематод семейства Protostrongylidae [10]

Как следует из рис. 3, личинки первой стадии рода *Elaphostrongylus*, в отличие от представителей других родов, имеют наибольшую длину тела.

В табл. 2 представлены данные разных авторов по замерам длины и ширины тела неинвазионных личинок первой стадии двух родов *Varestrongylus* и *Elaphostrongylus* семейства Protostrongylidae, паразитирующих у представителей Cervidae, а также приведены и наши данные.

Т а б л и ц а 2. Длина тела личинок первой стадии некоторых видов семейства Protostrongylidae, паразитирующих у оленей, у разных авторов

Авторы исследований	Длина тела (среднее), мкм	Ширина тела (среднее), мкм
<i>Varestrongylus alces</i> (Steen, Chabaud & Reh binder, 1989)		
Lankester et al., 1998 [13]	377–445 (417)	17–21 (19)
Verocai et al., 2014 [14]	221,5–373,7 (286,6)	12–29,36 (20,1)
<i>Varestrongylus capreoli</i> (Stroh & Schmid, 1938)		
Боев, 1975 [15]	255–341	10–17 (11–14)
Demiaszkiewicz, 1986 [16]	276–352 (314)	13–17 (15)
<i>Varestrongylus sagittatus</i> (Mueller, 1890)		
Cheatum, 1949 [17]	268,8–295,7 (281)	13,2–16,9 (15)
Боев, 1975 [15]	260–305	14–17 (14)
Demiaszkiewicz, 1986 [16]	280–339 (310)	12–16 (14)
<i>Varestrongylus alpenae</i> (Dikmans, 1935)		
Gray et al., 1985 [18]	260–320 (300)	–
<i>Elaphostrongylus alces</i> (Steen, Chabaud & Reh binder, 1989)		
Lankester et al., 1998 [13]	377–445 (417)	17–21 (19)
<i>Elaphostrongylus cervi</i> Cameron, 1931		
Panin, 1964 (вид определен как <i>E. panticola</i>) [19]	352–425	19–22
Barus, Blazek, 1973 [20]	342–408	18–20
Kutzer and Prosl, 1975 [21]	364–452 (407)	17–21
Hale, 1980 [22]	368–448 (412)	–
Demiaszkiewicz, 1986 [16]	382–463 (424)	16–24 (19)
Rezac, 1990 [23]	390–459 (422)	16–23 (19)
Lankester et al., 1998 [13]	392–445 (420)	17–22 (19)
Alberti et al., 2011 [24]	370–426 (395)	16–23 (18,5)
Verocai et al., 2014 [14]	392–445 (420)	17–22 (19)
<i>наши данные</i>	397–421 (407)	19
<i>Elaphostrongylus rangiferi</i> Mitskewich, 1958		
Мицкевич, 1958 [25]	349	15,9
Контримавичус и др., 1976 [26]	288–403	15–17
Lankester, Northcott, 1979 (вид определен как <i>E. cervi</i>) [27]	381–490 (426)	17–24 (20)
Lorentzen, 1979 [28]	(370–445) 421	18–22 (20)
Verocai et al., 2014 [14]	381–490 (426)	17–24 (20)

Согласно литературным данным [29], на территории Евразии существует три валидных вида рода *Elaphostrongylus*: *E. cervi* от благородных оленей и других видов рода *Cervus*, *E. rangiferi* от северных оленей (*Rangifer tarandus*) и *E. alces* от лосей (*Alces alces*) [30, 31]. На основании специфичности к хозяину и по морфометрическим характеристикам личинки, обнаруженные нами на территории вольеров, могут быть отнесены к виду *Elaphostrongylus cervi*. В дальнейшем для подтверждения видовой идентификации будут проведены молекулярно-генетические исследования.

Заключение. Поскольку в настоящий момент на территории нашей страны ведутся работы, направленные на увеличение численности диких копытных, в том числе и за счет завоза животных из других государств, есть вероятность попадания новых видов паразитов на территорию Беларуси. Поэтому на сегодняшний день актуальна проблема раннего выявления гельминтов на любых стадиях развития для принятия своевременных профилактических мер, которые позволят в дальнейшем предотвратить их распространение на территории Беларуси.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фертиков, В. И. Гельминты диких копытных Национального парка «Завидово» и лесной зоны России / В. И. Фертиков [и др.]; Ин-т паразитологии РАН, ГК «Завидово», А/К Интерпромбанк. – Тверь, 1999. – 80 с.
2. Рыковский, А. С. Формирование гельминтофауны диких копытных в условиях культурного ландшафта европейской части СССР / А. С. Рыковский // Труды ГЕЛАН. – 1974. – Т. 22. – С. 144–152.
3. Пиголкин, А. У. К гельминтофауне диких животных Ростовской области / А. У. Пиголкин [и др.] // Сб. науч. трудов СКЗНИВИ. – Новочеркасск, 1974. – С. 120–122.
4. Литвинов, В. Ф. Болезни диких животных и их профилактика / В. Ф. Литвинов // Природные заповедники и основные принципы их работы. – Минск: Ураджай, 1977. – С. 164–166.
5. Самойловская, Н. А. Фауна моллюсков – промежуточных хозяев личинок протостронгилид в национальном парке «Лосиный Остров» и Костромской лосиной ферме / Н. А. Самойловская // Ученые записки: электрон. науч. журн. Курск. гос. ун-та. – 2012. – Т. 2, №4 (24). – С. 1–4.
6. Гельминты диких копытных Восточной Европы / Я. Говорка [и др.]. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
7. Маклакова, Л. П. Легочные нематоды лося и зайца и особенности их циркуляции в условиях Подмосквья / Л. П. Маклакова // Легочные гельминтозы жвачных животных. – М.: Колос, 1981. – С. 32–48.
8. Маклакова, Л. П. Паразиты лося Палеарктики / Л. П. Маклакова, А. С. Рыковский // Систематика и биология паразитов: тр. Центра паразитологии; Т. 45. – М.: Наука, 2008. – С. 100–115.
9. Гельминты позвоночных животных и человека на территории Беларуси: каталог / Е. И. Бычкова [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 316 с.
10. Mason, P. C. *Elaphostrongylus cervi* – a review / P. C. Mason // Surveillance. – 1989. – Vol. 16, N 1. – P. 3–10.
11. Полоз, С. В. Методические рекомендации по ранней диагностике гельминтозов животных / С. В. Полоз, Д. Г. Юрченко. – Минск, 2015. – 51 с.
12. Gajadhar, A. A. Diagnosis of *Elaphostrongylus cervi* infection in New Zealand red deer (*Cervus elaphus*) quarantined in Canada, and experimental determination of a new extended prepatent period / A. A. Gajadhar, S. V. Tessaro, W. D. Yates // Can. Vet. J. – 1994. – Vol. 35, N 7. – P. 433–437.
13. Extra-mammalian larval stages of *Elaphostrongylus alces* (Nematoda: Protostrongylidae), a parasite of moose (*Alces alces*) in Fennoscandia / M. W. Lankester [et al.] // Can. J. Zool. – 1998. – Vol. 76. – P. 33–38.
14. Resurrection and redescription of *Varestrongylus alces* (Nematoda: Protostrongylidae), a lungworm of the Eurasian moose (*Alces alces*), with report on associated pathology / G. G. Verocai [et al.] // Parasites & Vectors. – 2014. – Vol. 7, N 1. doi: 10.1186/s13071-014-0557-8
15. Боев, С. Н. Основы нематодологии. Протостронгилиды / С. Н. Боев. – М.: Наука, 1975. – Т. 25. – 267 с.
16. Demiaszkiewicz, A. W. Laboratoryjna diagnostica różnicowo Protostrongylidow jeleniowatych / A. W. Demiaszkiewicz // Medycyna Weterynaryjna. – 1986. – Vol. 42, N 11–12. – P. 660–663.
17. Cheatum, E. L. A contribution to the life-history of the deer lungworm, *Leptostrongylus alpenae* (Nematoda: Metastrongylidae), with observations on its incidence and biology. PhD thesis. – University of Michigan; 1949.
18. *Varestrongylus alpenae* (Nematoda: Metastrongyloidea) in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) of Saskatchewan / J. B. Gray [et al.] // Can. J. Zool. – 1985. – Vol. 63. – P. 1449–1454.
19. Panin, V. Y. Susceptibility of molluscs to infection with larvae of *Elaphostrongylus panticola* Lubimov, 1945 / V. Y. Panin, O. I. Rusikova // Parasites of farm animals in Kazakhstan. – Alma-Ata: Akad. Nauk. Kazakh, 1964. – Vol. 111. P. 84–89.
20. Barus, V. Report on the finding of larval nematodes *Elaphostrongylus cervi* (Protostrongylidae) in the cranial cavity of a stag / V. Barus, K. Blazek // Folia Parasitologica. – 1973. – Vol. 20. – P. 279–280.
21. Kutzer, E. Zur Kenntnis von *Elaphostrongylus cervi* Cameron, 1931. I. Morphologie und Diagnose / E. Kutzer, H. Prosl // Wiener Tierärztliche Monatschrift. – 1975. – Vol. 62. – P. 258–266.
22. Hale, I. Development of *Elaphostrongylus cervi* Cameron, 1931 in the intermediate host. Ph. D. thesis. – Veterinärmedizinischen Universität Wien, Vienna, 1980.
23. Rezac, P. Diferencialni diagnostica larve 1 stadia hlistic *Varestrongylus sagittatus* a *Elaphostrongylus cervi* / P. Rezac // Veterinarstvi. – 1990. – Vol. 40. – P. 311–313.
24. Alberti, E. G. *Elaphostrongylus cervi* in a population of red deer (*Cervus elaphus*) and evidence of cerebrospinal nematodiasis in small ruminants in the province of Varese, Italy / E. G. Alberti // Journal of Helminthology. – 2011. – Vol. 85. – P. 313–318.
25. Мицкевич В. Ю. К расшифровке цикла развития *Elaphostrongylus rangiferi* nov. sp. от северного оленя / В. Ю. Мицкевич // Докл. Акад. наук СССР. – 1958. – Т. 119, №3. – С. 621–624.
26. Контримавичус, В. Л. Основы нематодологии. Том 26. Метастронгилезы домашних и диких животных / В. Л. Контримавичус, С. Л. Делимуре, С. Н. Боев. – М.: Наука, 1976. – 238 с.
27. Lankester, M. W. *Elaphostrongylus cervi* Cameron 1931 (Nematoda: Metastrongyloidea) in caribou (*Rangifer tarandus caribou*) of Newfoundland / M. W. Lankester, T. H. Northcott // Can. J. Zool. – 1979. – Vol. 57. – P. 1384–1392.
28. Lorentzen, G. The ecology of «reindeer brainworm» *Elaphostrongylus rangiferi* (Nematoda, Metastrongyloidea): the freeliving larval stage. Ph.D. thesis, University of Tromsø. – Tromsø, Norway, 1979.
29. Handeland, K. Aspects of the life cycle and pathogenesis of *Elaphostrongylus cervi* in red deer (*Cervus elaphus*) / K. Handeland, L. M. Gibbons, A. Skorping // Journal of Parasitology. – 2000. – Vol. 86, N 5. – P. 1061–1066.
30. Steen, M. Species of the genus *Elaphostrongylus* parasite of Swedish Cervidae. A description of *E. alces* n. sp. / M. Steen, A. G. Chabaud, C. Rehnbindler // Annales de Parasitologie Humaine et Comparee. – 1989. – Vol. 64. – P. 134–142.
31. Gibbons, L. M. Revision of the genus *Elaphostrongylus* Cameron (Nematoda, Metastrongyloidea) with particular reference to species of the genus occurring in Norwegian cervids / L. M. Gibbons, O. Halvorsen, G. Stuve // Zoologica Scripta. – 1991. – Vol. 20. – P. 15–26.

Поступила 12.10.2021

Е. А. Маслюков, В. С. Пашкович, М. А. Ханчевский*Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь,
e-mail: massl2001@yandex.by***ВЛИЯНИЕ ИНОЗИНА НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И РОСТ ЛУКА РЕПЧАТОГО**

Аннотация. Была проверена гипотеза о положительном воздействии пуринового нуклеозида инозина на прорастание растительных объектов. В ходе проведенной работы было оценено влияние растворов инозина в концентрациях 0,05–0,3 % на биометрические показатели прорастания семян лука репчатого сорта Штутгартер Ризен. Наилучшие показатели были выявлены в группах, пророщенных на 0,1- и 0,15%-ных растворах инозина.

Ключевые слова: пуриновые нуклеозиды, инозин, цитокинины, меристемальный рост, стимулирование роста корней

E. A. Maslyukov, V. S. Pashkovich, M. A. Khanchevskiy*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Minsk, Belarus,
e-mail: massl2001@yandex.by***THE STUDY OF THE INOSINE INFLUENCE ON THE SEED GERMINATION AND ONION GROWTH**

Abstract. In this study the hypothesis about the purine nucleoside inosine's positive effect on the plant objects germination was checked. In the course of the work, the effect of inosine solutions in samples of 0,05–0,3 % on biometric indicators of onion seeds of the Stuttgarter Riesen variety germination was evaluated. The best indicators were found in groups germinated in 0,1 and 0,15 % solutions of inosine.

Keywords: purine nucleosides, inosine, cytokinins, meristematic growth, stimulation of root growth

Я. А. Маслюкоў, В. С. Пашковіч, М. А. Ханчэўскі*Міжнародны дзяржаўны інстытут імя А. Д. Сахарова Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта, Мінск, Беларусь,
e-mail: massl2001@yandex.by***УПЛЫЎ ІНАЗИНА НА ПРАРАСТАННЕ НАСЕННЯ І РОСТ ЦЫБУЛІ РЭПЧАТАЙ**

Анатацыя. Была правярана гіпотэза аб станоўчым уздзеянні пурынавага нуклеазіда іназіна на прарастанне раслінных аб'ектаў. У ходзе праведзенай працы быў ацэнены ўплыў раствораў іназіна ў канцэнтрацыях 0,05–0,3 % на біямэтрычныя паказчыкі прарастання насення цыбулі рэпчатой гатунка Штутгартэр Рызэн. Найлепшыя паказчыкі былі выяўлены ў групах, прарощаных на 0,1 і 0,15%-ных растворах іназіна.

