

ISSN 1810-9810

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

NATURAL RESOURCES

**№ 2
2020**

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 2020 г.

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

Галоўны рэдактар
Міхаіл Яфімавіч Нікіфараў

Рэдакцыйная калегія:
І. І. Ліштван (намеснік галоўнага рэдактара),
А. І. Чайкоўскі (намеснік галоўнага рэдактара),
Я. В. Рошчына (вядучы рэдактар журналу),
М. П. Аношка, У. М. Байчораў, А. І. Барадзін, С. У. Буга,
І. В. Войтаў, С. Я. Галаваты, М. Р. Гермянчук, В. І. Гіпчык,
В. В. Грычык, С. В. Дзямідава, С. А. Дубянок,
М. А. Ерэска, Дз. Л. Іваноў, А. І. Кавалевіч,
М. В. Клебановіч, А. М. Корбут,
К. У. Кузняцова, Б. В. Курзо, Р. Ю. Лабазнаў, В. В. Лапа,
С. А. Лысенка, А. А. Махнач, А. В. Нявераў,
А. В. Пугачэўскі, В. П. Сяменчанка, А. Э. Томсан,
В. С. Хоміч, У. У. Ціток, В. С. Шымава

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

Падпісныя індэксы:
012762 ведамасны
01276 індывідуальны

Камп'ютарная верстка Н. І. Кашуба
Падпісана да друку 11 снежня 2020 г.
Фармат 60 × 84 ¹/₈. Папера афсетная. Друк лічбавы.
Ум. друк. л. 16,97. Ул.-выд. л. 18,7.
Наклад 56 экз. Заказ 224.
Кошт: індывідуальная падпіска – 22,24 руб.,
ведамасная падпіска – 22,55 руб.

Выдавец і паліграфічнае выкананне:
Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства
«Выдавецкі дом «Беларуская навука».
Пасведчанні аб ДРВВРДВ № 1/18 ад 02.08.2013,
№ 2/196 ад 05.04.2017, ЛП № 02330/455 ад 30.12.2013.
Вул. Ф. Скарыны, 40, 220141, г. Мінск

Scientific Journal
“NATURAL RESOURCES”
Published since 1996
Issued twice a year
December 2020

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

Editor-in-Chief
Michael Yefimovich Nikiforov

Editorial board:
І. І. Lishtvan (Associate Editor-in-Chief)
А. І. Tchaikovsky (Associate Editor-in-Chief),
Ya.V. Roshchina (Lead Editor),
V. M. Baichorov, O. I. Borodin, S. V. Buga, I. V. Voitov,
M. G. Germenchuk, V. I. Gipchik, S. E. Golovaty, I,
V. V. Grichik, S. V. Demidova, S. A. Dubenok,
M. A. Yeresko, D. L. Ivanov, N. V. Klebanovich,
A. I. Kovalevich, A. N. Korbut, E. V. Kuznetsova,
B. V. Kurzo, R. Yu. Labaznov, V. V. Lapa, S. A. Lysenko,
A. A. Makhnach, A. V. Neverov,
M. P. Onoshko, A. V. Pugachevskii, V. P. Semenchenko,
V. V. Titok, A. E. Tomson, V. S. Khomich, O. S. Shimova

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

Subscription indices:
012762 departmental
01276 individual

Computer imposition N. I. Kashuba
Signed for publication December 11, 2020
Format 60 × 84 ¹/₈. Offset paper. Seal digital.
Related press sheet 16,97. Publisher's signatures 18,7.
Circulation 56 copies. Order 224.
Price: individual subscription – 22,24 BYN,
departmental subscription – 22,55 BYN.

Publisher and printing:
Republican Unitary Enterprise
“Publishing house “Belarusian Navuka”.
Certificates by SRPMDPE N 1/18 on 08.02.2013,
N 2/196 on 05.04.2017, LP N 02330/455 on 30.12.2013.
Str. Skorina, 40, 220141, Minsk

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

- Савченко С. В., Санец Е. В., Рыжиков В. А.** Оценка эколого-геохимического состояния почвенного покрова долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска 5

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Плакс Д. П., Заика Ю. В.** О желонских отложениях (франский ярус, верхний девон) Латвийской седловины в бассейнах рек Сарьянка и Росица (Беларусь) *(на англ. яз.)* 18

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

- Колобаев А. Н., Демидчик А. С.** Оценка трансграничного воздействия на водные ресурсы рек Беларуси .. 38
Гертман Л. Н., Станкевич А. П. Оценка поступления особо опасных загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты с предприятий Республики Беларусь 41
Захарко П. Н., Дубенок С. А. Возможности совершенствования нормирования водопользования на предприятиях по производству молочных продуктов в Республике Беларусь с учетом опыта сопредельных стран .. 49
Корнеев В. Н., Гертман Л. Н., Булак И. А. Гидроэнергетический потенциал средних и малых рек бассейнов Западной Двины, Днепр, Припять на территории Беларуси 63

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Тюлькова Е. Г., Карпиченко А. А.** Эколого-геохимическая оценка условий развития и адаптация древесных растений к техногенному воздействию (на примере г. Гомеля) 70

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Логинов В. Ф., Хитриков М. А.** Изменение характеристик увлажнения на территории Беларуси в 1955–2019 гг. 78
Божкова В. В., Болотько Л. М., Людчик А. М., Метельская Н. С., Умрейко С. Д., Чайковский А. П. Причины «странного» поведения приземного озона в апреле 2019 г. 94
Мельник В. И., Буяков И. В., Пискунович Н. Г., Шумская Т. Г. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории Белорусского Полесья в период современного потепления климата 104

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Чернюк В. Д., Кухарчик Т. И.** Полимерные отходы, потенциально содержащие бромированные антипирены: объемы образования, пространственное распределение, вторичная переработка в Беларуси 115
Мелех Д. В. Переход на методологию уровня 2 при оценке выбросов диоксида углерода от стационарного сжигания природного газа 125

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ – УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

- Власевский Е. А.** Методика оценки конкурентоспособности экономики административно-территориальных единиц Республики Беларусь и г. Минска 135

CONTENTS

SOIL AND LAND RESOURCES

- Savchenko S. V., Sanets E. V., Ryzhikov V. A.** Assessment of ecological and geochemical state of soil cover of the valley of Svisloch river within the water-green diameter of Minsk. 5

GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL RESOURCES

- Plax D. P., Zaika Yu. V.** On the Zhelon deposits (Frasnian, upper devonian) of the Latvian Saddle in the basins of the Saryanka and Rositsa rivers (Belarus) 18

WATER RESOURCES

- Kolobaev A. N., Demidchik A. S.** Estimation of transboundary influence on the water resources of the rivers of Belarus. 36
- Hertman L. N., Stankevich A. P.** Estimation of hazardous pollutants admission to surface water bodies from enterprises of the Republic of Belarus 41
- Zakharko P. N., Dubianok S. A.** Possibilities of improving the water use regulation at the enterprises for the production of dairy products in the Republic of Belarus, taking into account the experience of neighboring countries 49
- Korneev V. N., Hertman L. N., Bulak I. A.** Hydropower potential of medium and small rivers in the basins of the Western Dvina, Dnieper, Pripyat of Belarus 63

BIOLOGICAL RESOURCES

- Tyulkova E. G., Karpichenko A. A.** Ecological and geochemical assessment of the development conditions and adaptation of wood plants to technogenic effects (on example of the city of Gomel) 70

CLIMATIC RESOURCES

- Loginov V. F., Khitrykau M. A.** Changes in humidification characteristics on the territory of Belarus in 1955–2019 78
- Bozhkova V. V., Bolotsko L. M., Liudchik A. M., Miatelskaya N. S., Umreiko S. D., Chaikovsky A. P.** Origins of “unusual” surface ozone behavior in April 2019 94
- Melnik V. I., Buyakov I. V., Piskunovich N. G., Shumskaya T. G.** Assessment of moisture reserves and frequency of soil droughts on the territory of Belarusian Polesye during the period of modern climate warming 104

NATURE MANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES

- Chernyuk V. D., Kukharchyk T. I.** Plastic wastes potentially containing brominated flame retardants: volumes, spatial distribution and recycling in Belarus 115
- Melekh D. V.** Transition to the tier 2 methodology for estimating carbon dioxide emissions from stationary combustion of natural gas 125

NATURE MANAGEMENT – ADMINISTRATION AND ECONOMY

- Vlasevsky E. A.** Methodology for assessing the competitiveness of the economy of administrative-territorial units of the Republic of Belarus and the city of Minsk 135

ЗМЕСТ

ГЛЕБАВА-ЗЯМЕЛЬНЫЯ РЭСУРСЫ

- Саўчанка С. В., Санец А. В., Рыжыкаў В. А.** Ацэнка экалага-геахімічнага стану глебавага покрыва даліны р. Свіслачы ў межах водна-зялёнага дыяметра г. Мінска. 5

ГЕОЛАГА-МІНЕРАЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

- Плакс Дз., Заіка Ю. У.** Аб жэлонскіх адкладах (франскі ярус, верхні дэвон) Латвійскай седлавіны ў басейнах рэк Сар'янка і Росіца (Беларусь) 18

ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

- Калабаеў А. М., Дзямідчык А. С.** Ацэнка трансгранічнага ўздзеяння на водныя рэсурсы рэк Беларусі 36
- Гертман Л. М., Станкевіч А. П.** Ацэнка паступлення небяспечных забруджваючых рэчываў у паверхневыя водныя аб'екты з прадпрыемстваў Рэспублікі Беларусь 41
- Захарко П. М., Дубянок С. А.** Магчымасці дасканаласці нарміравання водакарыстання на прадпрыемствах па вытворчасці малочных прадуктаў у Рэспубліцы Беларусь з улікам вопыту сумежных краін 49
- Карнеёў У. М., Гертман Л. М., Булак І. А.** Гідраэнергетычны патэнцыял сярэдніх і малых рэк басейнаў Заходняга Дзвіна, Дняпр, Прыпяць на тэрыторыі Беларусі 63

БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

- Цюлькова А. Р., Карпічэнка А. А.** Экалага-геахімічная ацэнка ўмоў развіцця і адаптацыі драўняных раслін да тэхнагеннага ўздзеяння (на прыкладзе г. Гомеля) 70

КЛІМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

- Логінаў У. Ф., Хітрыкаў М. А.** Змяненне характарыстык увільгатнення на тэрыторыі Беларусі ў 1955–2019 гг. 78
- Бажкова В. В., Балацько Л. М., Людчык А. М., Мяцельская Н. С., Умрэйка С. Дз., Чайкоўскі А. П.** Прычыны “незвычайных” паводзінаў прыземнага аэзону ў красавіку 2019 г. 94
- Мельнік В. І., Буякоў І. В., Піскуновіч Н. Г., Шумская Т. Р.** Ацэнка запасаў вільгаці і паўтаральнасці глебавых засух на тэрыторыі Беларускага Палесся за перыяд сучаснага пацяплення клімату. 104

ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ, ЭКАЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ

- Чарнюк У. Д., Кухарчык Т. І.** Палімерныя адходы, якія патэнцыяльна ўтрымліваюць браміраваныя антыпірэны: аб'ёмы ўтварэння, тэрытарыяльнае размеркаванне, другасная перапрацоўка ў Беларусі 115
- Мелех Дз. У.** Пераход на метадалогію ўзроўню 2 пры ацэнцы выкідаў дыяксіду вугляроду ад стацыянарнага спальвання прыроднага газу 125

ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ – КІРАВАННЕ І ЭКАНОМІКА

- Власейскі Я. А.** Методыка ацэнкі канкурэнтаздольнасці эканомікі адміністрацыйна-тэрытарыяльных адзінак Рэспублікі Беларусь і г. Мінска. 135

ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ**SOIL AND LAND RESOURCES****ГЛЕБАВА-ЗЕМЕЛЬНЫЯ РЭСУРСЫ**

УДК 632.15:504.53(476)

С. В. Савченко, Е. В. Санец, В. А. Рыжиков*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: geosystem1@rambler.ru***ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ДОЛИНЫ
р. СВИСЛОЧИ В ПРЕДЕЛАХ ВОДНО-ЗЕЛЕННОГО ДИАМЕТРА г. МИНСКА**

Аннотация. Эколого-геохимические исследования почв долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска показали, что содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов, за исключением кадмия, ниже среднего для города значения. На отдельных локальных участках наблюдается загрязнение почв цинком и нефтепродуктами, а также кадмием и свинцом. В центральной части города по сравнению с периферийными территориями концентрации химических веществ увеличиваются от 1,3 раза для свинца до 3,7 раза для нефтепродуктов. На нижнем отрезке долины реки концентрации свинца, никеля и марганца увеличиваются, нефтепродуктов, кадмия, меди и цинка – снижаются. По линии поперечного профиля 1 в почвах идет накопление кадмия, в почвах элювиального ландшафта – никеля, трансэлювиального – свинца. Почвы профиля 2 отличаются повышенным содержанием кадмия, в элювиальном и трансуперэлювиальном ландшафтах – марганца, в трансуперэлювиальном ландшафте – цинка. В пробе воды, отобранной ниже по профилю 2, установлено высокое содержание нефтепродуктов, которое в 2,3 раза выше ПДК. Медь, цинк, свинец и марганец превышают природное фоновое содержание от 1,5 раза для меди до 40,6 раза для цинка.

Ключевые слова: долина реки, почвы, тяжелые металлы, нефтепродукты, среднеродское значение, гигиенические нормативы, загрязнение

S. V. Savchenko, E. V. Sanets, V. A. Ryzhikov*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: geosystem1@rambler.ru***ASSESSMENT OF ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STATE OF SOIL COVER OF THE VALLEY OF SVISLOCH
RIVER WITHIN THE WATER-GREEN DIAMETER OF MINSK**

Annotation. Ecological and geochemical studies of soil cover of the valley of Svisloch River within the water-green diameter of Minsk showed that the content of heavy metals and oil products, with the exception of cadmium, is below the average value for the city. In some local areas soil contamination with zinc and oil products as well as cadmium and lead is observed. In the central part of the city the concentrations of chemical substances increase from 1.3 times for lead to 3.7 times for oil products in comparison with the peripheral territories. In the lower section of river valley the concentrations of lead, nickel and manganese increase while the concentrations of oil products, cadmium, copper and zinc decrease. Along the line of transverse profile 1 cadmium is accumulated in soils. Nickel is also accumulated in soils of eluvial landscape and lead is accumulated in transeluvial landscapes. The soils of profile 2 are characterized by an increased content of cadmium and manganese in eluvial and transsuperaqual landscapes, zinc – in transsuperaqual landscapes. In the water sample taken downstream of profile 2 a high content of oil products was found – 2.3 times higher than the MPC. Concentrations of copper, zinc, lead and manganese exceed the natural background content from 1.5 times for copper to 40.6 times for zinc.

Keywords: river valley, soils, heavy metals, oil products, average city value, hygiene standards, pollution

С. В. Саўчанка, А. В. Санец, В. А. Рыжыкаў*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: geosystem1@rambler.ru***АЦЭНКА ЭКОЛАГА-ГЕАХІМІЧНАГА СТАНУ ГЛЕБАВАГА ПОКРЫВА ДАЛІНЫ р. СВІСЛАЧЫ
Ў МЕЖАХ ВОДНА-ЗЯЛЁНАГА ДЫЯМЕТРА г. МІНСКА**

Анатацыя. Эколага-геахімічны даследаванні глеб даліны р. Свіслачы ў межах водна-зялёнага дыяметра г. Мінска паказалі, што ўтрыманне цяжкіх металаў і нафтапрадуктаў, за выключэннем кадмію, ніжэй сярэдняга для горада значэння. На асобных лакальных участках назіраецца забруджванне глебаў цынкам і нафтапрадуктамі, а таксама

кадміям і свінцом. У цэнтральнай частцы горада ў параўнанні з перыферычнымі тэрыторыямі канцэнтрацыі хімічных рэчываў павялічваюцца ад 1,3 разу для свінцу да 3,7 разу для нафтапрадуктаў. На ніжнім адрэзку даліны ракі канцэнтрацыі свінцу, нікелю і марганцу павялічваюцца, нафтапрадуктаў, кадмію, медзі і цынку – змяншаюцца. Па лініі папярочнага профілю 1 у глебах ідзе назапашванне кадмію, у глебах элювіальнага ландшафту – нікелю, транс-элювіальнага – свінцу. Глебы профілю 2 адрозніваюцца павышаным утрыманнем кадмію, у элювіальным і транс-супераквальным ландшафтах – марганцу, у транс-супераквальным ландшафце – цынку. У пробе вады, адабранай ніжэй па профілю 2, устаноўлена высокае ўтрыманне нафтапрадуктаў, якое ў 2,3 разы вышэй ГДК. Медзь, цынк, свінец і марганец перавышаюць прыроднае фонавае ўтрыманне ад 1,5 разу для медзі да 40,6 разоў для цынку.

Ключавыя словы: даліна ракі, глебы, цяжкія металы, нафтапрадукты, сярэднегарадское значэнне, гігіенічныя нарматывы, забруджванне

Введение. Одним из направлений эколого-геохимического исследования городов является изучение городских водоемов и водотоков, а также их прибрежных территорий. По данным Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь в крупных и больших городах страны на долю водных объектов приходится от 0,5 до 8 % территории, в средних – от 0,2 до 5 % [1]. Как правило, водные объекты урбанизированных территорий относятся к многофункциональным, выполняя роль источников водоснабжения, транспортных артерий, объектов рекреации. Однако в последнее время акценты в их использовании все больше смещаются в сторону рекреационного использования как самих водных объектов, так и прилегающих территорий. При этом большое внимание уделяется состоянию прилегающих к водному объекту природных комплексов, в частности, почвенному покрову, так как почвы обладают высокой информативностью, депонируя загрязняющие вещества за длительный период времени [2–4].

При изучении городских водных объектов особого внимания требуют долины рек, так как их роль в функционировании города достаточно велика. Реки являются главным элементом экологического каркаса города, к ним приурочены значительные по площади ландшафтно-рекреационные территории, от качественного состояния почв которых зависит состояние растительности. Использование пойменных территорий как городских пляжей предполагает ужесточение санитарно-гигиенических требований к состоянию почвенного покрова. Кроме того, загрязнение почв прибрежных территорий оказывает негативное влияние на экологическое состояние самого водотока. В этой связи установленный для речных долин особый режим охраны, ограничивающий их хозяйственное использование, позволяет снизить антропогенное воздействие на данные территории.

В г. Минске самой крупной ландшафтно-рекреационной территорией, широкой полосой проходящей через весь город, является так называемый «водно-зеленый диаметр» (ВЗД), включающий систему озелененных территорий (парков, скверов, бульваров и пр.) и водоемов с обеих сторон р. Свислочи.

Обследование почвенного покрова в долине р. Свислочи проводилось в рамках оценки состояния природных комплексов водно-зеленого диаметра в границах существующей и перспективной городской черты, выполнявшейся при разработке Схемы градостроительного развития водно-зеленого диаметра г. Минска и проекта зон охраны объектов историко-культурного наследия по заданию УП «Минскградо» в 2019 г.

Характеристика объекта исследований. Река Свислочь протекает по территории г. Минска с северо-запада на юго-восток. В пределах современной городской черты имеет длину около 40 км, в пределах перспективной городской черты (территория от Заславского водохранилища до Минской кольцевой автомобильной дороги (МКАД)) – 5 км (с учетом длины расположенных на реке водохранилищ). Коэффициент извилистости реки на данном участке – 1,9. Русло извилистое, неразветвленное шириной 15–30 м, на расширениях – до 60 м. Преобладающие глубины по фарватеру – 1,5–2,0 м, скорость течения по стрежню – 0,2–0,5 м/с. Дно песчаное, у берегов заиленное. Берега на значительном протяжении обустроены.

В геоморфологическом отношении значительная часть р. Свислочи в пределах г. Минска существенно преобразована, при этом преобразованию подвержены как русло, так и прилегающие к нему участки долины реки. Долина унаследовала сквозную ложбину юго-восточного простиранья, в плане имеет извилистую форму. Средний уклон ее дна составляет 0,56 м/км, глубина увеличивается вниз по течению от нескольких метров до 20–22 м в районе д. Новый

Двор. Ширина изменяется от 0,2 до 1,0 км. Склоны долины выположенные, в северо-западной и центральной частях города незаметно сливаются с поверхностью долинного ландшафта, в юго-восточной части выражены более четко, имеют крутизну 12–15° и высоту около 18–20 м.

В долине выделяются пойма и первая надпойменная терраса. Пойма занимает большую часть днища долины и протягивается почти сплошной полосой вдоль русла. Ширина поймы изменяется от 50 до 600 м, высота до 1,8–2 м. Поверхность плоская или микроволнистая со слабым (до 1–3°) наклоном к руслу, участками заболоченная и заторфованная, ввиду регулирования стока не затопливается. Первая надпойменная терраса хорошо выражена в рельефе и фрагментами встречается почти по всей длине реки в черте города. Ее высота над урезом реки 5–6 м, ширина – не более 0,5 км. От поймы она отделена пологими склонами, а в местах подмыва рекой – крутыми уступами. Площадка террасы ровная, местами гребнистая, слабо наклонена в сторону р. Свислочи.

С точки зрения геохимии главной особенностью долинных комплексов является формирование отложений, связанных с эрозионной и аккумулятивной деятельностью рек, распространением речных песчаных осадков, наличием различных, присущих только речным долинам, особых форм рельефа.

В соответствии с особенностями геоморфологического строения, характера и направленности аллювиальных процессов на разных участках долины реки формируются различные геохимические обстановки и условия миграции и аккумуляции химических элементов. В долинах рек присутствует геохимический ряд элементарных ландшафтов, к которым относятся: элювиальные (коренной берег и верхняя часть надпойменной террасы), трансэлювиальные (ландшафты верхних частей склонов долины реки), трансэлювиально-аккумулятивные (ландшафты нижних частей склонов), элювиально-аккумулятивные (ландшафты сухих ложбин стока на склонах долины), аккумулятивно-элювиальные (участки местных замкнутых понижений с глубоким уровнем залегания грунтовых вод на склонах долины), транссупераквальные (пологонаклонные участки нижней части склонов долины реки и повышенные участки поймы) и собственно супераквальные (замкнутые понижения со слабым водообменом) [5]. Данные особенности строения долин рек необходимо учитывать при оценке латеральной и радиальной миграции химических элементов и их соединений в почвах долинного комплекса.

Методы исследований. Полевые исследования почв долины р. Свислочи проводились в весенний период 2019 г. в пределах предварительно выделенных границ ВЗД. При отборе проб почв использовался метод продольного и поперечного профилирования.

При продольном ландшафтно-геохимическом профилировании осуществлялось опробование верхнего почвенного горизонта (0–20 см) в наиболее хорошо выраженных элементах речной долины (пойма, надпойменная терраса, коренной берег) на всем протяжении реки. При этом точки отбора почв увязывались с точками проведенной в зимний период 2018–2019 гг. снеговой съемки, результаты которой представлены в [6]. Это дало возможность оценить роль аэрального поступления загрязняющих веществ в загрязнении почвенного покрова на территории ВЗД (рис. 1).

Поперечное профилирование включало отбор верхнего горизонта почв сопряженного геохимического ряда элементарных ландшафтов: элювиального–трансэлювиального–транссупераквального–супераквального.

Профиль 1 (точки отбора 1–3) заложен на правом берегу р. Свислочи в водоохранной зоне реки к западу от пересечения водотока и МКАД. По современному функциональному использованию территория относится к ландшафтно-рекреационной зоне, согласно Схеме озелененных территорий общего пользования – к резервным территориям природного комплекса [7]. На рис. 2 представлена схема расположения точек опробования и гипсометрический профиль по линии «точка 3–точка 1–точка 2». Профиль заложен по линии сопряженного геохимического ряда: элювиальный (точка 3)–трансэлювиальный (точка 1)–супераквальный (точка 2) элементарный ландшафт.

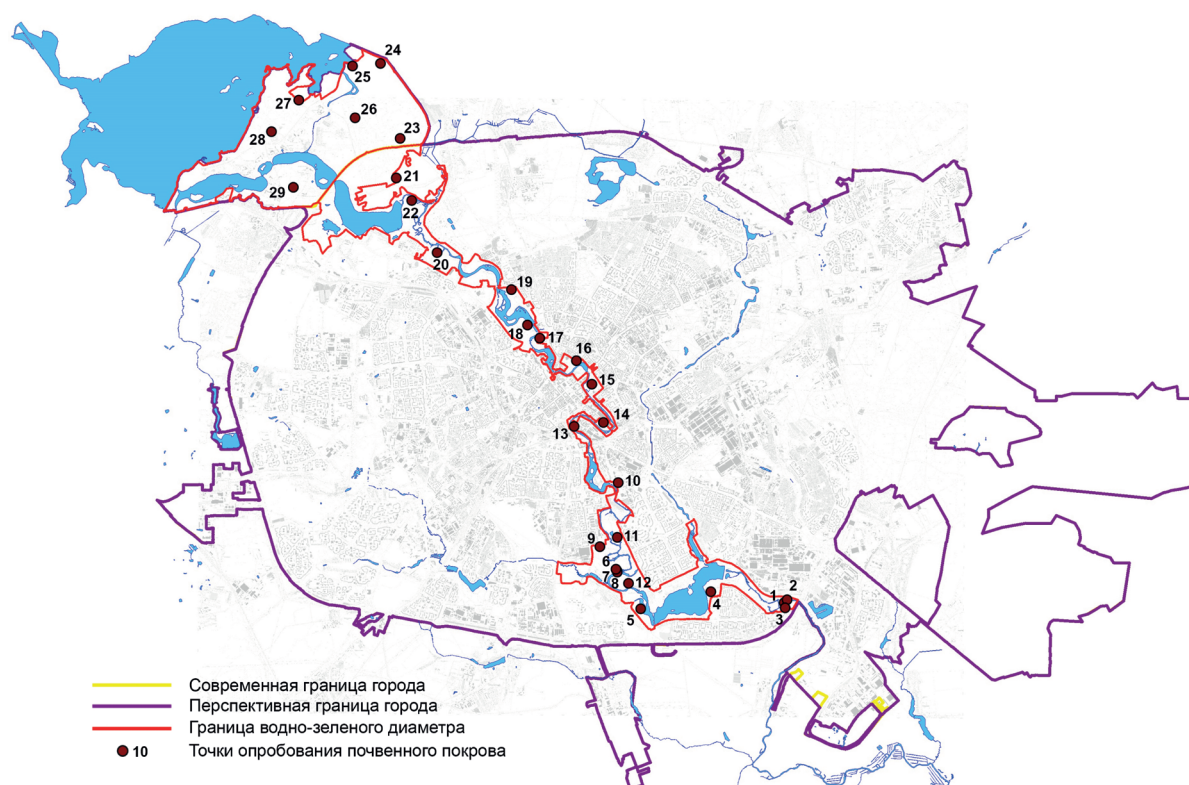
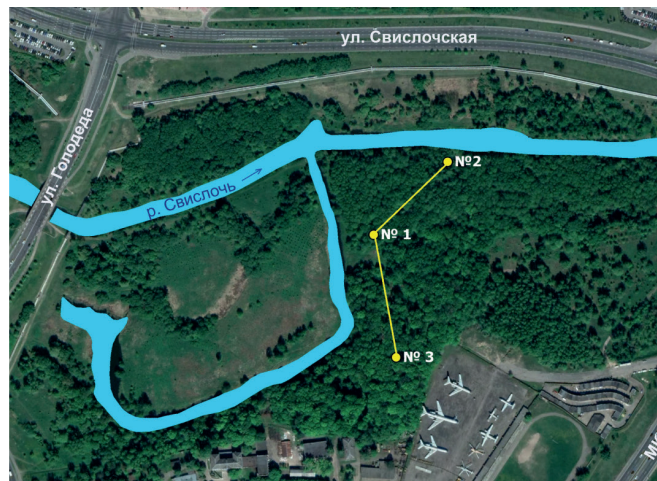
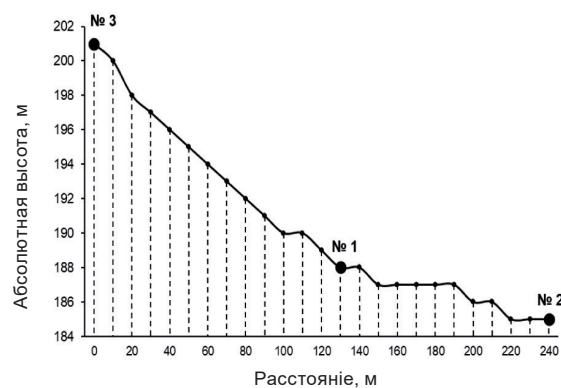