Ключавыя словы: пурынавыя нуклеазіды, іназін, цытакініны, мерыстэмны рост, стымуляванне роста каранёў

Введение. Нуклеозиды и нуклеотиды являются предшественниками нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), метаболитов, которые участвуют в биоэнергетических процессах (АТФ, АДФ, АМФ) и в пластических процессах, ведущих к синтезу макромолекул, включая полисахариды, фосфолипиды и гликолипиды, а также являются предшественниками цитокининов.

Инозин – это пуриновый нуклеозид, который встречается в клетках растительного и животного происхождения. Инозин состоит из гипоксантина, связанного с остатком рибозы посредством гликозидной связи. Монофосфат инозина в клетках окисляется с образованием ксантозинмонофосфата, ключевого предшественника в метаболизме пуринов. Инозин также присутствует в некодирующих и экзогенных РНК (нкРНК), например, является компонентом транспортной РНК и необходим для трансляции в случае неоднозначных пар оснований.

Инозин участвует в механизме наиболее распространенного вида естественного редактирования нкРНК – замене аденина, что приводит к изменению свойств молекулы РНК, обеспечивая таким образом молекулярную пластичность. В частности, являясь компонентом некоторых тРНК, полифункциональный инозин антикодона может образовывать водородные связи не только с аденином, но и с урацилом и цитозином, располагающимися в третьем положении кодона. Кроме того, молекулярный инозин является важным вторичным метаболитом в обмене пуринов, который также действует как молекулярный посредник в передаче сигналов клетки.

Выдвигается предположение о том, что пуриновые нуклеозиды, в частности инозин, могут способствовать росту меристем побегов. Например, в 2005-м году было показано, что

внекорневое внесение пролина и удобрений на основе нуклеиновых кислот, включая 2%-ный раствор инозина в воде, стимулировало рост итальянского райграса (*Lolium multiflorum Lam*) при втором промывании.

Теоретические основы. Свойства и функциональные особенности нуклеозидов в растительных клетках и клетках животного происхождения вызывают постоянный интерес исследователей [1–8]. Пуриновые нуклеозиды являются высокоспециализированными соединениями, выполняющими ряд специфических функций, при этом в различных тканях они могут вызывать разнонаправленные эффекты. Одна из наиболее значимых функций нуклеозидов – сигнальная. Будучи биологически активными веществами, агонистами и нейротрансмиттерами, они оказывают регуляторные воздействия на ряд процессов через специфические рецепторы.

Стимулирование корнеобразования за счет использования инозина было опробовано в Высшей школе сельского хозяйства Университета Хоккайдо, на гидропонике в условиях теплицы выращивали пять следующих видов: рис (*Oryza sativa L.*), томат (*Solanum lycopersicum L.*), подсолнечник (*Helianthus annuus L.*), лук (*Allium cepa L.*) и соя (*Glycine max*); максимальная температура 32 °С, минимальная – 16 °С; в июле–августе 2006 г. семена были засеяны вермикулитом, за исключением проростков риса, которые были пророщены на сетке, плавающей на водопроводной воде. Позже рассаду пересаживали в питательный раствор.

Далее производились замеры сухой и влажной массы. Свежие корни окрашивали раствором Люголя для наблюдения за корневыми волосками. Развитие корневых волосков оценивали под микроскопом, оснащенным камерой (Coolpix 4500). Длину корней определяли по методу Ньюмана (рис. 1) [8].

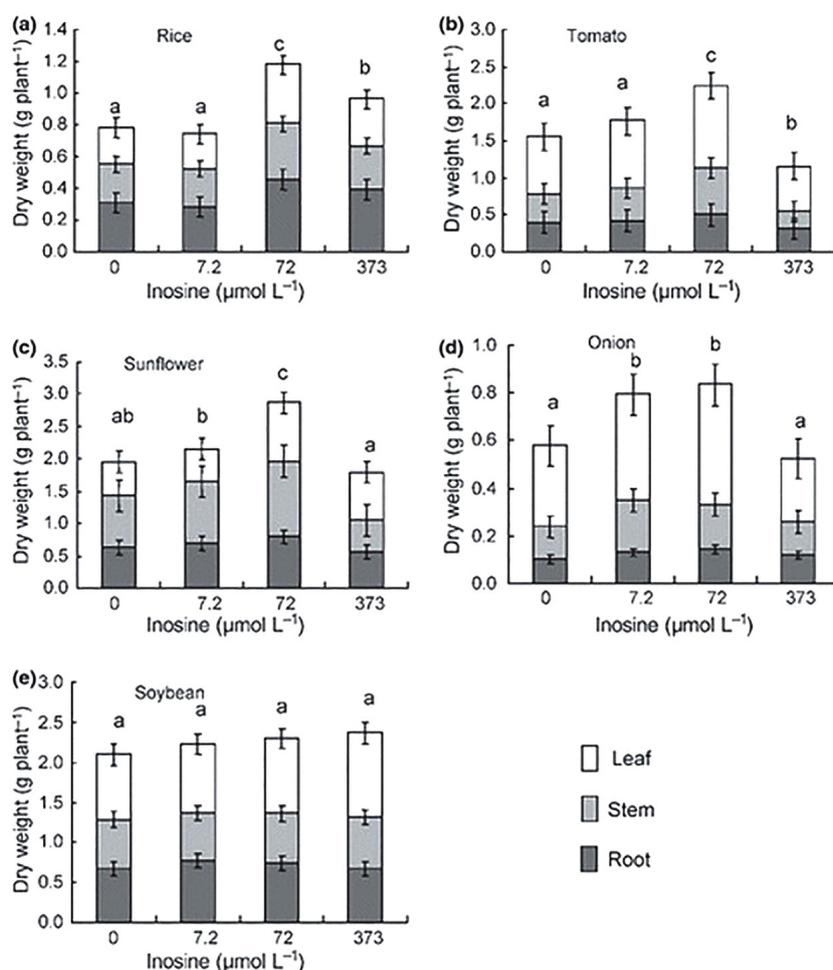


Рис. 1. Стимулирование роста корней за счет применения инозина

Несмотря на то что в клетках растений не были найдены рецепторы, аналогичные присутствующим в клетках животных P2X и P2Y, в 2014 г. был открыт первый пуриnergический рецептор растений DORN1 [8]. Внеклеточный лектиновый домен DORN1 имеет высокое сродство к АТФ ($K_d = 45,7$ нМ) и меньшую аффинность к другим пуринам, что отображается в узнавании этим рецептором молекулы-агониста, за которым следует прямое фосфорилирование специфической киназой, приводящей в итоге к повышенной продукции активных форм кислорода и закрытию устьиц. Контроль пуриnergической передачи сигнала имеет важное значение в регулировании процесса фотосинтеза, водного гомеостаза, устойчивости к патогенам, приросте фитомассы и, вероятно, в сочетании с другими белками облегчает сигнальную функцию. Как пример приводятся белки-мишени к DORN1-киназе. Новый рецептор доказал существование пуриnergической сигнальной системы растений и был отнесен к новой группе рецепторов P2K [8]. Возможно, дальнейшие исследования расширят представления о данной группе и укажут на сродство с другими нуклеозидами.

Особый интерес представляет механизм рециркуляции или спасения нуклеотидов, в ходе которого из нуклеозидов как промежуточных продуктов деградации ДНК и РНК могут образовываться нуклеотиды. Так, например, аденозин под действием аденозиндезаминазы превращается в инозин. Инозин в свою очередь подвергается действию пуриновой нуклеозидфосфорилазы и превращается в гипоксантин. На гипоксантин воздействует фосфорибозилтрансфераза паразита *Plasmodium falciparum*, преобразуя соответствующее азотистое основание в его нуклеозидмонофосфат [4, 11]. Конечным продуктом цепочки превращений оказываются ксантозинмонофосфат, гуанозинмонофосфат или инозинмонофосфат (рис. 2 и 3).

С другой стороны, растения с недостаточным уровнем фосфорибозилтрансфераз, например *A. thaliana*, могут проявлять фенотипические мутации [9, 10].

Материалы и методы исследования. Цель исследования – проверка гипотезы о положительном воздействии пуринового нуклеозида инозина на прорастание растительных объектов и набор фитомассы. В ходе проведенной работы было оценено влияние растворов инозина в концентрациях 0,05–0,3 % на некоторые биометрические показатели прорастания семян лука репчатого сорта Штутгартер Ризен.

Проращивание семян лука репчатого производилось в закрытом проветриваемом помещении при отсутствии освещения, при комнатной температуре. В начале эксперимента семена высаживались на фильтровальную бумагу в стеклянные чашки Петри диаметром 10 см. В первые 2–3-е суток полив производился 2 раза, в последующие дни – один раз в сутки. Для проведения опыта были приготовлены растворы инозина в концентрациях 0,05 %, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25 и 0,3 % соответственно, а также подготовлены контрольные группы для проращивания на водопроводной и дистиллированной воде. Эксперимент проводился с 01.06.2021 по 13.06.2021. В каждой группе насчитывалось 20 семян. На протяжении эксперимента замеры производились раз в двое суток, 13.06.2021 были сняты итоговые замеры. На третий день определялась энергия прорастания семян [2], в последний день эксперимента – их всхожесть. Эти данные приведены в табл. 1.

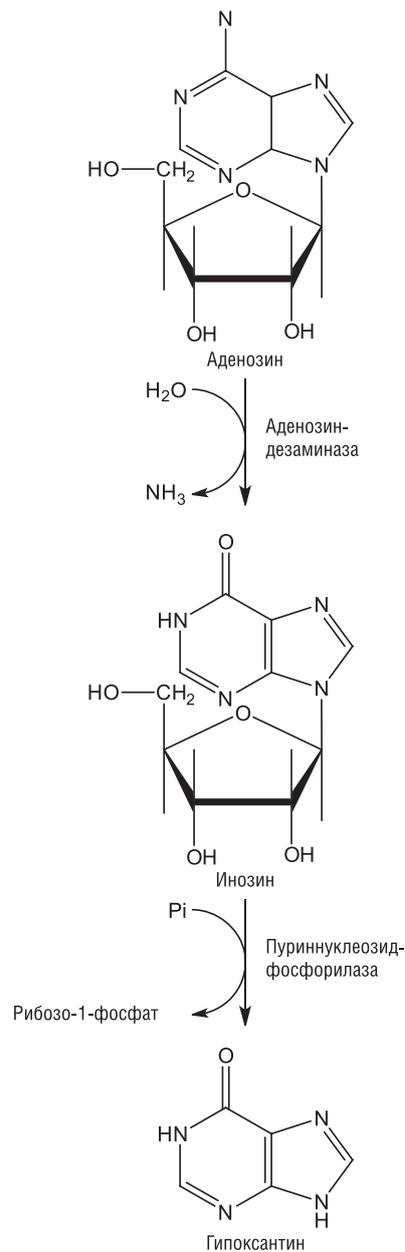


Рис. 2. Катаболизм пуриновых нуклеотидов [3]

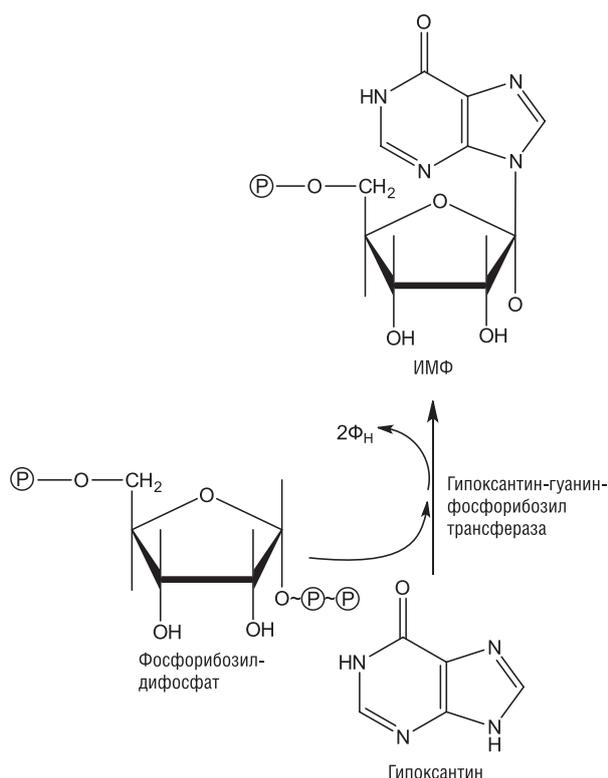


Рис. 3. Реутилизация гипоксантина

Таблица 1. Показатели энергии прорастания и всхожести в исследуемых группах

Показатель	Дистиллированная вода	Водопроводная вода	Iпо, %					
			0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
E _g , %	80	75	80	85	80	90	80	75
Вс, %	85	75	100	90	100	90	95	85

0,68–1,02 %; самое высокое значение у проростков из группы, смоченной 0,15%-ным инозином, что говорит о наиболее сильной профилерации ткани в данной группе.

На рис. 4 изображен график динамики прорастания семян. Из него следует, что наиболее активный рост саженцев в группах приходится на 3–7-е сутки, после чего замедляется и выходит на плато (7–9-е сутки). Далее на 9–11-е сутки в группах 1–5 наблюдается повторное усиление роста, группы 6–8 прорастают равномерно. В последние дни проращивания (11–13-е сутки) рост замедлился или вышел на плато, за исключением группы 7 (резкий скачок).

Таблица 2. Митотический индекс в исследуемых группах

Группа	MI, %
Дистиллированная вода	0,68±0,116
Водопроводная вода	0,74±0,120
Iпо 0,05 %	0,78±0,124
Iпо 0,1 %	0,82±0,127
Iпо 0,15 %	1,02±0,141
Iпо 0,2 %	0,92±0,134
Iпо 0,25 %	0,82±0,127
Iпо 0,3 %	0,70±0,117

На рис. 5 представлены суммарные длины проростков опытных групп и их численное и процентное соотношение; за 100 % была взята суммарная длина группы, произраставшей на водопроводной воде. Из диаграммы следует, что наибольший прирост относительно контрольной группы наблюдался в группах, пророщенных на 0,1 % (+12,04 %) и 0,15 % (+11,02 %) инозине.

Для статистической проверки суммарных длин проростков в исследуемых группах был выбран однофакторный диспер-

К каждой из исследуемых групп отбирали по 5 проростков длиной не более 10 мм для оценки активности пролиферации клеток и подсчета митотического индекса. Проростки хранили в спиртовом фиксаторе (70 % этанол / CH₃COOH 3 : 1). Далее производили мацерацию (10%-ный раствор HCl) и трехкратную отмывку в дистиллированной воде. Из каждого проростка был изготовлен микропрепарат; для окрашивания использовали краситель кармин красный. На каждом микропрепарате была проанализирована 1000 клеток соответственно, из каждой исследуемой группы – 5000 клеток. При подсчете митотического индекса внимание также уделялось хромосомным aberrациям, однако их количество из расчета на 5000 клеток было крайне мало.

Результаты и их обсуждение.

В табл. 1 приведены значения энергии прорастания и всхожести семян в контрольной и опытных группах. Как видно из таблицы, ни в одной из опытных групп значения не опускались ниже контрольных.

Как видно из таблицы, наибольшее значение энергии прорастания (90 %) приходится на группу, смачиваемую раствором с концентрацией 0,2 %; наибольший процент итоговой всхожести (100 %) приходится на группы, смачиваемые растворами с концентрациями 0,05 и 0,15 %.

В табл. 2 представлены результаты подсчетов митотического индекса с учетом ошибки репрезентативности. Так, значения митотического индекса колеблются в диапазоне

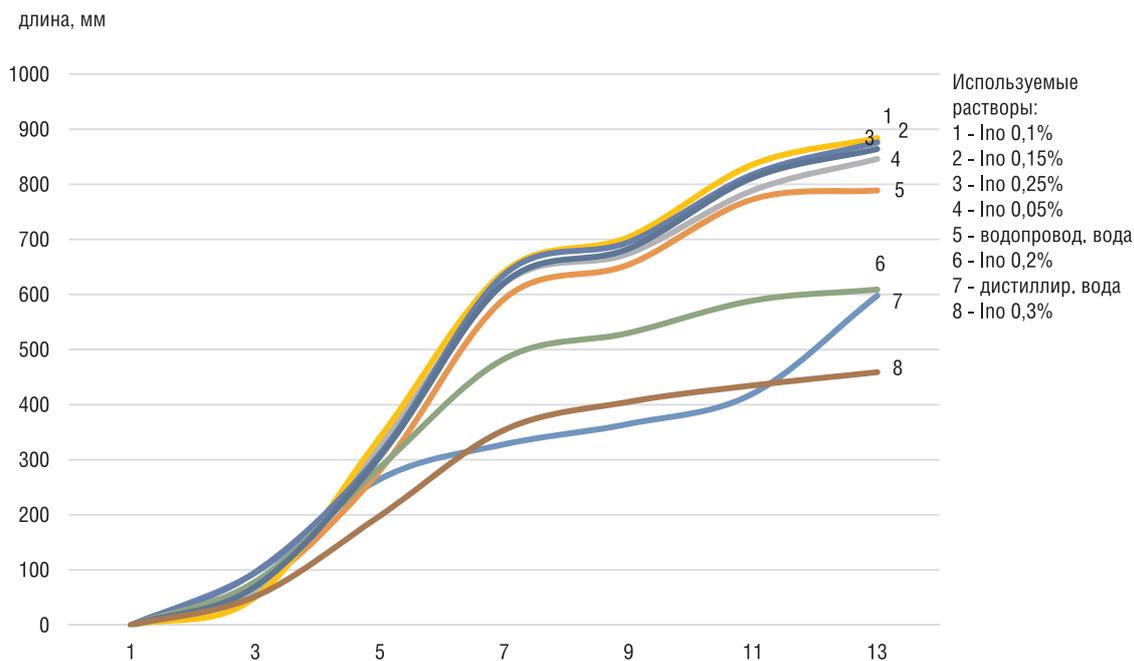


Рис. 4. Динамика прорастания семян лука в период 01.06.2021–13.06.2021

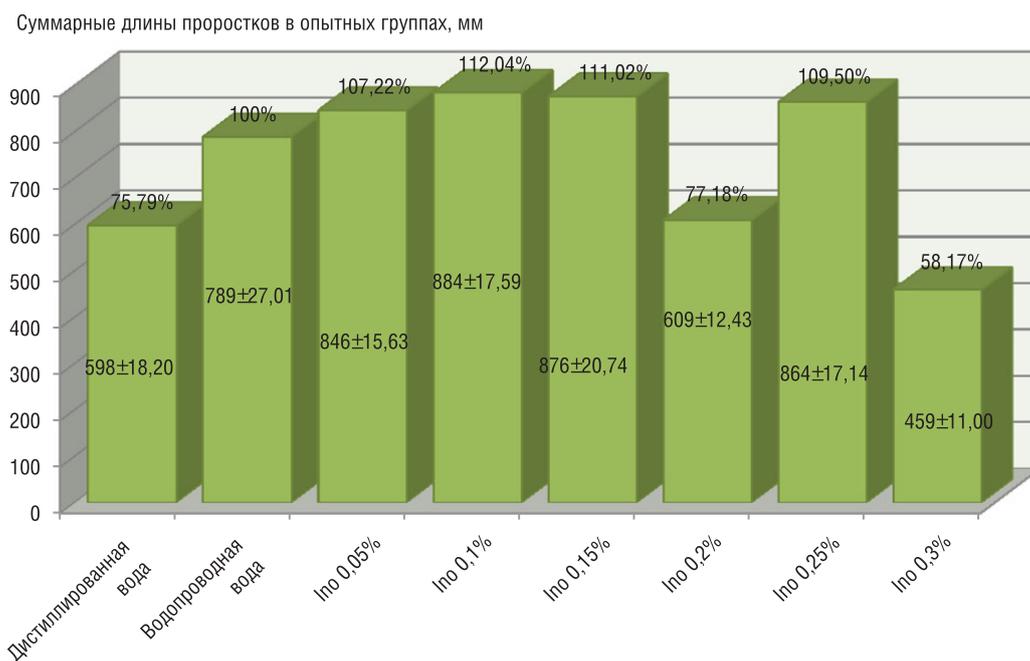


Рис. 5. Процентное соотношение суммарных длин проростков в опытных группах

сионный анализ. По итогам проверки малых групп была принята гипотеза о статистически значимых различиях при $p \leq 0,1$ при сравнении опытных групп с группой, проросшей на водопроводной воде.

Заключение. На основании проанализированных литературных источников подтверждена гипотеза о положительном воздействии инозина на начальные этапы прорастания семян лука репчатого. Наилучшие результаты выявлены в группах семян, произраставших на растворах инозина с концентрациями 0,1 и 0,15 %. Физиологический эффект может быть связан с сигнальной ролью инозина, а также с его функциями в метаболических и пластических процессах, протекающих в растительной клетке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Система пуриновых нуклеотидов 1: мембранные механизмы физиологических эффектов производных аденозина / К. Я. Буланова [и др.] // Военная медицина. – 2012. – №4. – С. 102–108.
2. Основы биотехнологии растений: учебное пособие / Б. Р. Кулуев [и др.]; под ред. Р. Г. Фархутдинова – Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. – 244 с.
3. Романов, Г. А. Как цитокинины действуют на клетку / Г. А. Романов // Физиология растений. – 2009. – №2. – С. 259–319.
4. Elucidation of the substrate specificity, kinetic and catalytic mechanism of adenylosuccinate lyase from *Plasmodium falciparum* / V. Bulusu [et al.] // Proteins and Proteomics. – 2009. – Vol. 1794(4). – P. 642–654.
5. Boison, D. Adenosine signaling and function in glial cells / D. Boison, J.-F. Chen, B. B. Fredholm // Cell Death & Differentiation. – 2009. – Vol. 17(7). – P. 1071–1082.
6. Liu, H. Beneficial and detrimental role of adenosine signaling in diseases and therapy / H. Liu, Y. Xia // Journal of Applied Physiology. – 2015. – Vol. 119(10). – P. 1173–1182.
7. Extracellular ATP is a central signaling molecule in plant stress responses / Y. Cao [et al.] // Current Opinion in Plant Biology. – 2014. – Vol. 20. – P. 82–87.
8. Characterization of stress protein *Lys U*. Enzymic synthesis of diadenosine 5', 5'''- P 1-P4 – tetraphosphate (Ap4A) analogues by *Lys U* / M. Theoclitou [et al.] // J. Chem. Soc. – 1996. – Vol. 1. – P. 2009–2019.
9. Functional characterization of a gene encoding a dual domain for uridine kinase and uracil phosphoribosyltransferase in *Arabidopsis thaliana* / M. R. Islam [et al.] // Plant Mol. Biol. – 2007. – Vol. 63(4). – P. 465–477.
10. Higher biomass accumulation by increasing phosphoribosylpyrophosphate synthetase activity in *Arabidopsis thaliana* and *Nicotiana tabacum* / S. Koswowsky [et al.] // Plant Biotechnology Journal. – 2008. – Vol. 6(3). – P. 281–294.
11. Allosteric regulation and substrate activation in cytosolic nucleotidase II from *Legionella pneumophila* / B. Srinivaan [et al.] // FEBS Journal. – 2014. – Vol. 281(6). – P. 1613–1628.
12. Promotion of root growth by the application of inosine / D. Tokuhisa [et al.] // Soil Science and Plant Nutrition. – 2010. – Vol. 56(2). – P. 272–280.
13. Zhang, Y. Adenosine signaling in normal and sickle erythrocytes and beyond / Y. Zhang, Y. Xai // Microbes and Infection. – 2012. – Vol. 14(10). – P. 863–873.
14. A1 adenosine receptor negatively modulates coronary reactive hyperemia via counteracting A2A-mediated H₂O₂ production and KATP opening in isolated mouse hearts / X. Zhou [et al.] // American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. – 2013. – Vol. 305(11). – P. 1668–1679.

Поступила 30.09.2021

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 582.711.16 (476.2)

А. М. Островский

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

О МЕСТОНАХОЖДЕНИИ МОЛОДИЛА РУССКОГО В БРАГИНСКОМ РАЙОНЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Установлено место произрастания *Sempervivum ruthenicum* (W.D. J. Koch) Schnittsp. et C.B. Lehm. между деревень Верхние Жары и Гдень в Брагинском районе Гомельской области. Это представитель степного флористического комплекса, имеющий высокий охранный статус и довольно узкую область распространения на территории Беларуси, ограниченную крайним юго-востоком страны. В связи с местонахождением вида в зоне интенсивного антропогенного воздействия (близ автотрассы) создаются предпосылки для нарушения целостности экотопа и, как следствие, необходимости принятия охранных мер. Приведено краткое описание и сведения о современном распространении и эколого-биологическим особенностям данного вида.

Ключевые слова: *Sempervivum ruthenicum*, молодило русское, охрана, флора, Беларусь

A. M. Ostrovsky

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

ON THE LOCATION OF HOUSELEEK PLANT IN THE BRAGIN DISTRICT GOMEL REGION

Abstract. The place of growth of *Sempervivum ruthenicum* (W.D. J. Koch) Schnittsp et C.B. Lehm. has been established between Verkhnie Zhary and Gden villages in the Bragin district of the Gomel region. This is a representative of the steppe floral complex, which has a high conservation status and a fairly narrow distribution area on the territory of Belarus, limited to the extreme south-east of the country. Due to the location of the species in the zone of intense anthropogenic impact (near the highway), prerequisites are created for violating the integrity of the ecotope and, as a result, the need to take protective measures. A brief description, information about the modern distribution and ecological and biological features of this species is given.

Keywords: *Sempervivum ruthenicum*, houseleek plant, protection, flora, Belarus

А. М. Астроўскі

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

ПРА МЕСЦАЗНАХОДЖАННЕ МАЛАДЗІЛА РУСКАГА У БРАГІНСКІМ РАЁНЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ВОБЛАСЦІ

Анотацыя. Устаноўлена месцазнаходжанне *Sempervivum ruthenicum* (W.D. J. Koch) Schnittsp. et C.B. Lehm. паміж вёсак Верхнія Жары і Гдзень у Брагінскім раёне Гомельскай вобласці. Гэта прадстаўнік стэпавага фларыстычнага комплексу, які мае высокі ахоўны статус і даволі вузкую вобласць распаўсюджвання на тэрыторыі Беларусі, абмежаваную крайнім паўднёвым усходам краіны. У сувязі з месцазнаходжаннем віду ў зоне інтэнсіўнага антрапагеннага ўздзеяння (каля аўтадарог) ствараюцца перадумовы для парушэння цэласнасці экатопа і, пры гэтым, неабходнасці прыняцця ахоўных мер. Прыведзены кароткае апісанне, а таксама звесткі аб сучасным распаўсюджванні і экалага-біялагічных асаблівасцях гэтага віду.

Ключавыя словы: *Sempervivum ruthenicum*, маладзіла рускае, ахова, флора, Беларусь

Введение. По данным [1] в Беларуси произрастает 3 вида молодил (*Sempervivum L.*). Один из них – молодило русское (*Sempervivum ruthenicum* (W.D. J. Koch) Schnittsp. et C.B. Lehm.) – занесен в 3-е и 4-е издания Красной книги Республики Беларусь [2, 3]. Статус – I категория национального природоохранного значения (CR): вид, находящийся на грани исчезновения. Также включен в Красную книгу Молдовы, входит в «Список регионально редких растений Луганской области», Красные книги или охраняется в соответствии с решениями областных советов на территориях Донецкой, Тернопольской и Харьковской областей, занесен в региональные Красные книги многих субъектов Российской Федерации [4].

В настоящее время численность этого вида растений в Беларуси относительно мала. Предполагается, что она сокращается вследствие хозяйственной трансформации земель, а также естественного или искусственного облесения и выкапывания растений населением [2, 3].

S. ruthenicum – представитель степного флористического комплекса, основная часть ареала которого охватывает юго-восток Средней Европы, Средиземноморье (Балканский полуостров) и юго-западные районы Восточной Европы. Встречается в Украине и Брянской области

России [4]. В Беларуси произрастает на сухих хорошо прогреваемых опушках лишайниковых и мшистых сосняков и склонах дюн в отдельных локалитетах на северной границе ареала [2, 3]. Найден в 1999 г. вблизи д. Уласы Хойникского района Гомельской области [2, 5], затем здесь же регулярно регистрировался в Полесском радиационно-экологическом заповеднике вплоть до 2014 г. [3]. Примечательно, что ценопопуляции этого вида в Хойникском районе (по исследованиям последнего десятилетия) довольно стабильны. По гербарным материалам (сборы 1927 г.) также известен из окрестностей д. Верхние Жары Брагинского района Гомельской области [2, 3]. Однако состояние ценопопуляции *S. ruthenicum* здесь долгое время оставалось неопределенным и нуждалось в повторном подтверждении и изучении с целью разработки мер по ее охране.