Рис. 1. Схема расположения точек опробования почвенного покрова долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска



а



б

Рис. 2. Схема расположения точек опробования (а) и абсолютные высоты (б) по линии поперечного ландшафтно-геохимического профиля 1

Профиль 2 (точки отбора 6–8) заложен на правом берегу в водоохранной зоне р. Свислочи у излучины в восточной части Лошицкого парка. По современному функциональному использованию территория относится к ландшафтно-рекреационным территориям, согласно Схеме озелененных территорий общего пользования – козелененным территориям общего пользования (Лошицкий усадебно-парковый комплекс). Профиль построен по линии сопряженного геохимического ряда: элювиальный (точка 6)–трансэлювиальный (точка 7)–трансупераквальный (точка 8) элементарный ландшафт (рис. 3). Дополнительно к почвенным пробам отобрана проба воды с территории заболоченной поймы на берегу р. Свислочи.

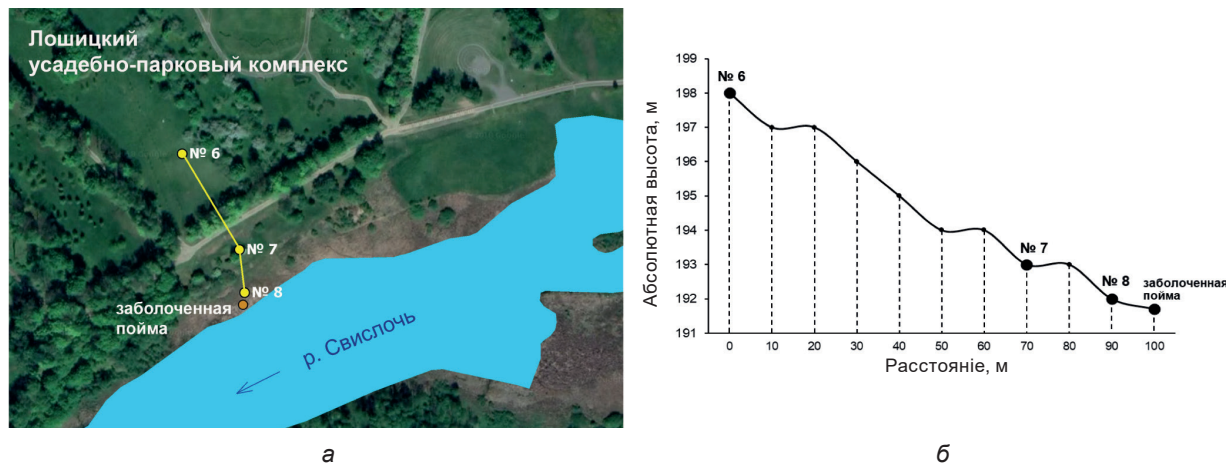


Рис. 3. Схема расположения точек опробования (а) и абсолютные высоты (б) по линии поперечного ландшафтно-геохимического профиля 2

В пробах почв и воды определялись кислотность (рН в KCl), содержание нефтепродуктов, валовое содержание тяжелых металлов: кадмия (Cd), свинца (Pb), цинка (Zn), меди (Cu), никеля (Ni) и марганца (Mn). Проведение измерений содержания химических веществ и показателей осуществлялось в Институте природопользования НАН Беларуси в соответствии с ТНПА и МВИ в области охраны окружающей среды, действующими на момент исследований.

Оценка эколого-геохимического состояния почв проводилась для каждой пробной площадки путем сравнения фактических значений содержания химических веществ, полученных в результате измерений, со значениями их общегородского фоновое содержания и действующими на момент обследования гигиеническими нормативами. В качестве общегородских фоновых значений для тяжелых металлов и нефтепродуктов использовались данные наблюдений Национальной сети мониторинга окружающей среды (НСМОС) на территории г. Минска за период 2013–2015 гг. [8].

Для исследуемых веществ определялся коэффициент концентрации (K_c), который рассчитывался как отношение фактического содержания элемента или соединения в почве исследуемого участка к его фоновому содержанию и (или) гигиеническому нормативу. При полиэлементном загрязнении почв находили суммарный коэффициент (показатель) загрязнения (Z_c) [9]:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации; n – число учитываемых аномальных элементов.

По коэффициенту концентрации, рассчитанному по гигиеническому нормативу, или суммарному коэффициенту загрязнения загрязненные почвы делятся [10]: низкой степени загрязнения: $1,0 < K_c (Z_c) \leq 5,0$; средней степени загрязнения: $5,0 < K_c (Z_c) \leq 20,0$; высокой степени загрязнения: $20,0 < K_c (Z_c) \leq 50,0$; очень высокой степени загрязнения: $50,0 < K_c (Z_c)$.

Обсуждение результатов. Почвенный покров рассматриваемой территории формировался под действием комплекса природных и антропогенных факторов, что обусловило разнообразие физических и химических свойств почв, которые в свою очередь определяют особенности латеральной и радиальной миграции содержащихся в почвах химических элементов и их соединений природного и техногенного происхождения.

Кислотность почв. Одним из ведущих факторов, влияющих на аккумуляцию и рассеяние химических элементов, являются кислотно-щелочные свойства почв. Кислотность почв обусловлена многими факторами, основные из которых – диссоциация функциональных групп гумуса и микробиологическое разложение органического вещества. Кроме того, источниками кислотности почв выступают глинисто-силикатные минералы и гидроокиси железа и алюминия. Интенсивность подкисления почв в определенной степени зависит от равновесия между ионами водорода и алюминия [11].

Опробование показало, что показатель pH почв долины р. Свислочи в границах г. Минска в среднем составляет 6,7, что позволяет отнести почвы к нейтральным [12]. Пределы изменения pH от 5,2 (кислые почвы) до 7,8 (слабощелочные почвы). При этом почти половина исследованных почв (48 %) относится к слабощелочным, около 27 % – к нейтральным и близким к нейтральным, 24 % – к кислым и слабокислым. Минимальные значения pH характерны для дерново-подзолистых супесчаных почв под лесной растительностью с преобладанием ельника кисличного (точка 25), максимальное значение зафиксировано на заболоченном участке поймы с почвами, представленными иловатой связной супесью (точка 11).

Высокие показатели pH являются весьма характерными для городских территорий [2, 3]. В то же время естественные почвы, не затронутые хозяйственной деятельностью, имеют более кислую реакцию среды. Например, на территории Березинского биосферного заповедника, который является эталоном естественной природной территории, встречаются преимущественно сильнокислые почвы с pH 2,8–3,8 [13, 14].

Тяжелые металлы и нефтепродукты. В табл. 1 представлены основные статистические параметры, характеризующие содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в исследованных почвах. Поэлементная оценка валового содержания тяжелых металлов в образцах почв, отобранных в долине р. Свислочи, показала, что средние концентрации большинства изучаемых элементов ниже, чем средние значения, установленные для г. Минска в целом. Исключением является кадмий, среднее содержание которого составляет 0,33 мг/кг, что в 1,7 раза выше среднегородской величины. Для большинства точек опробования концентрации кадмия превышают среднее для Минска значение от 1,3 до 2,7 раза.

Таблица 1. Основные статистические параметры валового содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов в верхнем (0–20 см) горизонте почв долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска (апрель 2019 г.)

Показатель	Химическое вещество						
	НП	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Mn
Минимальное содержание, мг/кг	5,0	0,15	3,94	1,78	0,20	10,24	40,32
Максимальное содержание, мг/кг	146,9	0,52	29,00	15,79	65,00	116,00	535,54
Среднее для выборки (n=29), мг/кг	31,6	0,33	12,07	8,16	2,82	37,50	165,06
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	6,9	Единичная проба	–	–	Единичная проба	13,8	–
Максимальная кратность превышения ПДК (ОДК)	1,47	1,04	–	–	3,25	2,11	–
Среднее для г. Минска (2013–2015 гг.)	133,7	0,19	20,4	17,1	6,3	57,1	217
ПДК (ОДК) [10]	100	0,5	32,0	33,0	20,0	55,0	1500

Среднее содержание свинца составляет 12,07 мг/кг, меди – 8,16, никеля – 2,82, цинка – 37,5, марганца – 165,06, нефтепродуктов – 31,59 мг/кг. Обращают на себя внимание крайне низкие концентрации никеля, что не характерно для городских почв и почв Беларуси в целом.

Превышения допустимых уровней содержания химических веществ в почвах наблюдаются на отдельных локальных участках для цинка и нефтепродуктов, в единичных случаях – для кадмия и никеля. Наибольшая встречаемость проб с превышением допустимого уровня зафиксирована для цинка – 13,8 % проб. Для нефтепродуктов данный показатель составляет 6,9 %.

Наиболее загрязненными почвами характеризуется участок, расположенный на левом берегу р. Свислочи к северо-западу от болота Дворище (точка 12). Здесь сформировалась педогеохимическая аномалия из ассоциации элементов, образующих геохимический ряд (по коэффициентам концентрации, рассчитанным по отношению к средним для г. Минска значениям): $Cd_{2,7}-Zn, Pb_{1,3}$.

По коэффициентам концентрации, рассчитанным по отношению к гигиеническим нормативам, ассоциация веществ-загрязнителей в точке 12 образует следующий ряд: $НП_{1,5}-Zn_{1,4}-Cd_{1,0}$. Различия данных геохимических рядов обусловлены тем, что для некоторых элементов среднее содержание в почвах города превышает установленные для них ПДК (ОДК). По суммарному коэффициенту загрязнения Z_c , который равен 1,9, почвы также характеризуются низкой степенью

загрязнения. Накопление на данном участке избыточного содержания ряда элементов может быть связано с особенностями гранулометрического состава почв, представленных вязкой уплотненной супесью, физико-химические характеристики которой способствуют накоплению загрязняющих веществ, а также расположением точки отбора на гипсометрически пониженном участке.

Повышенное содержание цинка в почвах наблюдается также в пойме р. Свислочи в Лошицком парке (точка 8), в парке им. Марата Казея (точка 16), в парке у Футбольного манежа, относящемся к перспективным озелененным территориям общего пользования (точка 20), и в лесном массиве к северу от вдхр. Дрозды (точка 28), где содержание элемента в 1,1–2,0 раза выше среднего для города значения и составляет от 1,1 до 2,1 ОДК.

Оценка корреляционной зависимости между содержанием в почвах долины реки изученных химических веществ выявила тесную корреляционную связь между медью и кадмием с коэффициентом корреляции $r = 0,76$ при уровне значимости $P = 0,99$ и числе степеней свободы $n = 27$ (рис. 4). Средняя корреляционная зависимость ($0,5 < r \leq 0,7$) отмечена между нефтепродуктами и кадмием, нефтепродуктами и свинцом, нефтепродуктами и медью, нефтепродуктами и цинком, кадмием и цинком, кадмием и марганцем, а также цинком и свинцом, цинком и медью, что косвенно подтверждает техногенную природу поступления данных химических веществ в почвы речной долины. Для никеля корреляция со всеми элементами отсутствует.

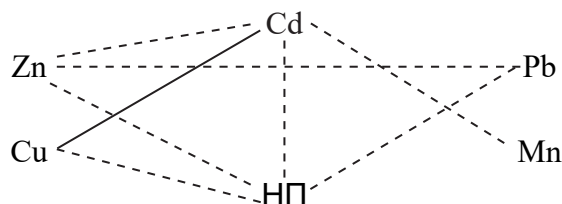


Рис. 4. Ассоциация химических веществ в почвах долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска (сплошная линия – $r > 0,7$, штриховая линия – $0,5 < r \leq 0,7$)

В то же время корреляционная зависимость между содержанием в почвах химических веществ и показателем pH существенно различается. Тесная корреляционная зависимость от кислотно-щелочных условий почвы выявлена для меди ($r = 0,77$ при $P = 0,99$ и $n = 27$), средняя – для кадмия ($r = 0,69$ при $P = 0,99$ и $n = 27$), цинка ($r = 0,54$ при $P = 0,99$ и $n = 27$) и нефтепродуктов ($r = 0,52$ при $P = 0,99$ и $n = 27$). Коэффициенты корреляции между pH и свинцом, pH и марганцем, pH и никелем незначительны.

Оценка эколого-геохимического состояния почв долины р. Свислочи по линии продольного профиля. Условно территорию долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска можно разделить на четыре участка: территория в пределах перспективной городской черты от Заславского водохранилища до МКАД (точки отбора 23–29), северо-западная часть – от МКАД до ул. Орловской (точки отбора 20–22), центральная часть – от ул. Орловской до ул. Аранской (точки отбора 13–19) и юго-восточная часть от ул. Аранской до МКАД (точки отбора 4, 5, 9–12).