Материалы и методы исследования. При исследовании ксеротермных биотопов Юго-Восточной Беларуси в июле 2020 г. близ автотрассы между деревень Верхние Жары и Гдень Брагинского района Гомельской области (N 51°20'29", E 30°29'15") на хорошо инсолируемом участке опушки соснового леса с песчано-каменистой почвой площадью 0,01 га была обнаружена ценопопуляция *S. ruthenicum* (рисунок, а). Местонахождение приурочено к подножию холма водно-ледникового происхождения – оза. В структуре лесфонда территория исследований относится к Жаровскому лесничеству Комаринского лесхоза, по физико-географическому районированию Беларуси – к подзоне широколиственных лесов (Полесская провинция), по геоботаническому районированию – к Восточноевропейской провинции Европейской широко-



Молодило русское *Sempervivum ruthenicum* (W.D. J. Koch) Schnittsp. et C. B. Lehm.: а – растения в обнаруженном местонахождении, б – стебель, в – розетки, г – соцветия

лиственнoлесной области [6]. Было заложено два учетных участка площадью по 0,5 м², на которых определялось возрастное состояние изучаемого вида. При этом мы придерживались принципов выделения возрастных состояний по схеме Т.А. Работнова [7, 8] с учетом литературных источников [9, 10]. На момент обнаружения данная ценопопуляция *S. ruthenicum* имела полный спектр онтогенетических состояний, среди которых доля генеративных (цветущих) особей достигала 30 %, что в 3 раза больше по сравнению с ценопопуляцией из Хойникского района [3].

Диагностические признаки. Многолетнее травянистое растение с утолщенным веретеновидным корневищем. Стебель прямостоячий, высотой 20–35 см, бороздчатый, с редким опушением из коротких железистых волосков (рисунок, б). Все листья суккулентные, прикорневые, собраны в плотные полушаровидные розетки, обратнойцевидные, расширенные в верхней трети, заостренные, с обеих сторон железисто-волосистые; стеблевые листья очередные, расставленные, продолговато-ланцетные, опушенные (рисунок, в). Соцветия рыхлые, щитковидные, чашечка из 10–14 сростшихся при основании чашелистиков, лепестки зеленовато-желтые, в числе 10–14, линейные, снаружи длинно-железистые (рисунок, г). Плоды – листовки, многосемянные, продолговато-яйцевидные, с длинным прямым носиком [2, 3]. Примечательно, что в окрестностях г. Гомеля в июне 2017 г. было обнаружено место произрастания другого близкого вида – молодила отпрыскового, или побегоносного, *Jovibarba globifera* (L.) J. Parnell.

Эколого-биологические особенности. *S. ruthenicum* – светолюбивое растение. Предпочитает сухие, хорошо прогреваемые участки на легких песчаных почвах. Будучи суккулентом, накапливает влагу после дождей в листьях, а также в виде конденсата из воздуха на их волосках [11, 12]. Цветет в июле–августе. Энтомофил. Семена созревают во второй половине августа–сентябре. Размножается преимущественно вегетативно (за счет боковых розеток, формирующихся на ползучих побегах), реже семенами. Анемохор и, возможно, мирмекохор [2, 3].

Заключение. Таким образом, анализ географии мест произрастания *S. ruthenicum* позволяет сделать вывод, что данный вид имеет довольно узкую область распространения на территории Беларуси, ограниченную крайним юго-востоком республики. В связи с нахождением исследуемого места произрастания в зоне интенсивного антропогенного воздействия (в непосредственной близости от автотрассы) создаются предпосылки для нарушения целостности экотопа и, как следствие, необходимости принятия охранных мер.

Список использованных источников

1. Растения Беларуси [Электронный ресурс] / Гербарий ЦБС НАН Беларуси MSKH; при поддержке Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Минск, 2003–2021. – Режим доступа: <http://hbc.bas-net.by/plantae/> – Дата доступа: 01.03.2021.
2. Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол.: Л.И. Хоружик (предс.), Л.М. Суценья [и др.]. – 3-е изд. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2005. – 456 с.
3. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол.: И.М. Качановский (предс.), М.Е. Никифоров [и др.]. – 4-е изд. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.
4. *Sempervivum ruthenicum* (W.D. J. Koch) Schnittsp. & C.V. Lehm. // Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран [Электронный ресурс]. – 2007–2021. – Режим доступа: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/35106.html>. – Дата доступа: 05.03.2021.
5. Флора и растительность Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / В.И. Парфенов [и др.]; под ред. В.И. Парфенова. – Мозырь: ИД «Белый Ветер», 2002. – 109 с.
6. Геаграфія Беларусі: Энцыклапедычны даведнік / рэдкал.: Л.В. Казлоўская [і інш.]. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 1992. – 383 с.
7. Работнов, Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т.А. Работнов // Тр. Ботанич. ин-та им. В.Л. Комарова Акад. наук СССР. Сер. 3. Геоботаника. – 1950. – Вып. 6. – 176 с.
8. Работнов, Т.А. Фитоценология: учеб. пособие / Т.А. Работнов. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 384 с.
9. Василевич, В.И. Статистические методы в геоботанике / В.И. Василевич. – Л.: Наука, 1969. – 232 с.
10. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / О.В. Смирнова [и др.]. – М.: Наука, 1976. – 217 с.
11. Ільїнська, А.Ф. Анатомічні особливості *Sempervivum ruthenicum* Schnittsp. et C.V. Lehm. та *Rhodiola rosea* A. L. (Crassulaceae) / А.Ф. Ільїнська // Україн. ботан. журн. – 1990. – Т. 47, №3. – С. 24–28.
12. Торчик, С.П. Выращивание молодила русского (*Sempervivum ruthenicum* Schnittsp. et C.V. Lehm.) в условиях интродукции / С.П. Торчик, В.В. Титок // Наука и инновации. – 2013. – Т. 9, №127. – С. 61–63.

Поступила 05.03.2021

**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ
И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ****NATUREMANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE AND RESOURCE-SAVING
TECHNOLOGIES****ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ, ЭКОЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ
І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ**

УДК 66.081.3;541.18.041.2;622.765.06

П. Д. Воробьёв, С. В. Буча, Д. В. Чередниченко, Е. В. Воробьёва, Н. П. Крутько, М. А. Астахова*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук, Минск, Беларусь,
e-mail: bucha1003@gmail.com***СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ АМИНОВ ИЗ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ В МЕТОДАХ ОЧИСТКИ ВТОРИЧНЫХ
ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Аннотация. Предложен эффективный способ очистки растворов хлорида натрия от органических и неорганических примесей, который может быть использован в методах очистки вторичных продуктов обогащения минерального сырья. В системе при введении осадителя формируется твердая неорганическая фаза, которая сорбирует аминоксодержащие органические примеси, флокулируется и осаждается полимером (анионным полиэлектролитом). При использовании разработанного способа степень очистки растворов хлорида натрия от неорганических и органических примесей составляет не менее 99,5 %.

Ключевые слова: хлорид натрия, флотационный реагент, алкилморфолин, осаждение, сорбционное извлечение, флокуляция, очистка

E. V. Vorobyova, P. D. Vorobyov, S. V. Bucha, D. V. Cherednichenko, N. P. Krutko, M. A. Astakhova*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: bucha1003@gmail.com***SORPTION EXTRACTION OF AMINES FROM SALT SOLUTIONS IN SECONDARY PRODUCT PURIFICATION
METHODS MINERAL PROCESSING**

Abstract. An effective method of purification of sodium chloride solutions from organic and inorganic impurities is proposed, which can be used in methods of purification of secondary products of mineral enrichment. In the system, when the precipitator is introduced, a solid inorganic phase is formed, which sorbs the amino-containing organic impurities, flocculates and is precipitated by a polymer (anionic polyelectrolyte). When using the developed method, the degree of purification of sodium chloride solutions from inorganic and organic impurities is not less than 99.5 %.

Keywords: sodium chloride, flotation reagent, alkylmorpholine, precipitation, sorption extraction, flocculation, purification

A. В. Вараб'ёва, П. Дз. Вараб'ёў, С. В. Буча, Дз. В. Чараднічэнка, М. П. Круцько, М. А. Астахава*Інстытут агульнай і неарганічнай хіміі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: bucha1003@gmail.com***САРБЦЫЙНАЕ ВЫМАННЕ АМІНАЎ З САЛЯВЫХ РАСТВОРАЎ У МЕТАДАХ АЧЫСТКІ ДРУГАСНЫХ ПРАДУКТАЎ
УЗБАГАЧЭННЯ МІНЕРАЛЬНАЙ СЫРАВІНЫ**

Анотацыя. Прапанаваны эфектыўны спосаб ачысткі раствораў хларыду натрыю ад арганічных і неарганічных прымешак, які можа быць выкарыстаны ў метадах ачысткі другасных прадуктаў узбагачэння мінеральнай сыравіны. У сістэме пры ўвядзенні асадзіцеля фармуецца цвёрдая неарганічная фаза, якая сарбіруе арганічныя прымесі, якія змяшчаюць амін, флакуліруе і асаджаецца палімерам (аніённым поліэлектралітам). Пры выкарыстанні распрацаванага спосабу ступень ачысткі раствораў хларыду натрыю ад неарганічных і арганічных прымешак складае не менш як 99,5 %.

Ключавыя словы: хларыд натрыю, флатацыйны рэагент, алкілморфалін, асаджэнне, сарбцыйнае выманне, флакуляцыя, ачыстка

Введение. Применяемые в настоящее время технологии обогащения минеральных руд в условиях снижения качества рудного сырья и роста экологических требований к горным предприятиям предполагают максимальное использование минеральных ресурсов, высокую эффективность процессов обогащения сырья и переработку образующихся отходов. Обогащение руд флотационным методом предусматривает введение реагентов-собирателей, в качестве

которых часто используют аминоксодержащие соединения. В процессе флотации происходит их избирательная сорбция на компонентах перерабатываемой руды, в результате чего поверхность последних становится гидрофобной. Гидрофобные частицы руды прилипают к пузырькам воздуха и поднимаются на поверхность в составе пенного продукта, который в дальнейшем фильтруют [1, 2].

При переработке полиминеральной калийной руды методом обратной флотации основной компонент концентрируется в камерном продукте, при этом пенный продукт на основе хлорида натрия, выведенный из технологического процесса, представляет собой многотоннажный вторичный продукт производства. В данном способе флотационного обогащения в качестве реагента-собирателя применяется алкилморфолин, который избирательно сорбируется на частицах хлорида натрия. Алкилморфолин является токсичным соединением и его присутствие в составе хлорида натрия крайне нежелательно. Помимо флотационных реагентов, в составе хлорида натрия, полученного из полиминеральной руды, присутствуют неорганические примеси, в частности соли магния.

Хлорид натрия широко используется для производства более полутора тысяч веществ и материалов, включая металлический натрий, хлор, соду, соляную кислоту, гидроксид натрия, гербициды для сельского хозяйства и др. [3–5]. Электролиз растворов хлорида натрия является одним из наиболее важных крупнотоннажных химических производств, который обеспечивает получение одновременно трех важнейших базовых химикатов – гидроксида натрия, хлора и водорода. В промышленной и полупромышленной водоподготовке большие объемы хлорида натрия применяют для регенерации ионообменных смол в натрий-катионитовых фильтрах [6, 7].

Возможности применения хлорида натрия, полученного в процессе обратной флотации полиминеральной руды, ограничены присутствием органических флотационных реагентов и неорганических примесей. Для дальнейшего использования хлорида натрия необходима его эффективная очистка.

Известны различные методы очистки от органических примесей (термический, окисление), которые являются недостаточно эффективными и энергозатратными. Одним из наиболее перспективных является сорбционный метод очистки растворов с использованием сорбентов различной природы [7–9]. Сорбционное извлечение алкилморфолина известными сорбентами (активированный уголь, силикагель, ионообменные смолы), как показали проведенные нами исследования, ограничивается высокой стоимостью промышленных сорбентов и их регенерации, кроме того, не позволяет одновременно с органическими удалять неорганические примеси. Сорбция алкилморфолина из концентрированных солевых растворов практически не изучена.

В данной статье приведены результаты исследования сорбционного извлечения аминоксодержащих продуктов из концентрированных растворов хлорида натрия в присутствии солей магния и кальция и полиакриламидных флокулянтов и разработан способ очистки вторичного продукта флотационного обогащения минерального сырья.

Экспериментальная часть. В работе использовали водно-солевую систему следующего состава, %: NaCl – 23,42, KCl – 1,16, MgSO₄ – 0,58, MgCl₂ – 1,16, соответствующую составу щелока после растворения пенного продукта и удаления нерастворимого остатка. В качестве реагента-осадителя применяли водную суспензию гидроксида кальция (25 % твердого вещества) и оксид кальция (ч. д. а.) в смеси с карбонатом натрия (безводный, х. ч.). Соотношение магния и кальция в исходной смеси – 1 : 1, 1 : 1,5, 1 : 5. Осаждение проводили при pH 7,0, комнатной температуре и постоянном перемешивании. После осаждения жидкую и твердую фазы разделяли центрифугированием. Определяли содержание ионов кальция, магния в жидкой и твердой фазе, проводили рентгенофазовый анализ твердой фазы.

Эксперименты по сорбции аминов проводили следующим образом: 1,0 г твердой фазы приводили в контакт со 100 мл раствора, содержащего определенное количество органической добавки в интервале от 10 до 50 мг/л при pH 7,0, 8,0, 9,0 и 10,0. pH регулировали введением гидроксида натрия. Смесь перемешивали и оставляли на несколько часов, затем добавляли полимерный флокулянт, после осаждения центрифугировали и в жидкой фазе спектрофото-

метрическим методом определяли равновесную концентрацию амина. На основе полученных экспериментальных данных построены изотермы адсорбции Ленгмюра в координатах $a = f(C_{\text{равн}})$ и $1/a = f(1/C_{\text{равн}})$, где a – адсорбция, мг/г; $C_{\text{равн}}$ – равновесная концентрация амина, мг/мл. Графическим путем определяли максимальную адсорбцию алкилморфолина и его содержание в твердой фазе в % от исходного содержания.