Оценка показателя pH на каждом из участков показала, что почвы верхнего участка речной долины на территории перспективной городской черты относятся к слабокислым со средним показателем pH 5,8. Разброс значений pH составляет от 5,2 (кислые почвы) до 6,3 (близкие к нейтральным).

Содержание большинства тяжелых металлов и нефтепродуктов в почвах данного отрезка долины реки также незначительно (рис. 5).

Превышение средних значений для Минска на данном участке характерно только для кадмия – в 1,1–2,0 раза (отмечается в 71 % случаев) и марганца – в 1,3 раза (точки 27 и 28). Превышение гигиенических нормативов зафиксировано только для цинка в единичной пробе – в 1,4 раза (точка 28).

В почвах долины р. Свислочи на отрезке, расположенном в северо-западной части города от МКАД до ул. Орловской, кислотность почв снижается: среднее значение pH здесь составляет 6,3 (близкие к нейтральным почвы), варьируя от 5,4 (кислые почвы) до 7,6 (слабощелочные почвы).

Содержание тяжелых металлов, за исключение марганца и никеля, в почвах данного участка по сравнению с вышележащей территорией увеличивается: меди – в 1,7 раза, цинка – в 2,0, кадмия и свинца – в 1,2 раза. Содержание нефтепродуктов также повышается в 2,9 раза.

Превышение над среднегородским уровнем для кадмия обнаруживается в 100 % выборки – в 1,1–2,0 раза, для цинка – в единичной пробе (в 2,0 раза). Превышение над гигиеническим нормативом наблюдается только для цинка в единичной пробе – в 2,1 раза (точка 20).

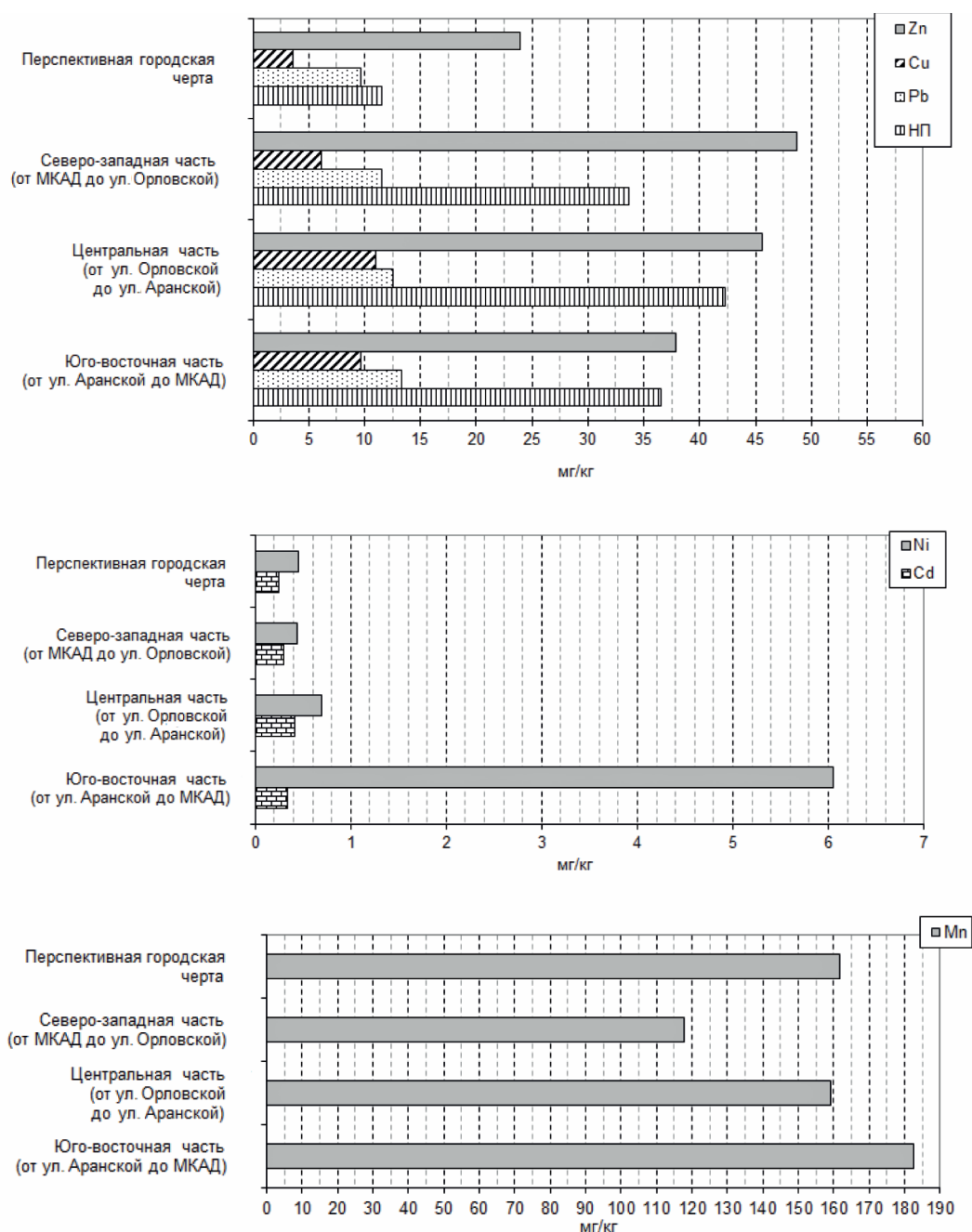


Рис. 5. Среднее содержание химических веществ в почвах долины р. Свислочи в пределах различных участков водно-зеленого диаметра г. Минска

Ниже по течению р. Свислочи в центральной части города (от ул. Орловской до ул. Аранской) в почвах долины реки наблюдается подщелачивание почв до слабощелочной реакции среды с pH от 7,1 до 7,5. Концентрации тяжелых металлов и нефтепродуктов также увеличиваются за исключением цинка. Превышение над средними для города значениями для кадмия составляет от 1,4 до 2,5 раза и отмечается в 100 % проб, для цинка и свинца – в единичных пробах (цинк – точка 16 в 1,3 раза, свинец – точка 13 в 1,1 раза).

Превышение над ОДК выявлено только для цинка в единичной пробе – точка 16 в 1,4 раза. Также в единичной пробе содержание нефтепродуктов находится примерно на уровне гигиенического норматива (точка 13). Различия в содержании химических веществ по сравнению с перспективными для развития города территориями составляют от 1,3 раза для свинца до 3,7 раза для нефтепродуктов.

На участке, расположенном в юго-восточной части города, в почвах долины р. Свислочи pH среды в среднем составляет 7,0, что позволяет отнести почвы к близким к нейтральным с разбросом значений от 6,0 (слабокислые) до 7,8 (слабощелочные).

Оценка содержания в почвах тяжелых металлов и нефтепродуктов показала, что на данном участке наблюдается увеличение концентраций свинца, никеля и марганца по сравнению с центральной частью города и уменьшение – нефтепродуктов, кадмия, меди и цинка. Превышение над средним для города значением для кадмия составляет 91,7 % выборки, для свинца и цинка – 16,7 %, для марганца – 25 %. Содержание нефтепродуктов и никеля превышает среднегородское значение только в единичных пробах (нефтепродукты – в 1,1 раза в точке 12, никель – в 10,3 раза в точке 3). В точке 12 выявлено превышение ПДК (ОДК) по содержанию нефтепродуктов в 1,5 раза и цинка в 1,4 раза, а также содержание кадмия на уровне ОДК, в точке 3 – никеля в 3,3 раза, в точке 8 – цинка в 1,1 раза.

Оценка эколого-геохимического состояния почв при поперечном профилировании речной долины. Заложенные на территории исследований поперечные ландшафтно-геохимические профили характеризуют содержание химических веществ в почвах долины р. Свислочи в сопряженном ряду элементарных геохимических ландшафтов (табл. 2).

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в верхнем (0–20 см) горизонте почв ландшафтно-геохимических профилей в долине р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска (апрель 2019 г.)

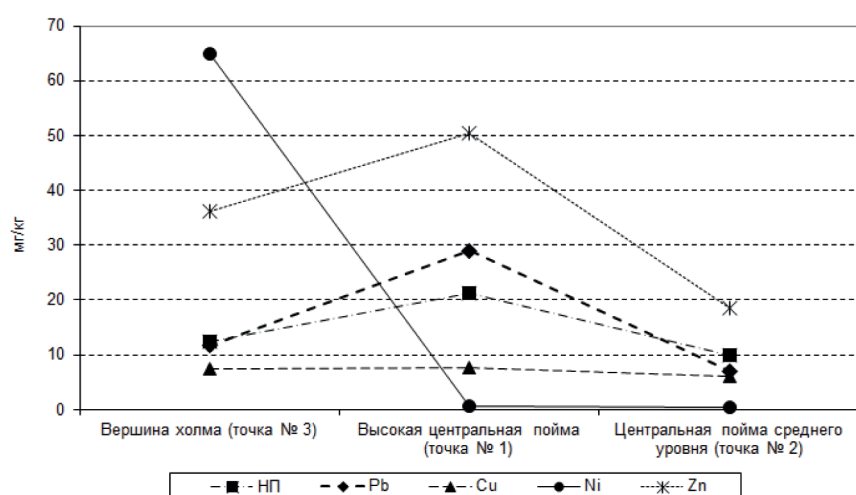
Номер профиля	Номер точки	Элемент речной долины / Элементарный ландшафт	Характеристика почвенного образца	Химическое вещество, мг/кг почвы						
				НП	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Mn
1	3	Вершина холма / Элювиальный	Супесь рыхлая, светло-серая, гумусированная	12,3	0,31	11,65	7,32	65,0	36,2	151,3
	1	Высокая центральная пойма / Трансэлювиальный	Супесь рыхлая, светло-серая, гумусированная	21,3	0,30	29,0	7,6	0,63	50,5	111,8
	2	Центральная пойма среднего уровня / Суперэлювиальный	Супесь рыхлая, светло-серая, гумусированная	9,9	0,24	7,0	6,0	0,37	18,5	54,9
2	6	Коренной берег / Элювиальный	Супесь уплотненная, светло-серая, гумусированная	8,3	0,35	8,1	8,9	0,72	39,7	280,8
	7	Первая надпойменная терраса / Трансэлювиальный	Супесь уплотненная, светло-серая, слабогумусированная	11,5	0,35	6,2	6,7	0,55	25,2	151,5
	8	Притеррасная пойма / Трансуперэлювиальный	Супесь иловатая, уплотненная, темно-серая, влажная	41,5	0,50	16,8	13,1	1,01	60,5	535,5

В профиле 1 (точки 1–3) почвы однородные, представлены светло-серой рыхлой гумусированной супесью с кислотностью, понижающейся по линии профиля: от слабокислой с pH 6,0 в почвах коренного берега до нейтральной с pH 6,6 в почвах центральной поймы среднего уровня, относящейся к суперэлювиальному ландшафту.

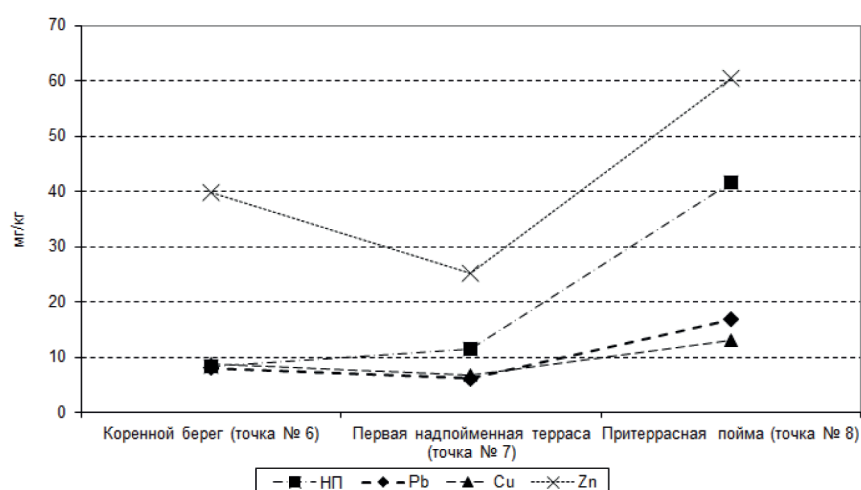
Исследование содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов в почвах по линии профиля 1 показало, что наименьшими концентрациями всех исследованных химических веществ характеризуются почвы центральной поймы среднего уровня (точка 2). Здесь содержание кадмия и меди в 1,3 раза ниже, чем на участках с наибольшей концентрацией, цинка – в 2,7, марганца – в 2,8, свинца – в 4,1 раза (рис. 6).

При этом наибольшим накоплением свинца, меди и цинка характеризуются почвы высокой центральной поймы (точка 1), относящейся к трансэлювиальным ландшафтам. Это можно объяснить особенностями микрорельефа участка отбора и накоплением элементов, поступивших в почвы данного участка с вышележащих территорий, в локальных понижениях (аккумулятивно-элювиальных элементарных ландшафтах), так как для транзитных территорий характерен вынос металлов из почвенного покрова как верхнего, так и нижележащих горизонтов.

Аналогичная картина распределения характерна для нефтепродуктов, содержание которых на данном участке в 2,2 раза выше, чем в почвах центральной поймы среднего уровня. Наибольшая концентрация кадмия и марганца характерна для вершины холма (коренной берег), представляющего собой элювиальный ландшафт (точка № 3).



Профиль 1



Профиль 2

Рис. 6. Содержание некоторых химических веществ в верхнем (0–20 см) горизонте почв ландшафтно-геохимических профилей в долине р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска

Особенностью накопления никеля в почвах профиля 1 является его достаточно высокое содержание на вершине холма, где концентрация металла в сотни раз выше, чем на нижележащих участках, и крайне низкие его значения в почвах высокого, центрального и среднего уровней поймы. При этом в почвах элювиального ландшафта концентрация металла в 10,3 раза выше среднегородского значения и в 3,3 раза выше установленного для данного химического вещества норматива, что позволяет говорить о загрязнении почв никелем на данном участке.