Растворы флокулянтов (полиакриламид – неионогенный флокулянт (НФ)) и сополимеры акриламида с акриловой кислотой (анионный флокулянт (АФ)) и триметиламмонийэтилакрилат хлоридом (катионный флокулянт (КФ)), содержащие 20 моль.% ионогенного компонента (производство «Ashland») с концентрацией 0,5 г/дл готовили на дистиллированной воде, хранили не более 3 сут. Непосредственно перед введением в дисперсную систему водный раствор полимера разбавляли насыщенным раствором соли (хлорид натрия). При разбавлении помутнения раствора или образования осадка не наблюдалось. В дисперсию при перемешивании вводили водно-солевой раствор полимера с содержанием 0,1 г/л.

Скорость осаждения (V , мм/с) определяли измерением времени перемещения границы раздела фаз в цилиндре объемом 250 мл между двумя метками на расстоянии 100 мм одна от другой. Измерения времени осаждения проводили с повторностью не менее трех раз с точностью $\pm 0,5$ с.

Результаты и их обсуждение. Как показали результаты рентгенофазового анализа, в исследуемой системе в состав осадка входит гидроксид магния, карбонат кальция, небольшое количество гидроксида кальция и хлорида натрия. При использовании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в качестве осадителя количество хлорида натрия в составе осадка уменьшается по сравнению с другими осадителями. С увеличением количества осадителя состав твердой фазы существенно не меняется. При соотношении магния и кальция 1:1 количество хлорида натрия в осадке наименьшее, а гидроксида магния – наибольшее, количество карбоната кальция не меняется. Кроме того, в твердой фазе увеличивается содержание ионов кальция и уменьшается количество магния, растет объем твердой фазы в суспензии и масса сухого осадка.

В исследуемой системе размер частиц в начальный период осаждения 0,03–0,04 мкм, далее 0,1–10 мкм. Увеличение концентрации солей магния вызывает уменьшение размера вторичных частиц и замедляет процесс осаждения. Образование осадка карбоната кальция сопровождается появлением частиц 5–10 мкм, размер которых в процессе рекристаллизации увеличивается до 20–50 мкм.

Совместное осаждение гидроксида магния и карбоната кальция приводит к изменению структуры образующейся твердой фазы. Гидроксид магния, адсорбируясь на частицах карбоната кальция, задерживает их рост, при этом вследствие распределения частиц гидроксида магния на поверхности кристаллов карбоната кальция скорость осаждения бинарной суспензии увеличивается по сравнению с гидроксидом магния. При совместном присутствии мелкие кристаллы гидроксида магния и более крупные кристаллы карбоната кальция объединяются в агрегаты, что способствует их осаждению.

При использовании в качестве осадителя гидроксида кальция вследствие его относительно низкой растворимости возможно некоторое «запаздывание» формирования кристаллов гидроксида магния. В связи с этим рекомендуется предварительное смешение реагентов, в результате чего происходит обменная реакция с образованием хорошо растворимого гидроксида натрия. В исследованной системе мы использовали в качестве осадителя оксид кальция CaO , что упрощает подготовку стадии введения реагентов. Степень извлечения магния из концентрированного раствора хлорида натрия при соотношении магния и кальция в исходной смеси 1:1 составила $(99,6 \pm 0,2)$ %.

В системе при введении оксида кальция образуется агрегативно устойчивая суспензия с низкой скоростью осаждения. Наблюдается также увеличение пересыщения раствора по кальцию, как отмечалось выше, вследствие адсорбции гидроксида магния на поверхности частиц карбоната кальция, что приводит к снижению скорости кристаллизации и к уменьшению размера частиц карбоната кальция. Для ускорения процесса осаждения в систему вводили полиакриламидные флокулянты.

В присутствии флокулянтов даже при их низкой концентрации в системе (0,05 мг/г) наблюдается быстрое образование агрегатов и хлопьев и резкое увеличение скорости их осаждения по сравнению с системой без добавок полимера (рис. 1). Полимерный флокулянт различным образом влияет на компоненты суспензии: гидроксид магния образует быстрооседающие хлопья, причем скорость их образования и осаждения зависит от количества полимера; скорость осаждения частиц карбоната кальция увеличивается при добавлении полимерного флокулянта после образования кристаллических зародышей. В связи с тем что флокулянт ускоряет процесс осаждения только в структурированных суспензиях, его вводили не с осадителем, а после образования осадка во взвешенный слой.

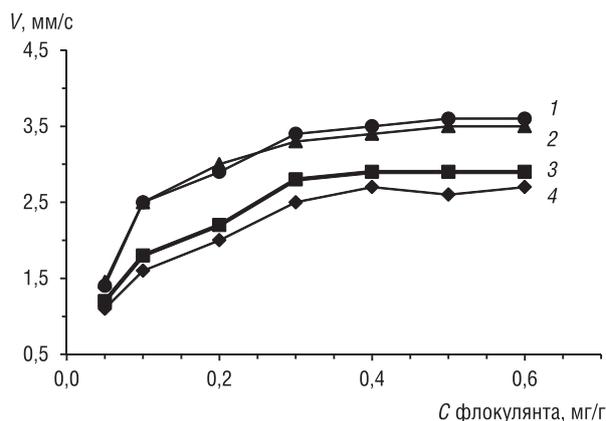


Рис. 1. Скорость осаждения солей магния и кальция в растворе хлорида натрия при введении анионного (1), неионогенного (2), катионного (3) флокулянтов и в системе с анионным флокулянтном и алкилморфолином (4)

Как видно из рис. 1, скорость осаждения солей магния и кальция в растворе хлорида натрия возрастает при увеличении содержания флокулянта от 0,05 до 0,3 мг/г, далее практически не меняется. Приведенные данные характеризуют увеличение флокулирующей эффективности полимеров с одинаковой молекулярной массой в ряду: катионный–неионогенный–анионный. Алкилморфолин практически не влияет на эффективность флокуляции анионным сополимером.

При введении полиакриламидных флокулянтов в дисперсию, в которой твердая фаза – осадок солей магния, кальция и натрия, жидкая фаза – концентрированный раствор хлорида натрия, извлечение алкилморфолина из жидкой фазы увеличивается (табл. 1). Твердая фаза сорбирует амин, однако точное определение содержания амина в жидкой фазе затруднено в связи с высокой дисперсностью осадка без флокуляции. Усредненные результаты большого количества экспериментов показали уменьшение содержания амина в жидкой фазе на 64,0–72,0 %.

Таблица 1. Влияние полиакриламидных флокулянтов на извлечение алкилморфолина

в системе без флокулянта	Содержание алкилморфолина в твердой фазе (% от исходного содержания амина в системе)		
	природа полимерного флокулянта (концентрация 0,2 мг/г)		
	неионогенный	катионный	анионный
64,0–72,0 %	96,3	92,1	99,2

После флокуляции и осаждения твердой фазы флокулянтами жидкая фаза быстро осветляется, практически не содержит взвешенных частиц, сорбционное извлечение амина возрастает до 99,2 % при использовании анионного, 96,3 % – неионогенного, 92,1 % – катионного флокулянтов. Увеличение сорбционного извлечения амина при использовании анионного флокулянта можно объяснить взаимодействием катионного амина и анионного сополимера [10], что подтверждено изменением вискозиметрических свойств солевых растворов бинарных композиций по сравнению с отдельными компонентами. Можно предположить, что в жидкой фазе дисперсии анионный флокулянт взаимодействует с амином, что повышает эффективность его извлечения.

На основе полученных экспериментальных данных по сорбции амина по линеаризованным изотермам адсорбции Ленгмюра определяли максимальную адсорбцию алкилморфолина для систем с различными рН. Из рис. 2 видно, что с увеличением рН в интервале 7,0–10,0 сорбция амина в системе с анионным полиэлектролитом, введенным в качестве флокулянта, возрастает. Это может быть связано с тем, что растворимость амина уменьшается, молекулы агрегируют и могут удерживаться в порах сорбента и на поверхности твердой фазы за счет дисперсионных взаимодействий.

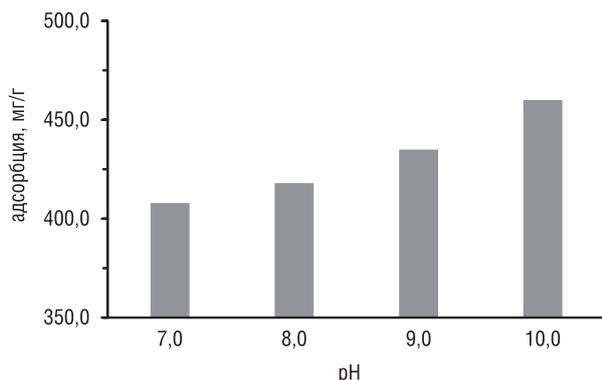


Рис. 2. Адсорбция (максимальная) алкилморфолина из раствора хлорида натрия в присутствии анионного флокулянта в зависимости от рН

Взаимодействие катионного ПАВ и анионного полиэлектролита происходит как с участием противоположно заряженных гидрофильных групп, так и за счет гидрофобного связывания молекул ПАВ с неполярными группами полимера [10]. Образование смешанных агрегатов алкилморфолина и полимера и их взаимодействие с частицами твердой фазы приводит к увеличению сорбции амина.

На основании результатов выполненных исследований разработан способ очистки растворов хлорида натрия от органических и неорганических примесей, который может быть использован в методах очистки вторичных продуктов обогащения минерального

сырья, в частности пенного продукта флотации, от примесей солей магния и флотационного реагента алкилморфолина. Разработанный способ очистки включает несколько стадий: растворение флотационного хлорида натрия в воде; формирование твердой фазы путем введения осадителя (оксид кальция в смеси с карбонатом натрия) в щелочной среде (рН 7,0–11,0); флокуляция твердой фазы полимером (анионным полиэлектролитом); осаждение твердой фазы и осветление жидкой фазы; разделение фаз центрифугированием [11].

В табл. 2 приведены результаты экспериментов, выполненных при аналогичных условиях (температура, рН, время перемешивания, отстаивания, скорость и время центрифугирования и т. д.), одинаковом количестве осадителя и при различном содержании флокулянта в системе. Расчет количества вводимого в систему осадителя (СаО и Na₂CO₃) основан на стехиометрии реакции, в ходе которой в процессе очистки раствора синтезируется твердая фаза из оксида кальция, карбоната натрия и содержащихся в растворе ионов магния и кальция.

Показатели осветления надосадочного раствора и степень очистки от неорганических примесей достигают максимальных значений с ростом концентрации полимера в системе от 0,012 до 0,05 г/л, что обусловлено зависимостью флокуляции осадка от содержания флокулянта.

Таблица 2. Влияние полиакриламидных флокулянтов на извлечение алкилморфолина

Концентрация Аф, г/л	Степень очистки от примесей, %		Осветление надосадочного раствора, %
	органических	неорганических	
0,012	99,6	95,3	94,4
0,025	99,7	97,8	96,3
0,050	99,6	99,5	99,7
0,075	99,7	99,6	99,6
0,10	99,6	99,7	99,5

Таблица 3. Результаты лабораторных испытаний способа очистки хлорида натрия от неорганических и органических примесей

Параметры системы	Характеристики жидкой фазы	
	до очистки	после очистки
Концентрация алкилморфолина, мг/л	18,0	0,03
Концентрация ионов магния, г/л	3,7	0,007
Показатель кислотности, рН	7,1	7,0
Содержание взвешенных частиц (до и после флокуляции), мг/л	255,4	0,8
Концентрация хлорида натрия, г/л	250,0	246,8

Степень очистки от амина не зависит от концентрации флокулянта в исследуемом интервале 0,012–0,1 г/л, что может быть связано с взаимодействием катионного алкилморфолина с анионным полиэлектролитом.

На основании результатов лабораторных испытаний, приведенных в табл. 3 и характеризующих параметры системы до и после очистки, можно сделать вывод об эффективности использования разработанного способа. В систему, содержащую (г/л) хлорид натрия 250,0; соли магния (в пересчете на ионы магния) 3,7; кальция 0,34; алкилморфолина 0,018, добавляли оксид кальция и раствор карбоната натрия с концентрацией 30 % и раствор анионного флокулянта (0,05 г/л). После очистки концентрация хлорида натрия практически не меняется (уменьшается менее чем на 1,5 %), амина и ионов магния остается менее 0,2 % от исходного.

К преимуществам разработанного способа очистки можно отнести высокую эффективность очистки солевых систем как от неорганических, так и органических примесей. Способ предусматривает применение принципа взаимосвязанного осаждения и сорбции, когда в системе при введении осадителя формируется твердая фаза, которая сорбирует аминоксодержащие органические примеси, при этом эффективность осаждения и сорбции амина увеличивается при использовании полимерного флокулянта.

Заключение. Предложен способ очистки растворов хлорида натрия от органических и неорганических примесей, который может быть использован для очистки вторичных продуктов обогащения минерального сырья, в частности пенного продукта флотации, от примесей солей магния и флотационного реагента алкилморфолина. Способ основан на принципе взаимосвязанного осаждения и сорбции, когда в системе при введении осадителя (оксид кальция) формируется твердая неорганическая фаза, которая сорбирует аминоксодержащие органические примеси и далее флокулируется и осаждается полимером (анионным полиэлектролитом). При использовании разработанного способа степень очистки от неорганических и органических примесей и осветление солевого раствора составляет не менее 99,5 %.