По коэффициенту концентрации, рассчитанному по отношению к средним для г. Минска значениям, тяжелые металлы и нефтепродукты в почвах по линии профиля 1 образуют следующие ряды: элювиальный ландшафт: $Ni_{10,3}-Cd_{1,6}-Mn_{0,7}-Zn_{0,6}-Pb_{0,6}-Cu_{0,4}-H\Pi_{0,9}$; трансэлювиальный ландшафт: $Cd_{1,6}-Pb_{1,4}-Zn_{0,9}-Mn_{0,5}-Cu_{0,4}-H\Pi_{0,2}-Ni_{0,1}$; супераквальный ландшафт: $Cd_{1,3}-Cu_{0,4}-Pb_{0,3}-Zn_{0,3}-Mn_{0,2}-H\Pi_{0,07}-Ni_{0,06}$. Данные ряды свидетельствуют о пониженном содержании по сравнению с другими городскими территориями большинства исследованных элементов, за исключением кадмия, содержание которого несколько выше, чем в почвах города в целом.

При расчете коэффициента концентрации с использованием нормативов ПДК (ОДК) ряды из ассоциаций исследованных химических веществ несколько иные: элювиальный ландшафт: $Ni_{3,2}-Zn_{0,1}-Cd_{0,6}-Pb_{0,4}-Cu_{0,2}-H\Pi_{0,1}-Mn_{0,1}$; трансэлювиальный ландшафт: $Zn_{0,9}-Pb_{0,9}-Cd_{0,6}-Cu_{0,2}-H\Pi_{0,2}-Mn_{0,07}-Ni_{0,03}$; супераквальный ландшафт: $Cd_{0,5}-Zn_{0,3}-Pb_{0,3}-Cu_{0,2}-H\Pi_{0,1}-Mn_{0,04}-Ni_{0,02}$. Это связано с тем, что для некоторых элементов их среднее содержание в почвах города превышает установленные для них гигиенические нормативы.

В профиле 2 (точки 6–8) почвы представлены уплотненной супесью, которая сменяется от гумусированной на коренном берегу к слабогумусированной и иловатой с повышенной увлажненностью в нижележащей части профиля. Показатель pH по линии профиля увеличивается от 6,6 (нейтральные почвы) до 7,6 (слабощелочные почвы)

Наименьшими значениями большинства исследованных металлов характеризуются почвы первой надпойменной террасы (точка 7), наибольшими – почвы притеррасной поймы (точка 8) (см. рис. 6). Это является закономерным в сопряженном геохимическом ряду, так как почвы трансэлювиального ландшафта, к которому относятся надпойменные террасы, характеризуются выносом элементов в связи с их соподчиненным положением, почвы транссупераквальных ландшафтов, приуроченные к понижениям рельефа – накоплением веществ, поступающих с вышележащих территорий.

По сравнению с почвами первой надпойменной террасы в почвах притеррасной поймы содержание кадмия выше в 1,4 раза, никеля – в 1,8, меди – в 1,9, цинка – в 2,4, свинца – в 2,7, марганца – в 3,5 раза. При этом в почвах транссупераквального ландшафта концентрация цинка в 1,1 раза превышает установленный гигиенический норматив, а содержание кадмия находится на уровне ОДК, что позволяет говорить об избыточном накоплении данных элементов.

Для нефтепродуктов наименьшим накоплением характеризуются почвы коренного берега (точка 6). По мере движения вниз по гипсометрическому профилю их концентрация увеличивается от 8,3 до 41,5 мг/кг.

В пробе воды, отобранной с территории заболоченной прирусловой поймы ниже по профилю 2, установлено высокое содержание нефтепродуктов – 0,113 мг/дм³ (в 2,3 раза выше ПДК для поверхностных вод). Кроме того, в пробе воды концентрации меди, цинка и марганца превышают природное фоновое содержание данных компонентов в речных водах: меди – в 1,5 раза, цинка – в 40,6, марганца – в 10,4 раза. Содержание свинца превышает ПДК для поверхностных вод в 4,0 раза [15]. Это согласуется с высокими концентрациями данных элементов в почвах притеррасной поймы, что, с одной стороны, может указывать на общий источник поступления загрязняющих веществ, с другой – служит косвенным подтверждением возможности загрязнения речных вод тяжелыми металлами в результате их вымывания из загрязненных почв поймы.

По коэффициентам концентрации, рассчитанным по отношению к среднегородскому содержанию, ассоциации исследованных химических веществ в почвах профиля 2 образуют следующие ряды: элювиальный ландшафт: $Cd_{1,8}-Mn_{1,3}-Zn_{0,7}-Cu_{0,5}-Pb_{0,4}-Ni_{0,1}-H\Pi_{0,06}$; трансэлювиальный ландшафт: $Cd_{1,8}-Mn_{0,7}-Zn_{0,7}-Cu_{0,4}-Pb_{0,3}-H\Pi_{0,1}-Ni_{0,1}$; транссупераквальный ландшафт:

$Cd_{2,6}-Mn_{2,5}-Zn_{1,1}-Pb$, $Cu_{0,8}-НП_{0,3}-Ni_{0,2}$. Полученные ряды свидетельствуют о пониженном содержании в почвах долины реки большинства исследованных элементов по сравнению с почвами города в целом. Исключение составляют кадмий и марганец, накопление которых характерно для почв элювиального и транссупераквального ландшафтов.

Ассоциации химических веществ, полученные при сравнении фактических значений их содержания с гигиеническими нормативами (ПДК (ОДК)), образуют по линии профиля следующие ряды: элювиальный ландшафт: Zn , $Cd_{0,7}-Cu_{0,3}-Pb$, $Mn_{0,2}-НП_{0,08}-Ni_{0,04}$; трансэлювиальный ландшафт: $Cd_{0,7}-Zn_{0,5}-Cu$, $Pb_{0,2}-НП$, $Mn_{0,1}-Ni_{0,03}$; транссупераквальный ландшафт: $Zn_{1,1}-Cd_{1,0}-Pb_{0,5}-НП$, Cu , $Mn_{0,4}-Ni_{0,05}$.

Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в почве и атмосферных выпадениях. Для оценки возможного аэрального поступления тяжелых металлов в почвенный покров выполнен корреляционный анализ содержания изучаемых элементов в почве и количества их атмосферных выпадений на подстилающую поверхность. Количество атмосферных выпадений тяжелых металлов рассчитывалось на основании результатов опробования снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в зимний период 2018–2019 гг. [6].

Корреляционный анализ показал наличие средней корреляционной зависимости между количеством атмосферных выпадений меди и ее содержанием в почвенном покрове: коэффициент корреляции r составил 0,61 при уровне значимости $P = 0,99$ и числе степеней свободы $n = 22$. Кроме того, в средней степени коррелируют между собой количество атмосферных выпадений никеля и его содержание в почве: $r = 0,52$ при $P = 0,99$ и $n = 22$. Слабая корреляционная зависимость установлена для свинца: $r = 0,47$ при $P = 0,95$ и $n = 22$. Для остальных изучаемых элементов корреляционная связь не выявлена: коэффициенты корреляции незначимы.

Выводы. Исследования широкого спектра показателей в почвенном покрове долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска показали, что рН почв в среднем составляет 6,7 (нейтральные почвы), изменяясь от 5,2 (кислые) до 7,8 (слабощелочные). В центральной части города, где присутствует значительное количество источников загрязнения, почвы слабощелочные с рН от 7,1 до 7,5. По периферии наблюдается подкисление почв с минимальным средним значением рН 5,8 в пределах перспективной городской черты. По линиям поперечных профилей в ряду элементарных геохимических ландшафтов вниз по профилю наблюдается подщелачивание почв и их переход из группы слабокислых и нейтральных в нейтральные и слабощелочные.

Оценка содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов показала, что в почвенном покрове долины р. Свислочи избыточного накопления изученных химических веществ не отмечается, за исключением кадмия, содержание которого в почвах большинства исследованных территорий превышает среднегородское значение. На отдельных локальных участках наблюдается загрязнение почв цинком и нефтепродуктами. Наиболее загрязненными почвами характеризуется участок, расположенный на левом берегу р. Свислочи к северо-западу от болота Дворище. Здесь сформировалась педогеохимическая аномалия из ассоциации элементов, включающая кадмий, цинк, свинец и нефтепродукты. Превышение гигиенических нормативов наблюдается для нефтепродуктов, цинка и кадмия.

Вниз по течению реки отмечено повышение концентраций большинства исследованных химических веществ в почвах долины р. Свислочи с северо-запада на юго-восток. Наименьшее накопление тяжелых металлов и нефтепродуктов фиксируется в почвах на перспективных для развития города территориях. В центральной части города по сравнению с периферийными территориями концентрации химических веществ в почвах увеличиваются от 1,3 раза для свинца до 3,7 раза для нефтепродуктов. На нижнем отрезке долины реки содержание свинца, никеля и марганца увеличивается, нефтепродуктов, кадмия, меди и цинка – снижается.

В почвенном покрове по линии поперечного профиля 1 идет накопление кадмия, в почвах элювиального ландшафта – также никеля, трансэлювиального – свинца. Почвы поперечного профиля 2 отличаются повышенным содержанием кадмия, в элювиальном и транссупераквальном ландшафтах – марганца, в транссупераквальном ландшафте – цинка.

В пробе воды, отобранной с территории заболоченной прирусловой поймы ниже по профилю 2, установлено высокое содержание нефтепродуктов – 0,113 мг/дм³ (в 2,3 раза выше ПДК для поверхностных вод). Концентрации меди, цинка и марганца превышают природное фоновое содержание данных компонентов в речных водах: меди – в 1,5 раза, цинка – в 40,6, марганца – в 10,4 раза. Содержание свинца превышает ПДК для поверхностных вод в 4,0 раза. Это согласуется с высокими концентрациями элементов в почвах притеррасной поймы, что, с одной стороны, может указывать на общий источник поступления загрязняющих веществ, с другой – служит косвенным подтверждением возможности загрязнения речных вод в результате вымывания загрязняющих веществ из почв поймы.

Список использованных источников

1. Кадацкая, О. В. Системообразующая роль гидрографической сети в организации природного каркаса города / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 39–47.
2. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 301 с.
3. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск: Минсктиппроект, 2004. – 260 с.
4. Пространственные особенности накопления тяжелых металлов в почвах пойменных ландшафтов г. Минска / С. В. Савченко [и др.] // Природные ресурсы. – 2007. – № 4. – С. 63–70.
5. Глазовская, М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов / М. А. Глазовская. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – 288 с.
6. Санец, Е. В. Состояние снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска как индикатор антропогенных нагрузок / Е. В. Санец, Г. М. Бокая // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 48–62.
7. Схема озелененных территорий общего пользования, в том числе объектов озеленения, подлежащих охране в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» (по административным районам г. Минска / Утв. Решением Минского городского исполнительного комитета 10.01.2019, № 58.
8. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecoinfo.by/uploads/archive/Book2015/1-soil-25-11.pdf>. – Дата доступа: 11.10.2017.
9. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
10. ТКП 17.03-06-2019 (33140) Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Порядок выполнения работ по дифференцированному нормированию содержания химических веществ в землях (включая почвы). – Минск, 2019. – 17 с.
11. Орлов, Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М., 1992. – 401 с.
12. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных угодий Беларуси: метод. указания. – Минск: БИТ «Хата», 2006. – 64 с.
13. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника; под. ред. К. И. Лукашева. – Минск: Наука и техника, 1985. – 144 с.
14. Натаров, В. М. Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике / В. М. Натаров, О. В. Лукашев, В. В. Савченко. – Минск: Беларус. Дом печати, 2013. – 216 с.
15. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 30.03.2015, № 13.

Поступила 22.09.2020

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL RESOURCES
ГЕОЛАГА-МІНЕРАЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

UDC 551.734.5; 567 (476)

D. P. Plax¹, Yu. V. Zaika²¹*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: agnatha@mail.ru*²*Unitary Enterprise "Geoservice", Minsk, Belarus, e-mail: yu_z@tut.by*

**ON THE ZHELON DEPOSITS (FRASNIAN, UPPER DEVONIAN) OF THE LATVIAN SADDLE
IN THE BASINS OF THE SARYANKA AND ROSITSA RIVERS (BELARUS)**

Abstract. Detailed lithological and stratigraphic characteristics of typical outcrops of the Zhelon Regional Stage, exposed in basins of the Saryanka and Rositsa Rivers, are provided in the paper. A new local stratigraphic unit, the Degtyarevo Formation, is distinguished. Its composite section, consisting of a series of exposures, is given. In some of outcrops of the Degtyarevo Formation the deposits enclose abundant palaeontological material: skeletal elements of various representatives of ichthyofauna and sparse invertebrates (scolecodonts, fragmentary inarticulate brachiopods, and fine carbonified plant remains). On the basis of palaeontological data and lithological composition it was possible to clarify the geological age of the studied deposits and suggest a precise correlation of the Degtyarevo Formation (Zhelon Regional Stage). The provided data will be applicable for the future refinement of the current Stratigraphic Chart of the Devonian deposits of Belarus (2010).