Список использованных источников

1. *Классен, В. И.* Обогащение руд / В. И. Классен. – М.: Недра, 1979. – 240 с.
3. *Жбанников, П. С.* Коррекция гемодинамики гипертоническим раствором хлорида натрия при критических состояниях / П. С. Жбанников, А. Н. Ганерт, А. В. Забусов // *Общая реаниматология.* – 2007. – № 5–6. – С. 179–182.
4. *Polcaro, A. M.* Product and by-product formation in electrolysis of dilute chloride solutions / A. M. Polcaro, A. Vacca, M. Mascia, F. Ferrara // *J. Appl. Electrochem.* – 2008. – Vol. 38. – P.979–984.
5. *Аблонин, Б. Е.* Основы химических производств / Б. Е. Аблонин. – М.: Химия, 2001. – 563 с.
6. *Ромашин, О. П.* Электролизеры. Мембраны и их регенерация / О. П. Ромашин // *Хим. пром-сть сегодня. Сер. Развитие мембранного метода и производства хлора и каустической соды.* – 2012. – № 9. – С. 12–22.
7. *Рябчиков, Б. Е.* Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б. Е. Рябчиков. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 301 с.
8. *Шкуратов, А. Л.* Получение сорбентов и мембран на основе природных силикатов для очистки растворов от загрязнителей различной природы : автореф. дис. ...канд. хим. наук : 03.02.08 / А. Л. Шкуратов ; Рос. акад. наук, Дальневосточный федеральный ун-т. – Владивосток, 2018. – 23 с.
9. *Goh, P. S.* A review on inorganic membranes for desalination and wastewater treatment / P. S. Goh, A. F. Ismail // *Desalination.* – 2018. – Vol. 434. – P. 60–80.
10. *Воробьева, Е. В.* Влияние поверхностно-активных веществ на свойства растворов амфифильных полимеров / Е. В. Воробьева // *Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук.* – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 278–283. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-3-278-283>
11. Способ очистки раствора хлорида натрия: пат. ВУ 22142 / Д. Н. Давлюд, Е. В. Воробьева, Д. В. Чередниченко, П. Д. Воробьев, Ю. В. Матрунчик, Е. В. Лаевская, И. В. Шестак, Н. П. Крутько, В. В. Шевчук, А. Д. Смычник, Л. В. Овсеенко. – Оpubл. 25.05.2018.

Поступила 15.06.2021

А. В. Ёдчик¹, С. А. Дубенок²¹Государственное предприятие «Экологияинвест», Минск, Беларусь,
e-mail: anna.yodchyk@yahoo.com,²Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь,
e-mail: dsnega@list.ru**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ОТРАСЛЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ
СТОЧНЫХ ВОД**

Аннотация. Обращение со сточными водами, которые образуются в процессе производственной деятельности предприятий и сбрасываются ими в окружающую среду, в том числе через системы канализации населенных пунктов, является важной природоохранной задачей. Выбор и обоснование применения технологии очистки сточных вод должны осуществляться предприятием на основе совокупности экологических и экономических показателей с учётом отраслевых особенностей производства. Научно-практические подходы, представленные в статье, позволяют из совокупности технических, экологических и экономических аспектов деятельности предприятия выбрать наиболее оптимальные способы предотвращения образования сточных вод и технологии их очистки.

Ключевые слова: сточные воды, очистные сооружения, технология очистки, наилучшие доступные технические методы

A. V. Yodchyk¹, S. A. Dubianok²¹State Enterprise «Ecologyinvest», Minsk, Belarus,
e-mail: anna.yodchyk@yahoo.com,²Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus,
e-mail: dsnega@list.ru**SCIENTIFIC-PRACTICAL APPROACHES TO THE SELECTION OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT
TECHNOLOGIES**

Abstract. The management of wastewater, that is generated in the course of production activities of enterprises and discharged into the environment, including through the sewage systems of settlements, is an important environmental task. The choice and justification for the use of wastewater treatment technology should be carried out by the enterprise based on a set of environmental and economic indicators, taking into account the industry-specific characteristics of production. The scientific-practical approaches presented in the article make it possible to choose the most optimal ways to prevent the formation of wastewater and wastewater treatment technologies from the totality of technical, environmental and economic aspects of the enterprise.

Keywords: wastewater, treatment facilities, treatment technology, best available techniques

А. В. Ёдчык¹, С. А. Дубянок²¹Дзяржаўнае прадпрыемства «Экалогіяінвест», Мінск, Беларусь,
e-mail: anna.yodchyk@yahoo.com,²Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь,
e-mail: dsnega@list.ru**НАВУКОВА-ПРАКТЫЧНЫЯ ПАДХОДЫ ДА ВЫБАРУ ГАЛІНОВЫХ ТЭХНАЛОГІЙ АЧЫСТКІ СЦЁКАВЫХ ВОД**

Анотацыя. Зварот са сцёкавымі водамі, якія ўтвараюцца ў працэсе вытворчай дзейнасці прадпрыемстваў і скідаюцца імі ў навакольнае асяроддзе, у тым ліку праз сістэмы каналізацыі населеных пунктаў, з'яўляецца важнай прыродаахоўнай задачай. Выбар і абгрунтаванне прымянення тэхналогіі ачысткі сцёкавых вод павінен ажыццяўляцца прадпрыемствам на аснове сукупнасці экалагічных і эканамічных паказчыкаў з улікам галіновых асаблівасцей вытворчасці. Навукова-практычныя падходы, прадстаўленыя ў артыкуле, дазваляюць у сукупнасці тэхнічных, экалагічных і эканамічных аспектаў дзейнасці прадпрыемства выбраць найбольш аптымальныя спосабы прадукінення ўтварэння сцёкавых вод і тэхналогіі іх ачысткі.

Ключавыя словы: сцёкавыя воды, ачышчальныя збудаванні, тэхналогія ачысткі, найлепшыя даступныя тэхнічныя метады

Введение. Обеспечение благоприятной окружающей среды – конституционное право граждан Республики Беларусь. Водные ресурсы являются одним из основных компонентов природной среды, качество которых для человека имеет первостепенное значение. При этом водные ресурсы могут выступать сырьем, вспомогательным материалом, неотъемлемой частью технологического процесса для большинства видов экономической деятельности. В результате использования водных ресурсов на большинстве предприятий образуются сточные воды, содержащие

различные загрязняющие вещества и показатели. Отведение сточных вод предприятий осуществляется как напрямую в окружающую среду (в поверхностные водные объекты или в подземные горизонты с использованием методов почвенной очистки сточных вод), так и в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов с последующим их поступлением на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов. Таким образом, основными «поставщиками» загрязняющих веществ в водные объекты являются предприятия водопроводно-канализационного и жилищно-коммунального хозяйств, на балансе которых находятся коммунальные очистные сооружения населенных пунктов, а также крупные промышленные предприятия страны, которые отводят сточные воды в окружающую среду посредством самостоятельных выпусков.

По данным Государственного водного кадастра объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты в 2020 г. составил 1034,5 млн м³ [1]. В 2020 г. в водные объекты в составе сточных вод сброшено 15 тыс. т взвешенных веществ, 11 тыс. т органических веществ (по БПК₅), 74 тыс. т хлорид-ионов, 46 тыс. т сульфат-ионов, 5 тыс. т аммоний-ионов, а также значительное количество металлов (270 т железа, 17 т цинка, 3 т меди) и другие специфические загрязняющие вещества.

Преобладающая часть промышленных предприятий, сбрасывающих сточные воды в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов, не имеет собственных очистных сооружений (пищевая промышленность, деревообработка, энергетика, фармацевтика, машиностроение), что обусловлено отсутствием национальных требований по предварительной очистке производственных сточных вод перед их отведением в систему канализации населенного пункта.

Производственные сточные воды при их сбросе в централизованную систему водоотведения (канализации) населенного пункта без предварительной очистки, особенно при залповом сбросе, существенно нарушают работу коммунальных очистных сооружений, ухудшая процессы биологической очистки сточных вод на них. Вследствие снижения эффективности работы коммунальных очистных сооружений ухудшается качество сточных вод, отводимых после очистки в водные объекты.

В законодательстве Республики Беларусь установлена обязательность внедрения природопользователями наилучших доступных технических методов (НДТМ), в том числе для очистки сточных вод. Вместе с тем выбор наиболее оптимальных для предприятия НДТМ является сложным процессом, требующим глубокого многофакторного анализа существующей экологической ситуации на предприятии, технологического процесса и оказываемого на всех его этапах воздействия на окружающую среду, оценки технической, технологической и экономической возможности применения того или иного метода.

Методическая часть. Согласно основополагающему законодательному акту Республики Беларусь в области охраны и использования водных ресурсов – Водному кодексу, сточные воды – воды, сбрасываемые от жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после использования их в хозяйственной и иной деятельности, а также воды, образующиеся при выпадении атмосферных осадков, таянии снега, поливке и мытье дорожных покрытий (поливомоечные работы) на территории населенных пунктов, объектов промышленности, строительных площадок и других объектов и сбрасываемые в окружающую среду, в том числе через систему канализации [2].

Таким образом, производственная площадка любого предприятия является источником поступления производственных, хозяйственно-бытовых и поверхностных сточных вод. И если хозяйственно-бытовые и поверхностные сточные воды в большинстве своем от источника к источнику имеют сопоставимый состав качественных характеристик, производственные сточные воды, их объем и качественный состав существенно разнятся в зависимости от вида экономической деятельности предприятия.

Согласно национальному законодательству, сброс сточных вод в поверхностные водные объекты допускается, если содержание загрязняющих веществ и показателей в них не превышает установленных разрешениями на специальное водопользование или комплексными

природоохранными разрешениями нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод [2]. При этом показатели сброса сточных вод в поверхностные водные объекты включают:

сброс нормативно очищенной сточной воды – объем сточной воды, содержание загрязняющих веществ в которой не превышает нормативы допустимого сброса химических и иных веществ в составе сточной воды, установленные в разрешениях на специальное водопользование или комплексных природоохранных разрешениях;

сброс недостаточно очищенной сточной воды – объем сточной воды, сброшенной с нарушением, в том числе в результате аварийного загрязнения, либо содержание загрязняющих веществ и показателей в которой превышает нормативы допустимого сброса химических и иных веществ в составе сточной воды, установленные в разрешениях на специальное водопользование или комплексных природоохранных разрешениях;

сброс сточной воды в поверхностные водные объекты без предварительной очистки – объем сточной воды, качество которой позволяет сбрасывать ее в поверхностный водный объект без предварительной очистки.

Динамика обеспечения качества сбрасываемых сточных вод в окружающую среду за десятилетний период (табл. 1) указывает, что преобладающий объем сточных вод за 2012–2020 гг. сбрасывается именно в поверхностные водные объекты (89,3–92,4 % от всего объема сточных вод) [3].

Т а б л и ц а 1. Динамика сброса сточных вод в поверхностные водные объекты в 2012–2020 гг. [3]

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Сброс сточных вод в окружающую среду, всего, млн м ³	1099	1058	1034	948	1153	1163	1152	1141	1152
в том числе в водные объекты, млн м ³	1015,4	973,9	954,4	869,8	1048,4	1052,3	1034,0	1019,1	1034,5
Доля сточных вод, сброшенных в водные объекты, %	92,4	92,1	92,3	91,8	90,9	90,1	89,8	89,3	89,8
в том числе сброс сточных вод в водные объекты по категориям очистки:									
нормативно очищенных сточных вод, млн м ³	667,0	654,0	635,0	618,0	703,0	694,0	689,1	689,2	692,5
недостаточно очищенных сточных вод, млн м ³	3,4	2,9	3,4	5,7	6,4	4,3	4,0	4,1	2,7
сточных вод без их предварительной очистки, млн м ³	345,0	317,0	316,0	246,1	339,0	354,0	340,9	325,8	339,3

Как видно из табл. 1, основной объем составляет сброс нормативно очищенных сточных вод, доля которых находится в диапазоне 65,7–71,1 % от общего объема сточных вод, сброшенных в водные объекты в период 2012–2020 гг. Объемы недостаточно очищенных сточных вод за анализируемый период находятся на уровне 6,4–2,7 млн м³ в год и составляют 0,4–0,9 % от общего объема сточных вод, прошедших очистку перед сбросом в водные объекты.

Анализируя структуру сброса недостаточно очищенных сточных вод необходимо отметить, что к основным предприятиям, осуществляющим сброс таких вод (более 70 % от объема сброса недостаточно очищенных сточных вод), относятся предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), обслуживающие коммунальные очистные сооружения населенных пунктов.

В соответствии с Общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности» (далее – ОКЭД РБ) [4] и проведенным анализом данных государственной статистической отчетности по форме 1-вода (Минприроды) [5], организации ВКХ и ЖКХ, осуществляющие сбор, транспортировку и очистку сточных вод, относятся к подвидам экономической деятельности «Сбор и обработка сточных вод» и «Сбор, обработка и распределение воды» и занимают преобладающую долю по объему сброса сточных вод по виду экономической деятельности «Водоснабжение, удаление отходов».

Распределение сброса сточных вод по видам экономической деятельности за 2020 г. представлено на рис. 1. Очевидно, что основной объем сброса сточных вод (49,7 % от общего объема сброса сточных вод в водные объекты) приходится на предприятия ВКХ и ЖКХ, принимающие значительные объемы производственных сточных вод от предприятий и организаций для их последующей очистки на очистных сооружениях населенных пунктов.

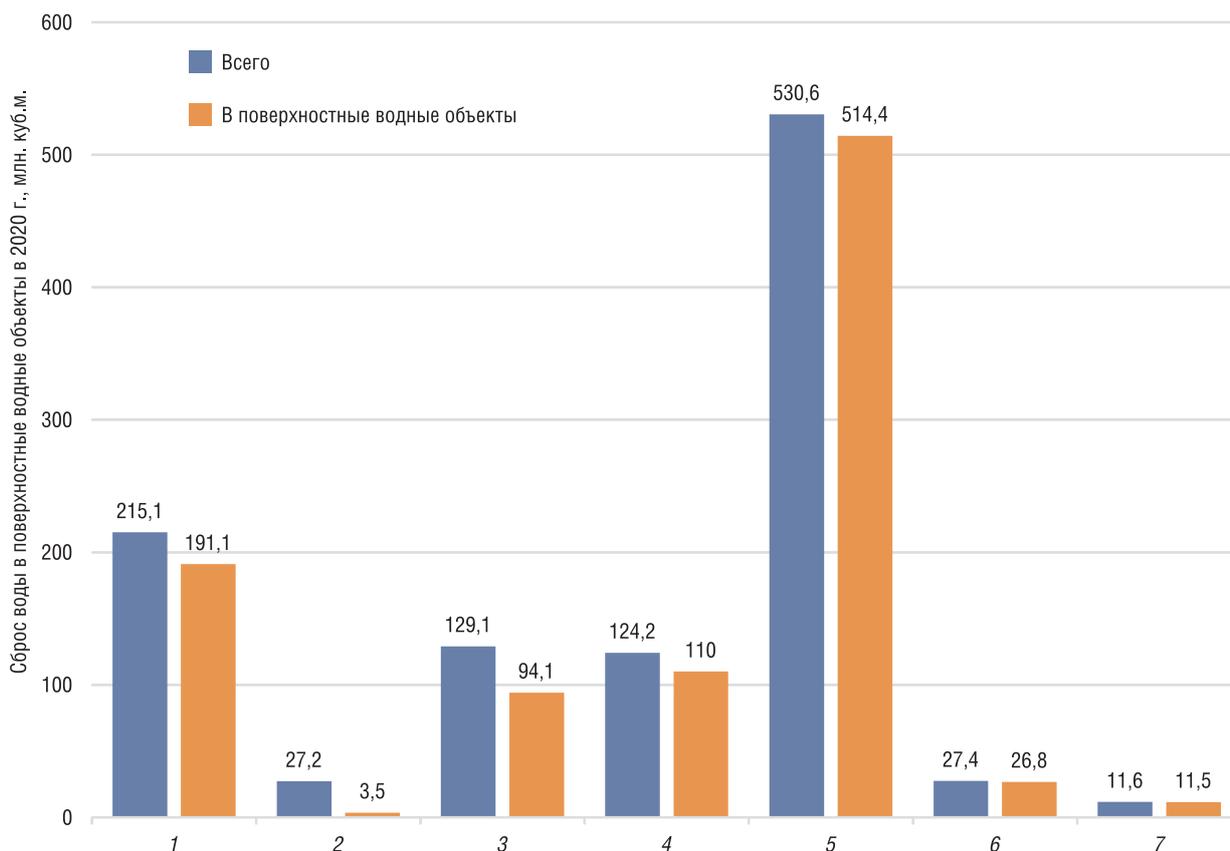


Рис. 1. Сброс сточных вод по видам экономической деятельности за 2020 г.: 1 – сельское, лесное и рыбное хозяйства; 2 – горнодобывающая промышленность; 3 – обрабатывающая промышленность; 4 – снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой; 5 – водоснабжение, удаление отходов; 6 – строительство; 7 – услуги по временному проживанию и питанию

Согласно данным государственной статистики и проводимым РУП «ЦНИИКИВР» исследованиям по данной тематике [6], для г. Минска и пяти областных городов страны доля производственных сточных вод колеблется от 4,61 до 26,22 % от общего объема сточных вод на приемной камере очистных сооружений населенного пункта, в отдельных районных центрах объем производственных сточных вод достигает 49,91 % от общего объема.

Отраслевая специфика предприятий и существующие на них технологические процессы непосредственно влияют на качество производственных сточных вод и диапазоны содержания в них специфических загрязняющих веществ даже в пределах одного вида экономической деятельности, вследствие чего необходим дифференцированный подход к формированию отраслевых технологий очистки производственных сточных вод с учетом возможности применения НДТМ при их очистке.

Основными загрязняющим веществами, содержащимися в большинстве производственных сточных вод, являются взвешенные вещества, масла и нефтепродукты, ионы тяжелых металлов, а также органические загрязнения, характеризующиеся показателями БПК и ХПК, соединениями азота и фосфора. Анализ имеющихся европейских справочных руководств по НДТМ на предмет содержания в них информации по перечню специфических загрязняющих веществ в составе сточных вод позволил определить основные виды экономической деятельности с наиболее широким спектром загрязняющих веществ и показателей в составе производственных сточных вод в зависимости от применяемых производственных процессов.

В сельском хозяйстве сточные воды образуются преимущественно на животноводческих и птицеводческих комплексах, а также при сбросе воды при опорожнении рыбоводных прудов. Сточные воды сельскохозяйственных производств содержат прежде всего большое количество

органических загрязняющих веществ. В поверхностных и подземных водах, находящихся вблизи животноводческих и птицеводческих комплексов, отмечается наличие соединений азота и фосфора, солей отдельных тяжелых металлов, высокая бактериальная обсемененность, в том числе и патогенными микроорганизмами [7].

Сточные воды нефтеперерабатывающей промышленности включают в себя следующие загрязняющие вещества: взвешенные вещества, нефтепродукты, масла, фенол, карбамид, ароматические углеводороды, аммонийный азот, парафины, сульфаты, жирные кислоты, поверхностно-активные вещества и др. [8].

При производстве аммиака наиболее загрязненными являются сточные воды установок медно-аммиачной и щелочной очистки газа и регенерации медно-аммиачного раствора. Очистку сточных вод от аммиака производят различными методами (электродиализ, паровая отдувка, ионный обмен и т. д.) [9].

Получение карбамида, наиболее востребованного азотного удобрения, связано с образованием большого количества реакционной воды. Сточными водами при производстве карбамида являются также конденсат острого пара, вода, образующаяся при охлаждении сальников плунжерных насосов, смывы с полов и другие неорганизованные сбросы сточных вод [10].

При производстве серной и соляной кислот образуются сточные воды с остаточным содержанием применяемых и обрабатываемых продуктов. Для их нейтрализации применяют известковые или доломитовые фильтры. Производство фосфорной кислоты и фосфорных удобрений сопряжено с образованием сточных вод с высоким содержанием общего фосфора [10].

Образующиеся на металлургических предприятиях основные объемы сточных вод связаны с эксплуатацией оборотных циклов (систем) водоснабжения и загрязнены в основном взвешенными веществами, маслами, нефтепродуктами. Сточные воды холодного проката содержат применяющиеся в процессах смазочно-охлаждающие жидкости в виде эмульсии и мелкодисперсные механические примеси, потому система их очистки включает физико-химические методы с использованием реагентов [11].

Технологическое металлургическое производство включает также травильные цехи, от которых образуются сточные воды, представляющие отработанные травильные растворы и промывные воды, для очистки которых применяются нейтрализация, ионный обмен, электрохимическая очистка и др. Заводы полного металлургического цикла включают коксохимическое производство, в котором образуются фенольные, аммиачные сточные воды, где, кроме того, содержатся мелкодисперсные взвешенные частицы. Сточная вода может содержать сульфиды, цианиды, сульфаты, хлориды, смолы, масла. Очистка сточных вод коксохимического производства осуществляется механическими, физико-химическими и биохимическими методами [11].

Сточные воды предприятий целлюлозно-бумажной промышленности характеризуются многокомпонентным составом, содержащим значительное количество взвешенных веществ, растворенных неорганических компонентов, легко- и трудноокисляемых органических веществ (по БПК и ХПК) [12].

Сточные воды предприятий энергетического комплекса образуются от процессов водоподготовки (регенерационные и шламовые воды от водоподготовительных установок), промывки механических фильтров, удаления шламовых вод осветлителей, регенерации фильтров, мойки оборудования, от систем гидрозолоулавливания и мазутного хозяйства. Они содержат прежде всего высокие концентрации солей кальция, магния, натрия, алюминия, железа, масел и нефтепродуктов [13].

Сточные воды предприятий пищевой промышленности имеют наиболее широкий спектр загрязняющих веществ, напрямую зависящий от специализации пищевого производства [14]. В соответствии с Общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности» (ОКЭД) предприятия, относящиеся к пищевой промышленности, входят в состав подсекции СА «Производство продуктов питания, напитков и табачных изделий» секции С «Обрабатывающая промышленность». Проанализировав количество предприятий пищевой промышленности, представляющих го-

сударственную статистическую отчетность по форме 1-вода (Минприроды), а также учитывая специфику технологических процессов, можно сделать вывод, что наибольший объем сточных вод образуется при осуществлении следующих видов деятельности в соответствии с ОКЭД: переработка молока, кроме консервирования, и производство сыров (85 предприятий), производство продуктов из мяса и мяса сельскохозяйственной птицы (39 предприятий) и переработка и консервирование мяса (9 предприятий). Указанные предприятия отрасли характеризуются значительными объемами водопотребления на производственные нужды и более 50 % из них отводит производственные сточные воды в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов, оставшиеся предприятия сбрасывают сточные воды после очистки в водные объекты или отводят в подземные горизонты с использованием методов почвенной очистки сточных вод (поля фильтрации).

Сточные воды от указанных видов деятельности образуются при мойке сырья, оборудования, производственных помещений, а также после использования воды и пара в технологических процессах. Образующиеся сточные воды (как в виде локальных, так и смешанных потоков) содержат широкий спектр органических загрязняющих веществ: животные и растительные жиры, белки (в том числе кровь), крахмал, сахар, а также соли, углеводы, красители, загустители, ПАВы, консерванты, ароматизаторы, усилители вкуса и т. п.

Специфика технологических процессов рассматриваемых предприятий обуславливает внутрисуточную неравномерность образования сточных вод и их поступления на очистные сооружения, а также значительные колебания диапазонов концентраций загрязняющих веществ и показателей в их составе, что требует, как минимум, усреднения потоков сточных вод после их механической очистки и отстаивания. Для очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности используют комплекс методов механической, физико-химической и биологической очистки, при этом наличие очистных сооружений и их состав зависит от приемника сточных вод (централизованная система канализации населенного пункта или водный объект).

В качестве методов физико-химической очистки используют, как правило, реагентную или безреагентную флотацию. При необходимости использования биологической очистки используют биологическую очистку в искусственных условиях (в аэротенках, на биологических фильтрах и в биореакторах) от растворенных органических веществ [15].

Таким образом, отраслевые промышленные процессы определяют состав образующихся сточных вод, что в обязательном порядке должно учитываться при выборе метода их очистки для обеспечения максимально возможной эффективности удаления загрязняющих веществ из сточных вод.

При производстве мяса и птицы сточные воды являются основным неблагоприятным видом воздействия на окружающую среду [16]. Главными особенностями сточных вод от процессов переработки мяса являются неравномерность их образования и поступления, колебание состава и концентрации загрязняющих веществ, значительное содержание органических веществ.

Рассмотрим аспекты производственных процессов мясоперерабатывающих предприятий, влияющие на условия образования и состав сточных вод. Общими для производства большинства видов продукции мясоперерабатывающей промышленности типовыми операциями являются (рис. 2): перемещение и хранение материала, размораживание, разделка, нарезание ломтиками, шинкование, помол через мясорубку, протирание и прессование, смешивание/купажирование, гомогенизация, растирание/помол и дробление, формовка/разливка по формам и экструдирование.

Сточные воды указанных технологических процессов образуются по причине утечек при очистке оборудования и характеризуются содержанием растворов кислоты/щелочи, жиров, нитратов, нитритов, аммиака и фосфатов. В зависимости от конечного продукта, последующие операции включают: соление/вяление и маринование, копчение, варку.

В процессе соления/вяления и маринования рассол (или его избыточное количество) удаляется после использования – сбрасывается как сточные воды в систему канализации предприятия, обуславливая повышенные концентрации в сточной воде поваренной соли, а также

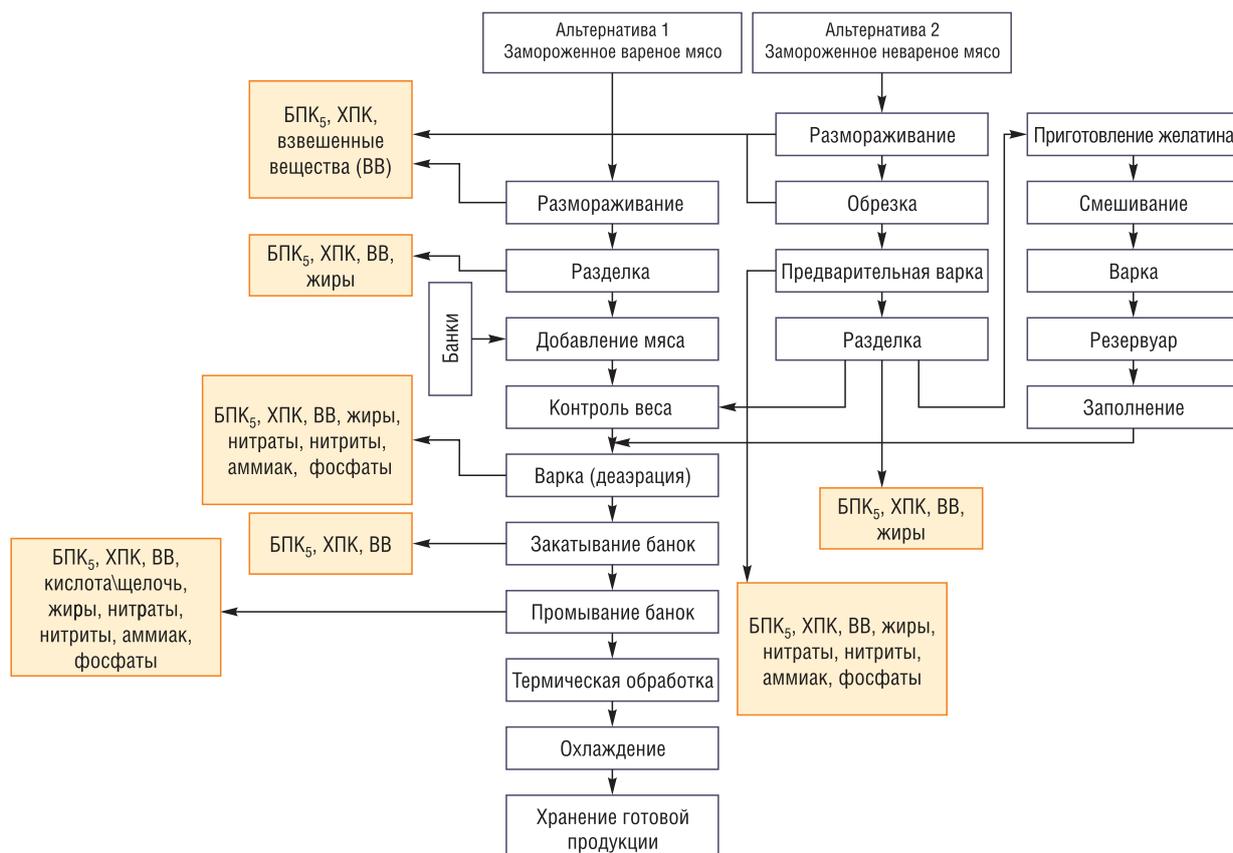


Рис. 2. Схема основного технологического процесса переработки и консервирования мяса и птицы и влияние основных этапов на соответствующие показатели сточных вод

растворимых компонентов продукта, таких как белки, жиры, кислоты, которые выделяются из продукта во время соления. При очистке помещений и оборудования также образуются сточные воды, содержащие остатки посолочных компонентов, остатки продукта, растворенные органические вещества, растворенные твердые частицы и взвешенные вещества, моющие и дезинфицирующие средства. Сточные воды от процесса копчения содержат растворимые органические вещества, остатки химических компонентов пара и жидкую фазу дыма. Сточные воды от процесса варки образуются во время переработки и очистки, содержат в основном остатки продукта, растворенные органические и взвешенные вещества, жиры, растворенные твердые частицы и, возможно, нитраты, нитриты, аммиак и фосфаты.