Keywords: Belarus, Upper Devonian, Frasnian, Zhelon Regional Stage, Degtyarevo Formation, Latvian Saddle, fossil ichthyofauna

Д. П. Плакс¹, Ю. В. Заика²¹*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: agnatha@mail.ru*²*Унитарное предприятие «Геосервис», Минск, Беларусь,
e-mail: yu_z@tut.by*

**О ЖЕЛОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ (ФРАНСКИЙ ЯРУС, ВЕРХНИЙ ДЕВОН) ЛАТВИЙСКОЙ СЕДЛОВИНЫ
В БАСЕЙНАХ РЕК САРЬЯНКА И РОСИЦА (БЕЛАРУСЬ)**

Аннотация. Приводятся детальные литолого-стратиграфические описания типовых обнажений желонского горизонта, выходящих на дневную поверхность в бассейнах рек Сарьянка и Росица. Выделяется новое местное стратиграфическое подразделение – дегтярёвская свита. Дается ее сводный разрез, составленный из серии надстраивающих друг друга обнажений. Отложения дегтярёвской свиты желонского горизонта в некоторых обнажениях достаточно хорошо охарактеризованы палеонтологически. Они содержат в основном скелетные элементы представителей различных групп ихтиофауны, гораздо реже – остатки беспозвоночных – сколекодонт, фрагменты раковин беззамковых брахиопод, а также мелкие углефицированные растительные остатки. На основе палеоихтиологических данных, по вещественному составу пород и их положению в разрезе даны сведения о возрасте и корреляции дегтярёвской свиты желонского горизонта. Представленные материалы необходимо учесть при уточнении действующих в настоящее время стратиграфических схем девонских отложений Беларуси (2010 г.).

Ключевые слова: Беларусь, верхний девон, франский ярус, желонский горизонт, дегтярёвская свита, Латвийская седловина, ископаемая ихтиофауна

Дз. П. Плакс¹, Ю. У. Заіка²¹*Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,
e-mail: agnatha@mail.ru*²*Унітарнае прадпрыемства «Геасэрвіс», Мінск, Беларусь,
e-mail: yu_z@tut.by*

**АБ ЖЭЛОНСКИХ АДКЛАДАХ (ФРАНСКИ ЯРУС, ВЕРХНИ ДЭВОН) ЛАТВИЙСКОЙ СЕДЛАВИНЫ
Ў БАСЕЙНАХ РЭК САР'ЯНКА І РОСІЦА (БЕЛАРУСЬ)**

Анатацыя. Прыведзены дэталёвыя літалага-стратыграфічныя апісанні тыповых агаленняў жэлонскага гарызонту, якія выходзяць на дзённую паверхню ў басейнах рэк Сар'янка і Росіца. Вылучаецца новае мясцовае стратыграфічнае падраздзяленне – дзегцяроўская світа. Дадзены яе зводны разрэз, складзены з серыі разрэзаў агаленняў, якія надбудоўваюць адно аднаго. У асобных агаленнях адклады дзегцяроўскай світы жэлонскага гарызонту добра

ахарактерызаваны выкапнёвымі рэшткамі. Яны ўтрымліваюць у асноўным шкелетныя элементы прадстаўнікоў розных груп іхтыяфаўны, радзей – рэшткі безхрыбетных (скалекадонтаў, фрагменты ракавін беззамковых брахіапод), а таксама дробныя вуглефікаваныя раслінныя фрагменты. На аснове палеаіхтыялагічных дадзеных, па рэчавіннаму складу парод і іх палажэнню ў разрэзе прыведзены звесткі аб узросце і карэляцыі дзегцяроўскай світы. Прадстаўленыя ў публікацыі матэрыялы неабходна ўлічыць пры ўдакладненні дзеючых стратыграфічных схем дэвонскіх адкладаў Беларусі (2010 г.).

Ключавыя словы: Беларусь, верхні дэвон, франскі ярус, жэлонскі гарызонт, дзегцяроўская світа, Латвійская седлавіна, выкапнёвая іхтыяфаўна

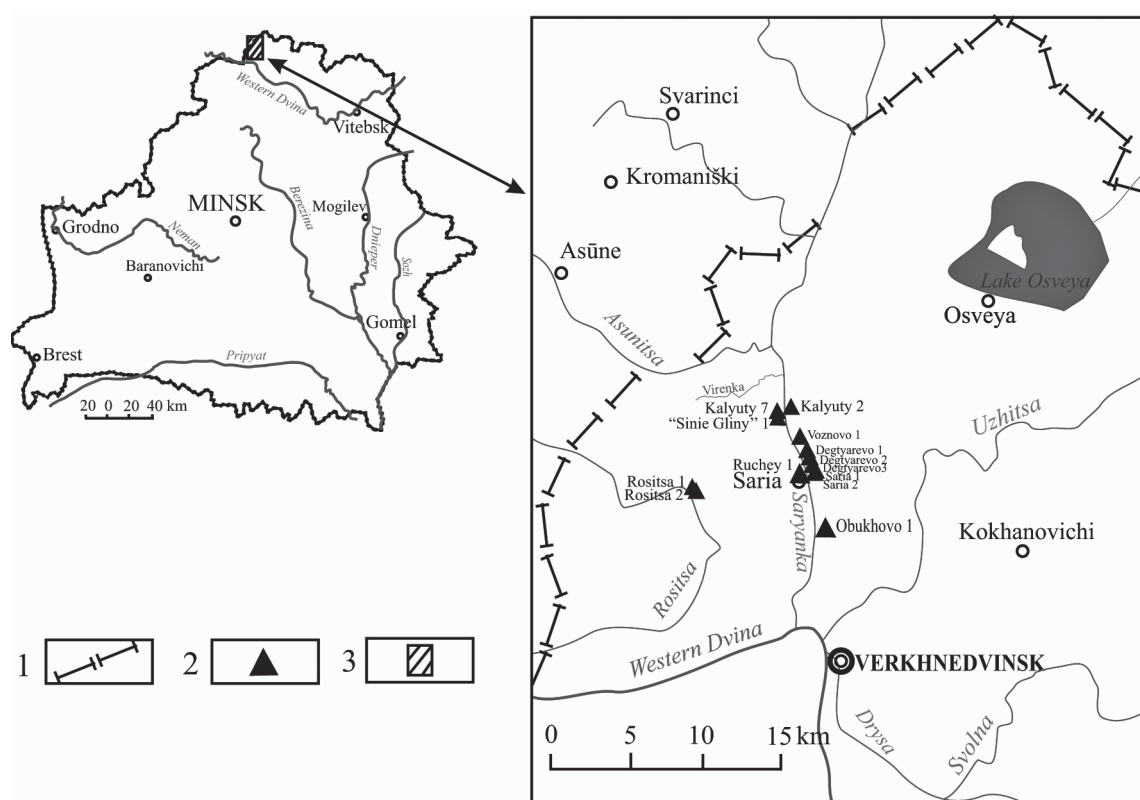
Introduction. The Zhelon (Frasnian, Upper Devonian) terrigenous deposits are widespread in northern Belarus within the Latvian Saddle [1]. They expose along the banks of the Saryanka and Rositsa Rivers. The first researcher who discovered Devonian clays and dolomites within the Saryanka River basin was L. F. Lungershausen [2]. Unfortunately, he revealed no organic remains in these deposits, and mistakenly considered them to be of the Middle Devonian age. Later A. A. Aleynikov [3] assigned these rocks to the Frasnian Stage of the Upper Devonian. Following researchers, Z. P. Vorobyeva [4] and L. S. Petrov [5, 6], studied mainly the carbonate part of this section, but they paid little attention to the terrigenous part. The first interpretation of the age of the terrigenous deposits was offered by P. P. Liepinš [7]. Based on lithological and mineralogical data he assigned these deposits (sandstones, siltstones and clays) to the Upper Gauja Subformation of the Gauja Formation of the Lower Frasnian Substage. In the same publication, P. P. Liepinš mentioned previously unknown outcrops of sandstones and clays along the Rositsa River, which he also assigned to the Upper Gauja Subformation. This author didn't mention any fossils from sandstones and clays of the Saryanka and Rositsa Rivers to support his conclusions regarding the geological age of these rocks. During the following forty years no one purposefully studied these deposits. In 2004, D. P. Plax for the first time discovered fossil ichthyofauna in sandy-clayey rocks (the «Sinie Gliny» 1 and Obukhovo 1 outcrops), which occur downstream the Saryanka River stratigraphically and hypsometrically below dolomites [8]. The finding of numerous macro-, meso- and micromeric ichthyofauna remains allowed him to palaeontologically prove the Zhelon (Early Frasnian) age of the enclosing strata and to suggest a correlation with the adjacent areas. In 2008, D. P. Plax discovered fossil ichthyofauna in the same part of the section in the Kalyuty 2 and Kalyuty 7 exposures, which helped him to clarify its taxonomic composition and to confirm the Zhelon age of the studied deposits [9, 10]. In 2018–2019, D. P. Plax and Yu. V. Zaika obtained new palaeontological and geological data regarding exposures of terrigenous strata along the Saryanka River, and, for the first time after P. P. Liepinš, in 2019 they located and described the Devonian outcrops along the Rositsa River.

The new data allowed the authors to distinguish in this part of the section a new local stratigraphic unit, i.e. the Degtyarevo Formation, which, according to the Stratigraphic Charts of the Devonian deposits of Belarus (2010) [1], is an age analogue to the Zhelon Regional Stage. This Formation is named after the Degtyarevo village of the Verkhnedvinsk district. As a stratotype for this new Formation, a composite section consisting of a series of exposures sequentially located downstream the Saryanka River, is proposed. Detailed descriptions of typical sections and a composite section of the Degtyarevo Formation are given below.

Materials and methods. This paper is based on lithological and palaeontological materials, collected and published by D. P. Plax and S. A. Kruchek [8–11], as well as on new collections obtained in 2018 and 2019 by D. P. Plax and Yu. V. Zaika during detailed survey of the Devonian outcrops occurring in the basin of the Saryanka River (Obukhovo 1, Ruchey 1, Saria 1, Saria 2, Degtyarevo 1, Degtyarevo 2, Degtyarevo 3, Voznovo 1, «Sinie Gliny» 1, Kalyuty 2 and Kalyuty 7 outcrops) and along the Rositsa River (Rositsa 1 and Rositsa 2 outcrops) (Text-Figure 1). Palaeontological materials collected from some of the above-listed outcrops, are represented mainly by skeletal elements of ichthyofauna. Fossil invertebrates and plants are rare and have little significance for stratigraphy.

Outcrops were described and lithologically subdivided in the field. In most cases, neighboring exposures were correlated in the field using lithological features. Some lithological members and intervals of deposits were sampled for laboratory study.

To draw up a composite section and to calculate the estimated total sediment thickness the authors used the following data: 1) the field measurements of the thickness of exposed Devonian rocks as well



Text-Fig. 1. Map of location of typical outcrops of the Degtyarevo Formation:
1 – state border, 2 – typical outcrops of the Degtyarevo Formation, 3 – the area of study

as of the Quaternary deposits that overlay them; 2) the hypsometrical data defined from topographic maps; 3) the absolute elevations obtained from the Google Earth service.

Field photographs were performed using a PowerShot SX130-IS. Geological sections were drawn up using the CorelDRAW X3 software.

The identification of the collected scolecodonts and conodonts was made according to the external morphological features, while histological data were used to identify skeletal elements of agnathans and fishes, in addition to the external morphology.

Most of the studied palaeontological materials and rock samples are stored in a private collection of D.P. Plax. Part of the fossil skeletal material is located in the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Production Center for Geology" and in palaeontological and lithological collections at the Department of Mining, Belarusian National Technical University.

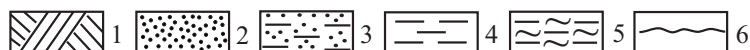
Geological characteristics of the Degtyarevo Formation outcropping on the Saryanka and Rositsa Rivers. The descriptions of the following outcrops: the «Sinie Gliny» 1, Kalyuty 2 and 7, Voznovo 1, Degtyarevo 1, 2 and 3, which were studied or first discovered by D.P. Plax in 2018, as well as the Obukhovo 1, Rositsa 1 and 2, Ruchey 1, Saria 1 and 2, which were additionally studied or first established by the authors in 2019, can be found below.

Bluish-grey, dense, fat, plastic Devonian clays expose in the riverbed (at the bottom and along the banks) of the Rositsa River (**Rositsa 1 outcrop**). They occur approximately 50 m from the bridge over the Rositsa River and continue for several tens of meters downstream.

The Rositsa 2 outcrop (Text-Figures 2 and 3) is located on the right bank of the Rositsa River near the village of Rositsa in the Verkhnedvinsk district approximately 200 m from the bridge over the river. The part of the section exposed by the pit includes the following rocks (from bottom to top):

(D₃ dgt) 1. Aleuritic clay, grey, ashen-grey, dense, plastic under wet conditions. The contact with the overlying bed is clearly defined. Exposed thickness 0.55 m

System	Series	Stage	Substage	Regional stage	Formation	Thickness, m	Bed №	Lithology
Quaternary system						0.3	6	
						0.05	5	
						0.25	4	
Devonian	Upper	Frasnian	Lower	Zhelon	Degtyarevo	0.35	3	
						0.15	2	
						0.55	1	



Text- Fig. 2. Geological section of the Rositsa 2 outcrop

Beds: 1 - vegetable soil, 2 – sand, 3 - clayey sand, 4 – clay, 5 - aleuritic clay. Other symbol: 6 - surface of discontinuity

(D₃ dgt) 2. Clayey quartz sand, light grey, with bluish tint, fine-grained, slightly micaceous, without clear layering. The contact with the overlying bed is quite clearly defined 0.15 m

(D₃ dgt) 3. Clay, bluish-grey, with brown, yellow and rusty spots, dense, fat, plastic under wet conditions, viscous. The contact with the overlying bed is clearly defined 0.35 m

(Q) 4. Feldspar-quartz sand, white-yellow, fine-grained, without clear layering 0.25 m

(Q) 5. Clayey feldspar-quartz sand, yellowish-brown, fine and small-grained 0.05 m

(Q) 6. Vegetable soil. 0.3 m

The Devonian strata have an angle of dip of about 8–10° against the direction of the river.