Учитывая образование сточных вод на различных стадиях технологического процесса, методы, позволяющие сократить объем образования и загрязнения сточных вод, должны быть интегрированными в технологический процесс и не ограничиваться только методами «на конце трубы»: выравнивание (усреднение) потока сточных вод; первичное просеивание твердых веществ, осаждение; применение жироловок; нейтрализация сточных вод; флотация; биологическая очистка, включая глубокое удаление азота; реагентное удаление фосфора; обращение с осадком сточных вод (сбраживание осадка и использование метана для производства тепла и/или энергии); повторное использование воды после ее очистки и дезинфекции. Осадок сточных вод также может быть переработан путем его стабилизации, уплотнения, обезвоживания и сушки.

Кроме того, существует ряд методов, позволяющих сократить образование сточных вод: автоматическая подача воды на отдельные техпроцессы (исключение ручных моек); разморозка на воздухе; исключение прямоточных систем мойки оборудования; возврат в производство и повторное использование конденсата и т. д.

Проведенный по результатам анкетирования анализ существующих на мясоперерабатывающих предприятиях Республики Беларусь методов предотвращения образования/загрязнения и очистки сточных вод позволил сформировать следующие основные тенденции в использовании НДТМ:

1. На большинстве предприятий имеются интегрированные в технологический процесс методы, позволяющие сократить образование сточных вод и частично снизить их загрязнение: устранение протечек и проливов, наличие ловушек над стоками в полу; на некоторых предприятиях применяются СІР-мойки и сухая мойка оборудования; с целью сокращения расхода воды моечные шланги оборудованы управляемыми вручную пусковыми механизмами.

2. Состав очистных сооружений варьирует от одноступенчатых сооружений механической очистки до сооружений полной биологической очистки сточных вод в искусственных условиях с элементами доочистки от азота и фосфора.

3. Наблюдается тенденция применения механической очистки сточных вод на предприятиях, где используются интегрированные в процесс методы сокращения загрязнения сточных вод и, наоборот, на предприятиях, на которых такие методы не применяются, функционируют более сложные системы очистки сточных вод.

4. Анализ эффективности эксплуатируемых очистных сооружений указывает, что средняя эффективность очистки сточных вод колеблется на уровне 60–70 %, а по ряду показателей – значительно ниже или даже стремится к нулю, что позволяет предположить, что выбор используемых методов очистки не является оптимальным и, вероятно, не учитывает технологическую специфику предприятий.

Водным кодексом Республики Беларусь определено, что водопользователи обязаны внедрять НДТМ, которые в отношении обращения со сточными водами можно охарактеризовать как технологические процессы, методы, порядок организации производства продукции, выполнения работ или оказания услуг, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений и оборудования, обеспечивающие уменьшение и (или) предотвращение поступления загрязняющих веществ в составе сточных вод по сравнению с применяемыми и являющиеся наиболее эффективными для обеспечения нормативов сброса сточных вод при условии экономической целесообразности и технической возможности их применения.

Таким образом, следует найти такой метод (совокупность методов, технологий), который обеспечит сбор и очистку сточных вод до установленных значений при минимально возможных экономических затратах. Критериями, по которым можно выбрать подходящий НДТМ, в общем случае являются: использование малоотходных технологий и менее опасных веществ, материалов и реагентов; возможность восстановления и рециркуляция веществ, образующихся и используемых в процессе очистки; характер, последствия и объем соответствующих выбросов, образования отходов; возможность использования отходов, образующихся в процессе очистки; расход материалов и реагентов, используемых в процессе очистки сточных вод; промышленный опыт применения технологии; энергоэффективность.

Выбор подходящего НДТМ для очистки сточных вод можно при сопоставлении экологических, экономических и технических факторов (рис. 3).

Учитывая разноплановость указанных на рис. 3 факторов, процесс выбора НДТМ является достаточно сложным, но вместе с тем он должен в качестве результата представлять понятные и сопоставимые данные. Предлагаемый алгоритм выбора НДТМ включает следующие этапы, представленные на рис. 4, и предполагающие проведение как качественных, так и количественных оценок.

На начальном этапе определяется проблема, решить которую призвано внедрение НДТМ, например, большой объем водоотведения или регулярное превышение допустимой концентрации загрязняющего вещества или показателя в составе сбрасываемых сточных вод.

Исходя из обозначенной проблемы на втором этапе необходимо определить как можно более широкий перечень «потенциальных» НДТМ, которые могут использоваться для решения проблемы. Формирование перечня НДТМ следует осуществлять на основании пособий по наилучшим доступным техническим методам.



Рис. 3. Факторы выбора технологии очистки сточных вод

На третьем этапе проводится оценка технической осуществимости выбранного НДТМ, которая предполагает, что метод уже используется на аналогичных предприятиях в аналогичных условиях, т.е. имеется реальный практический опыт его применения.

На четвертом этапе проводится качественная оценка экологической эффективности метода: как его внедрение повлияет на иные компоненты природной среды (будет ли увеличен объем образования отходов в виде осадка сточных вод, будет ли метод (технология) сопровождаться выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух), т.е. важно оценить не спровоцирует ли его применение иные проблемы. Таким образом, проводя качественную оценку, можно «отсеять» неподходящие методы и в дальнейшем анализировать оставшиеся.

«Качественная» экологическая оценка предполагает анализ сравнения данных о фактическом применении метода в сопоставимых условиях с текущим состоянием на предприятии и установленными нормативами.

Следующим шагом является переход к третьей «составляющей» НДТМ – экономической, которая предполагает сбор информации о затратах на внедрение метода (технологии). На данном этапе сбор информации должен основываться как на информации производителей и поставщиков природоохранных технологий, так и по возможности на опыте других предприятий, применяющих данный метод (технологии). При этом затраты должны включать: затраты на приобретение основного и вспомогательного (запасного) оборудования, аппаратуры и инструментов, а также их доставку; на установку и монтаж оборудования; эксплуатационные затраты; затраты на охрану окружающей среды; на закупку энергоносителей (электроэнергии, природного газа или других видов топлива); на оплату труда специалистов, эксплуатирующих оборудование.

Заключительным этапом для выбора НДТМ является определение экономической эффективности каждого метода (технологии), т.е. сопоставление затрат, рассчитанных на третьем этапе, и потенциально достигнутого экологического эффекта, что проводится по формуле:

$$KE = \frac{\text{годовые затраты, руб}}{\text{годовое сокращение массы загрязняющего вещества, кг}}$$

Таким образом, проведя эколого-экономическую оценку каждого из потенциальных НДТМ и сравнивая результаты их экономической эффективности по приведенной выше формуле, можно выбрать наилучший метод, обеспечивающий максимальное сокращение воздействия на окружающую среду при минимальных затратах. Важным аспектом качественного проведения оценки по описанному алгоритму является полнота и достоверность используемых данных, а также точность расчетов.

Сбор, накопление и распространение информации о практическом опыте применения НДТМ становится все более актуальным, что требует создания соответствующей базы данных, формируемой прежде всего на основе информации природопользователей и территориальных органов Минприроды о применяемых НДТМ. Это предусмотрено как одно из мероприятий проекта Национального плана действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2025 года. Несмотря на то что проведение оценки методов (технологий) очистки сточных вод по предлагаемой методологии является достаточно трудоемким процессом, это позволит исключить ошибки неправильного выбора методов очистки, повысить ее эффективность и способствовать сохранению качества воды водных объектов.

Заключение. В Республике Беларусь ежегодный объем сброса сточных вод в окружающую среду составляет около 1 млрд м³, при этом около 90 % от общего объема образования сточных вод сбрасывается в поверхностные водные объекты. Основными источниками поступления загрязняющих веществ в водные объекты являются промышленные предприятия, сбрасывающие сточные воды либо напрямую в окружающую среду (в поверхностные водные объекты или в подземные горизонты с использованием методов почвенной очистки сточных вод), либо через централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов. Качество производственных сточных вод зависит как от применяемых технологий производства, сырья, материалов, так и применяемых методов предотвращения образования сточных вод и применяемых технологий их очистки. Для сохранения качества воды водных объектов и учитывая моральный и физический износ, низкую эффективность очистки сточных вод очистных сооружений населенных пунктов, предприятия все чаще сталкиваются с вопросом выбора методов (технологий) очистки сточных вод.

При этом следует учитывать, что исключительно очистные сооружения – это метод «на конце трубы», и он не всегда является оптимальным решением проблемы загрязнения водных объектов. Поиск комбинации интегрированных в процесс производства методов с одновременным применением различных технологий очистки сточных вод позволит найти оптимальное решение с экономической и экологической точек зрения, а также учесть технологические особенности предприятия.

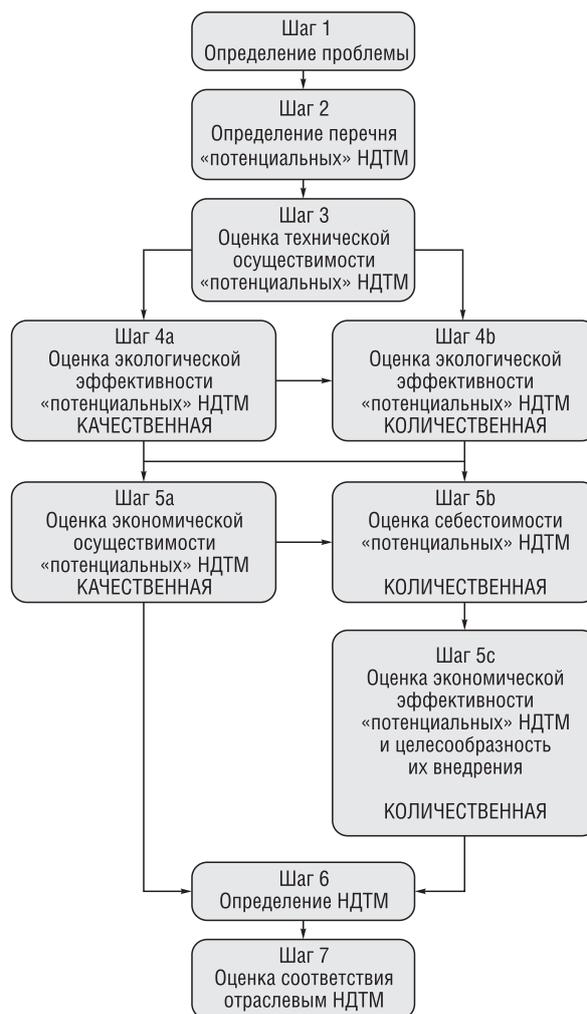


Рис. 4. Алгоритм выбора НДТМ при очистке сточных вод

Указанная концепция носит название «наилучшие доступные технические методы», которые не являются унифицированными и подлежат определению для каждого конкретного предприятия с учетом его особенностей, условий и проблем. Учитывая, что внедрение НДТМ – законодательно закреплённая норма, разработка практических механизмов и методов их подбора становится актуальной задачей практически для каждого предприятия Республики Беларусь.

Список использованных источников

1. Государственный водный кадастр Республики Беларусь [Электронный ресурс]: // РУП «Центр. науч.-исследоват. ин-т комплексного использования водных ресурсов». – Режим доступа: <http://178.172.161.32:8081/watstat/data/>. – Дата доступа: 21.09.2021.
2. Водный кодекс Республики Беларусь: Закон Республики Беларусь, 30 апреля 2014 г., №149-З // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь, 16 мая 2014 г. – №2/2147.
3. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь за 2017 год: стат. сб. [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/ofitsialnye-publikatsii_17/index_17589/. – Дата доступа: 20.09.2021.
4. Виды экономической деятельности: общегосударственный классификатор Республики Беларусь, ОКРБ 005-2011. – Введ. 01.01.2016/. – Минск: Гос. комитет по стандарт., 2016.
5. Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании воды» и указаний по ее заполнению: постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь, 11 ноября 2016 г., № 169// ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016.
6. Голод, Ю. В. Совершенствование законодательства Республики Беларусь в области учета сточных вод, поступающих в централизованные системы канализации населенных пунктов / Ю. В. Голод, С. А. Дубенок // XVI Междунар. науч.-практ. симпозиум и выставка «Чистая вода России-2021», Екатеринбург 17–20 мая 2021 г. / Рос. науч.-исследоват. ин-т комплексного использования и охраны водных ресурсов; редкол. М. Г. Морозов [и др.]. – Екатеринбург, 2021 – С. 22–30.
7. Reference Document on Best Available Techniques for the Intensive Rearing of Poultry and Pigs / Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – July 2003. – P. 383.
8. Reference Document on Best Available Techniques for the Refining of Mineral Oil and Gas Text / Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – October 2014. – P. 654.
9. Reference Document on Best Available Techniques for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector Text / Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – August, 2016. – P. 664.
10. Reference Document on Best Available Techniques for the Large Volume Inorganic Chemical – Ammonia, Acids and Fertilisers / Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – August, 2007. – P. 446.
11. Reference Document on Best Available Techniques for the Ferrous Metals Processing Industry / Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – December, 2001. – P. 538.
12. Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Pulp, Paper and Board / Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – July, 2015. – P. 906.
13. Reference Document on Best Available Techniques for the Large Combustion Plants / Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – July, 2006. – P. 618.
14. Reference Document on Best Available Techniques for the Food, Drink and Milk Industries Text / Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – August, 2006. – P. 682.
15. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод: гос. стандарт Респ. Беларусь, СТБ 17.06.02-03-2015. – Введ. 01.12.2015/ – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015. – 32 с.
16. Охрана окружающей среды и природопользование. Наилучшие доступные технические методы для производства продуктов питания, напитков и молока: пособие в области охраны окружающей среды: П-ООС 17.02-03-2012. – Минск, Центр по наил. дост. техн. методам, 2012. – 707 с.

Поступила 13.10.2021