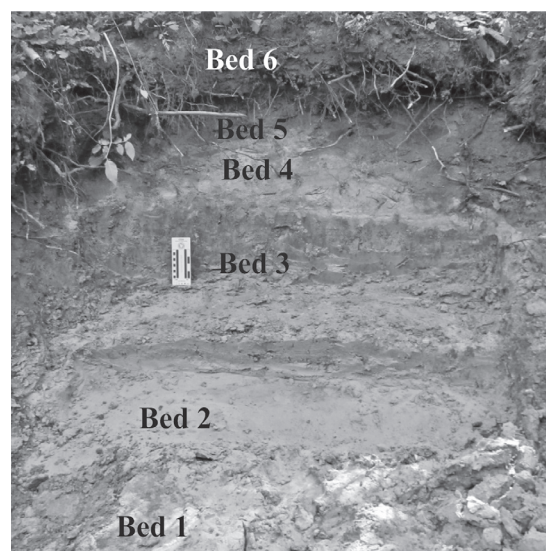
The organic remains have not been established in this exposure.

The Obukhovo 1 outcrop (Text-Figures 4 and 5)

is located approximately 2 km from the Obukhovo village, upstream of the Saryanka River, on its left bank. In this section the following strata are exposed (from bottom to top):

(D₃ dgt) 1. Clay, bluish-grey, with brown spots, homogeneous, fat, plastic under wet conditions and somewhat viscous. The contact with the overlying bed is clearly defined 1.8 m

(D₃ dgt) 2. Silty sandy clay, bluish-grey, dense, with the inclusion of rare small boulders (10–15 cm), and with numerous inclusions of rounded or slightly angled pebbles represented by feldspar, quartz, granite, quartzite, gneiss, sandstone, limestone, dolomite, etc. The clays also include large grains of sand represented mainly by feldspar and quartz. This bed is characterized by wavy layering. Many discrete fragments of the agnathan and fish skeletal elements (fragments of exoskeletal plates, fin spines, teeth, scales, tesserae, dentine tubercles of the external layer of plates, etc.) belonging to the following taxa: *Placosteus* sp., *P. undulatus* (Ag.), *Psammosteus* sp., *P. praecursor* Obr., *P. cf. maeandrinus* Ag., *Psammosteoides* indet., *Ptyctodontida* gen. indet., *Plourdosteus* sp., *Asterolepis radiata* Rohon,



Text-Fig. 3. Rositsa 2 outcrop



Bothriolepis sp., *Antiarcha* indet., *Placodermi* indet., *Devononchus* sp., *D. concinnus* (Gross), *Acanthodii* gen. indet., *Onychodus* sp., *Glyptolepis baltica* Gross, *Holoptychius* cf. *nobilissimus* Ag., *Laccognathus panderi* Gross, *Osteolepididae* gen. indet., *Panderichthys* sp., *Dipteridae* gen. indet. and *Sarcopterygii* indet. were found among organic remains. The skeletal elements of these taxa are mainly meso- and micro-sized. Numerous redeposited micromeric dacryoconarids (*Dacryoconarida*) of good preservation state were also found in this bed. The contact with the overlying bed is uneven, well expressed.....1.5 m

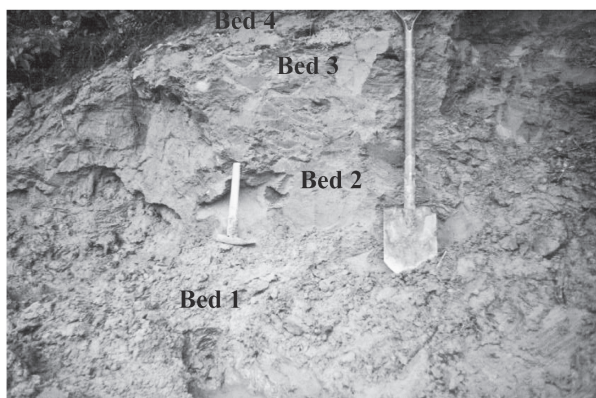
(D₃ dgt) 3. Sandy clay, light brown, cream-colored, with brown, orange and bluish-grey interlayers, dense, with a somewhat undulating layering. Skeletal fragments of the following agnathans and fishes were found: *Placosteus undulatus* (Ag.), *Psammosteus* sp., *P. cf. maeandrinus* Ag., *Asterolepis radiata* Rohon, *Euarthrodira* indet., *Placodermi* indet., *Glyptolepis* sp., *Holoptychius* sp., *Laccognathus* sp., *Osteolepididae* gen. indet., *Panderichthys* sp., *Dipteridae* gen. indet. and *Sarcopterygii* indet. The contact with the overlying bed is clearly defined 0.6 m

(Q) 4. Feldspar-quartz sand, very fine-grained, greyish-yellow, with alternating thin horizontal layers of brown sand having a thickness of up to 1 cm 1.5 m

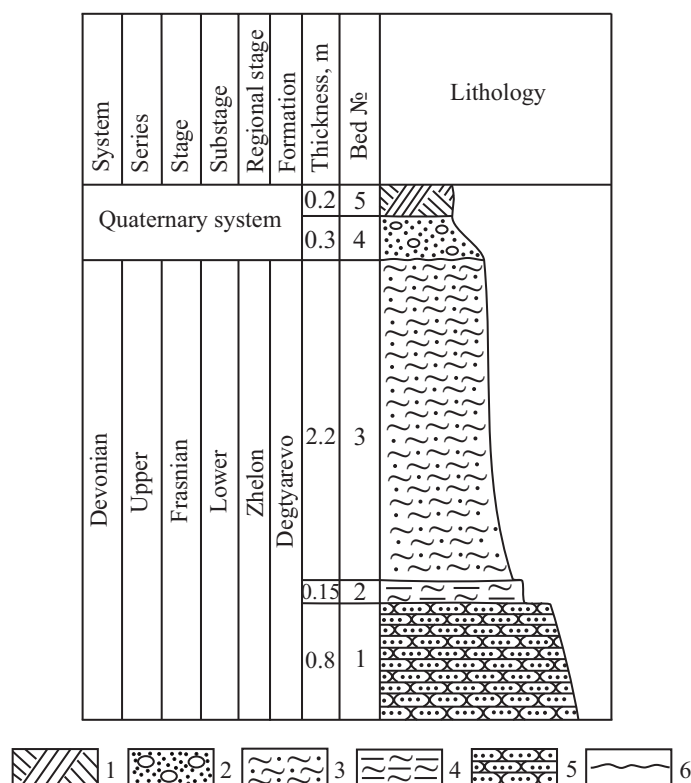
All Devonian beds have a dip of about 20 - 30 ° in the direction of the river.

The Ruchey 1 outcrop (Text-Figure 6) is located near the spring in the village of Saria about 80 m from the Great Patriotic War monument. The following rocks are exposed from bottom to top:

(D₃ dgt) 1. Rusty-brown quartz sandstone, light brown, slightly clayey, fine-grained, micaceous, weakly cemented, dense, with subhorizontal thin intermittent lamination. The contact with the overlying bed is relatively clearly defined. Exposed thickness 0.8 m



Text-Fig. 5. Obukhovo 1 outcrop



Text-Fig. 6. Geological section of the Ruchey 1 outcrop

Beds: 1 - vegetable soil, 2 - sand and gravel, 3 - silt, 4 - aleuritic clay, 5 - sandstone. Other symbol: 6 - surface of discontinuity

(D₃ dgt) 2. Aleuritic clay, bluish-grey, with a greenish tint, micaceous, dense. The contact with the overlying bed is clearly defined 0.15 m

(D₃ dgt) 3. Quartz silt, light grey, with a bluish-greenish tint, without clear layering, fine-grained, slightly clayey, locally with numerous inclusions of large-grained sand and gravel of quartz feldspar, dolomite, granite, quartzite, etc. The rock contact with the overlying bed is sharp and clear. 2.2 m

(Q) 4. Sand and gravel, brown 0.3 m

Vegetable soil, about 0.2 m thick occurs above the exposure.

The organic remains have not been established in this outcrop.

The Saria 2 outcrop (Text-Figures 7 and 8) is located on the left bank of the Saryanka River within the village of Saria, about 250-300 m downstream of the bridge over the river. The section is composed (from bottom to top) of the following strata:

(D₃ dgt) 1. Quartz sandstone, rusty-brown, light brown, fine-grained, micaceous, weakly cemented, dense. The contact with the overlying bed is smooth. Exposed thickness 0.9 m

(D₃ dgt) 2. Quartz siltstone, grey, with a bluish tint, fine-grained, micaceous, slightly clayey, weakly cemented, dense, with subhorizontal thin intermittent lamination. The contact with the overlying bed is uneven. . 1.0 m

(D₃ dgt) 3. Clay, grey, with a bluish tint, in places with brown spots, plastic, viscous, dense. The contact with the overlying bed is very clearly defined 0.1 m

(D₃ dgt) 4. Aleuritic clay, bluish-grey, micaceous, with subhorizontal thin layering. The contact with the overlying bed is uneven, clearly defined 0.25 m

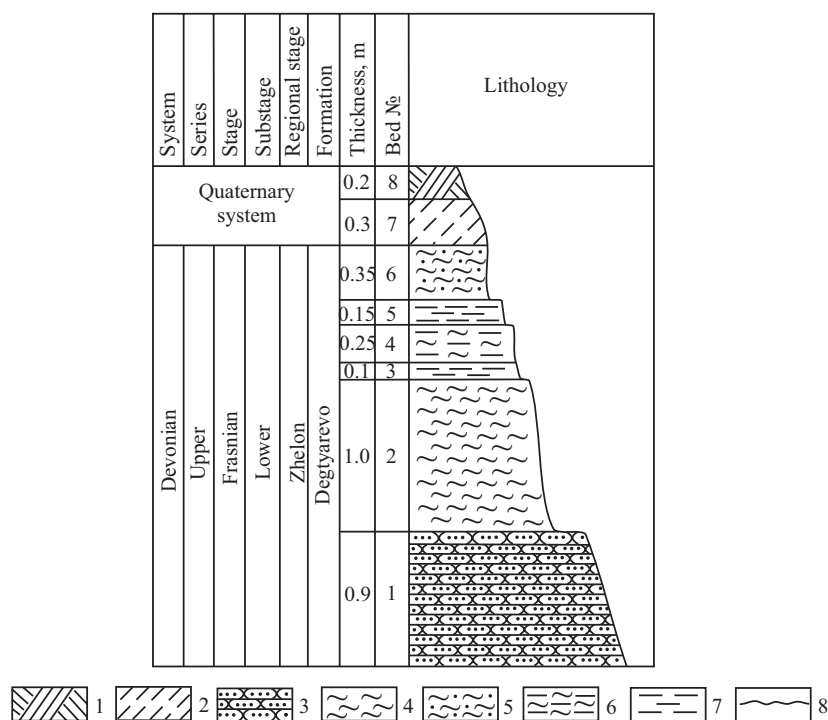
(D₃ dgt) 5. Clay, red-brown, in some areas bluish-grey, dense, plastic and viscous under wet conditions. The contact with the overlying bed is clearly defined 0.15 m

(D₃ dgt) 6. Quartz silt, light grey, with bluish-greenish tint, fine-grained, micaceous, slightly clayey, without distinct layering, with inclusions of gravel represented by quartz, feldspar, granite, quartzite, etc. The contact with the overlying bed is sharp, uneven 0.35 m

(Q) 7. Sandy loam, red-brown, clayey, dense, hidden by a landslide of vegetable soil 0.3 m

The total dip of the above listed beds is about 5° in the direction of the river.

The organic remains have not been established in this exposure.



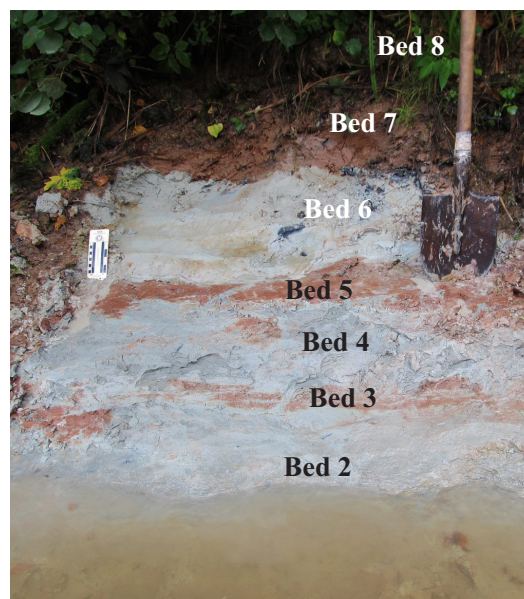
Text-Fig. 7. Geological section of the Saria 2 outcrop

Beds: 1 - vegetable soil, 2 - sandy loam, 3 - sandstone, 4 - siltstone, 5 - silt, 6 - aleuritic clay, 7 - clay. Other symbol: 8 - surface of discontinuity

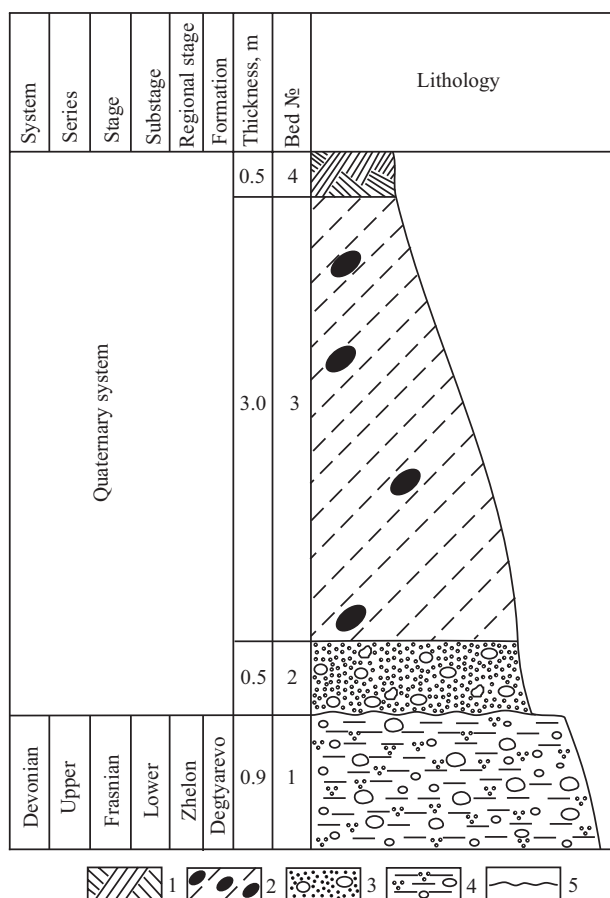
About 100 m upstream of the Saryanka River, on its left bank, the **Saria 1 outcrop** occurs with an almost identical lithological composition. It is also worth noting that there are at least 15 exposures of the Degtyarevo Formation along the Saryanka River within the Saria village (as of 2019). All of them are to some extent similar to the Saria 2 outcrop described above, and the visible variations in their composition are associated mainly with the variable thickness and different number of exposed beds of terrigenous rocks.

The Degtyarevo 3 outcrop is located in the left-bank terrace of the Saryanka River within the village of Degtyarevo, about 100 m upstream from the bridge over the river. At the time of description (2019), the outcrop was almost completely located below the water level, with the exception of its uppermost part. The observed thickness of the exposed Zhelon deposits was about 1.3 m. The rocks are represented by bluish-grey, dense, fat, viscous, plastic clay. The organic remains are not visually found.

The Degtyarevo 2 outcrop (Text-Figure 9) is located on the right bank of the Saryanka River in the village of Degtyarevo, about 250 m upstream of the bridge over the river. The following sediments are exposed in the section of this outcrop from bottom to top:



Text-Fig. 8. Saria 2 outcrop



Text-Fig. 9. Geological section of the Degtyarevo 2 outcrop. Beds: 1 - vegetable soil, 2 – sandy loam with rare boulders, 3 – sand and gravel, 4 – clay with sand, gravel and pebbles. Other symbol: 5 – surface of discontinuity

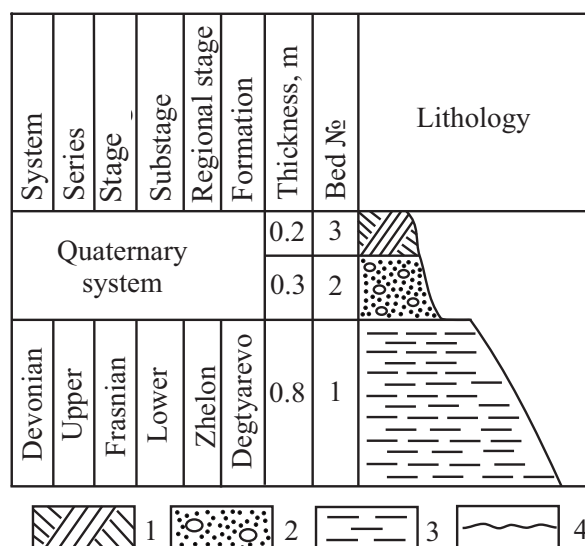
(D₃ dgt) 1. Clay, bluish-grey, with bluish-greenish-grey spots, dense, fat, plastic and viscous under wet conditions, with very poorly expressed subhorizontal layering. Contains abundant sand, gravel and pebble material, mainly rounded, sometimes slightly angular. The clastic material is represented by quartz, feldspar, granite, gneiss, diorite, quartzite, limestone, dolomite, sandstone and other rocks and minerals; fragments of limestone and dolomite dominate. *In situ* organic remains have not been established, but redeposited organic remains are abundant and are represented by small brachiopods, bivalves, crinoids, etc. The contact with the overlying bed is clear, sharp. Exposed thickness.....0.9 m

(Q) 2. Sand and gravel of brown color0.5 m

(Q) 3. Sandy loam, brown, with rare inclusions of boulders, with local interbeds of red, yellow, fine- and medium sand.3.0 m

The sandy loam is covered by a talus of vegetable soil.

The Degtyarevo 1 outcrop (Text-Figure 10) is located on the left bank of the Saryanka River, about 350 m upstream of the bridge over the river. The outcrop is clearly visible in the river edge and is represented by bluish-grey, dense, fat, viscous, plastic clays. The total thickness of the exposed clays of the Zhelon age is about 0.8 m. Above are the Quaternary sands with gravel and pebbles (0.3 m thick), covered by a talus of vegetable soil.



Text-Fig. 10. Geological section of the Degtyarevo 1 outcrop
Beds: 1 - vegetable soil, 2 – sand with gravel and pebbles, 3 – clay. Other symbol: 4 – surface of discontinuity

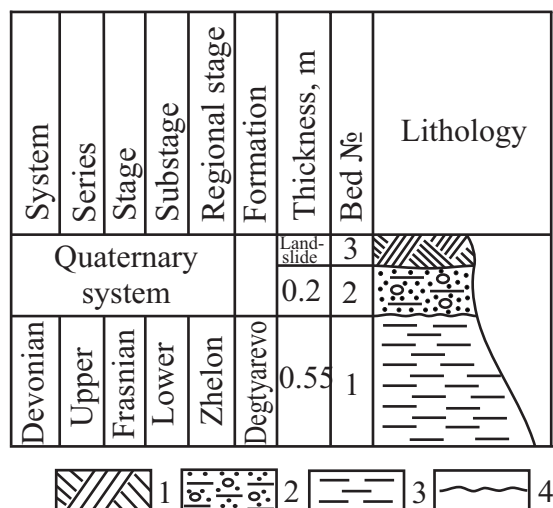
The Voznovo 1 outcrop (Text-Figure 11) is located on the right bank of the Saryanka River near the village of Voznovo, in the base of a large slope. At the time of the survey (2019), the outcrop almost completely occurs below the water level with only about 0.15 m of the Devonian rocks located above the water. The visible thickness of the flooded part of the outcrop is approximately 0.4 m. The section from bottom to top is as follows:

(D₃ dgt) 1. Clay, bluish-grey, fat, viscous and plastic under wet conditions. The organic remains were not found. The contact with the overlying bed is clear and uneven. Exposed thickness0.55 m

(Q) 2. Clayey sand, light yellow, with numerous inclusions of pebbles and gravel of dolomite, quartz, quartzite, granite, gneiss, sandstone and other minerals and rocks. Visible thickness0.2 m

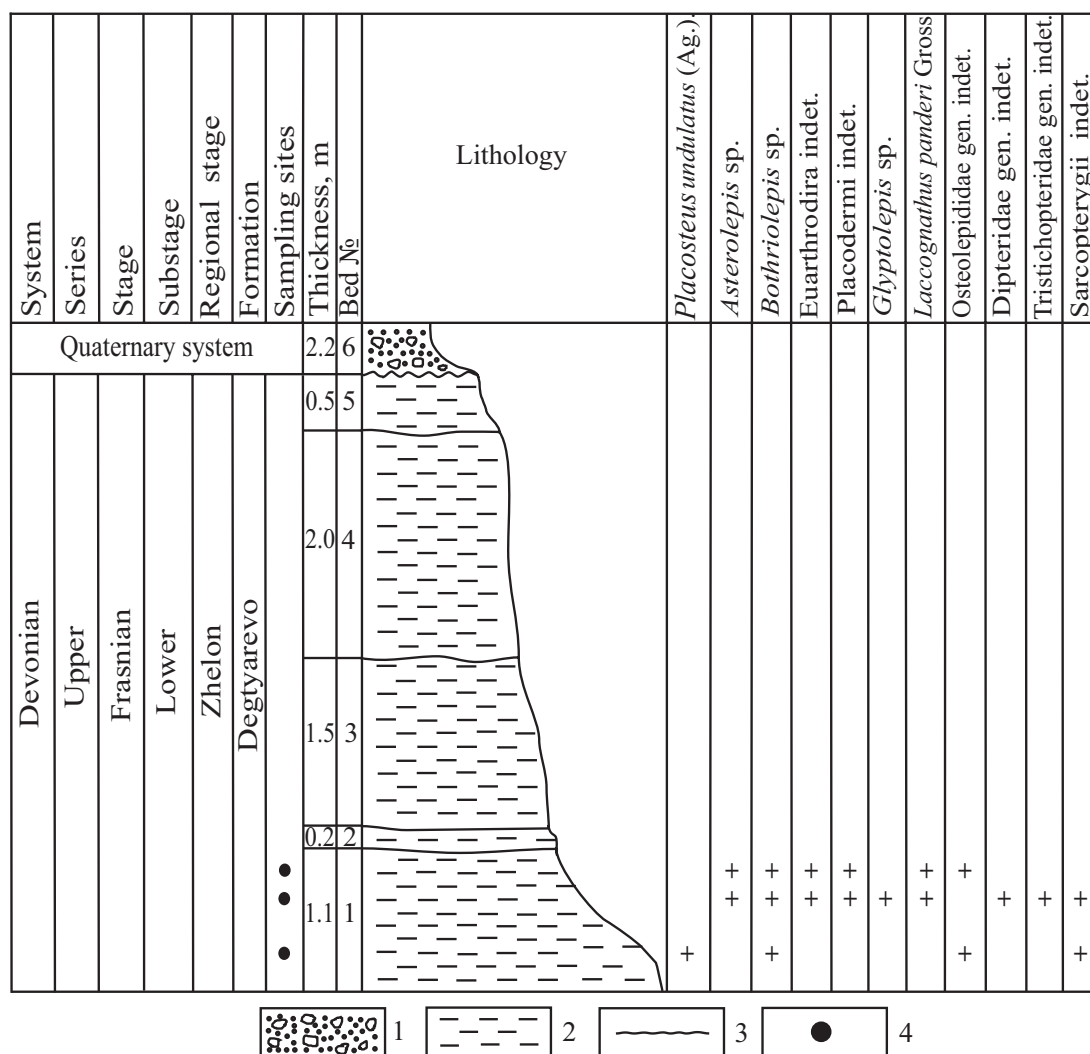
A large landslide of vegetable soil occurs above the outcrop.

The «Sinie Gliny» 1 outcrop (Text-Figures 12 and 13) is located on the right bank of the Saryanka River, about 2 km downstream from the mouth of the Turia River. From bottom to top the following strata are exposed:



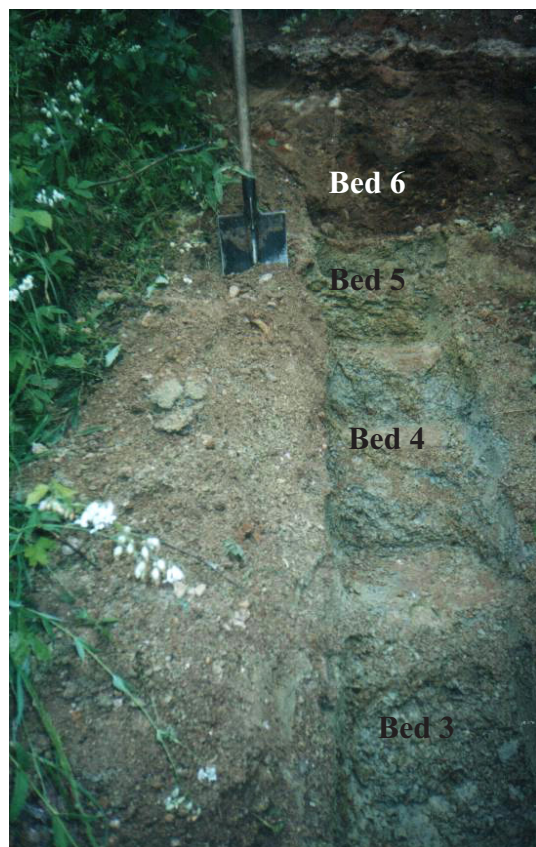
Text-Fig. 11. Geological section of the Voznovo 1 outcrop

Beds: 1 - vegetable soil, 2 – clayey sand with gravel and pebbles, 3 – clay. Other symbol: 4 – surface of discontinuity



Text-Fig. 12. Geological section of the «Sinie Gliny» 1 outcrop and distribution of the ichthyofauna (from [9] with some refinements and additions)

Beds: 1 – sand and gravel, 2 – clay. Other symbols: 3 – surface of discontinuity, 4 - sampling points



Text-fig. 13. «Sinie Gliny» 1 outcrop

(D₃ dgt) 1. Clay, blue, with rare brown spots, lumpy, indistinctly laminated, fat, dense, viscous and plastic under wet conditions, contains small (0.5–4.0 mm) fragments of minerals (quartz, feldspar) and rocks (sandstone, dolomite etc.), as well as abundant micro- and mesomeric fragments of the agnathan and fish skeletal elements (tubercles, teeth, vertebrae, bones, plates, etc.) represented by the following taxa: *Placosteus undulatus* (Ag.), *Asterolepis* sp., *Bothriolepis* sp., *Euarthrodira* indet., *Placodermi* indet., *Glyptolepis* sp., *Laccognathus panderi* Gross, *Dipteridae* gen. indet., *Osteolepididae* gen. indet., *Tristichopteridae* gen. indet. and *Sarcopterygii* indet. The contact with the overlying bed is clearly defined. Exposed thickness.....1.1 m

(D₃ dgt) 2. Clay, bluish-grey, with brown spots and stains on the surface, indistinctly laminated, fine-platy, fat, viscous and plastic under wet conditions.0.2 m

(D₃ dgt) 3. Clay, greyish, homogeneous, lumpy, indistinctly laminated, fat, viscous and plastic under wet conditions. The contacts with the underlying and overlying beds are clearly defined1.5 m

(D₃ dgt) 4. Clay, grey, with frequent brown spots on the surface, homogeneous, indistinctly laminated, fine-platy, viscous and plastic under wet conditions . . .2.0 m

(D₃ dgt) 5. Clay, yellowish grey, homogeneous, platy, indistinctly laminated. The contacts with the underlying and overlying clay beds are clearly defined0.5 m

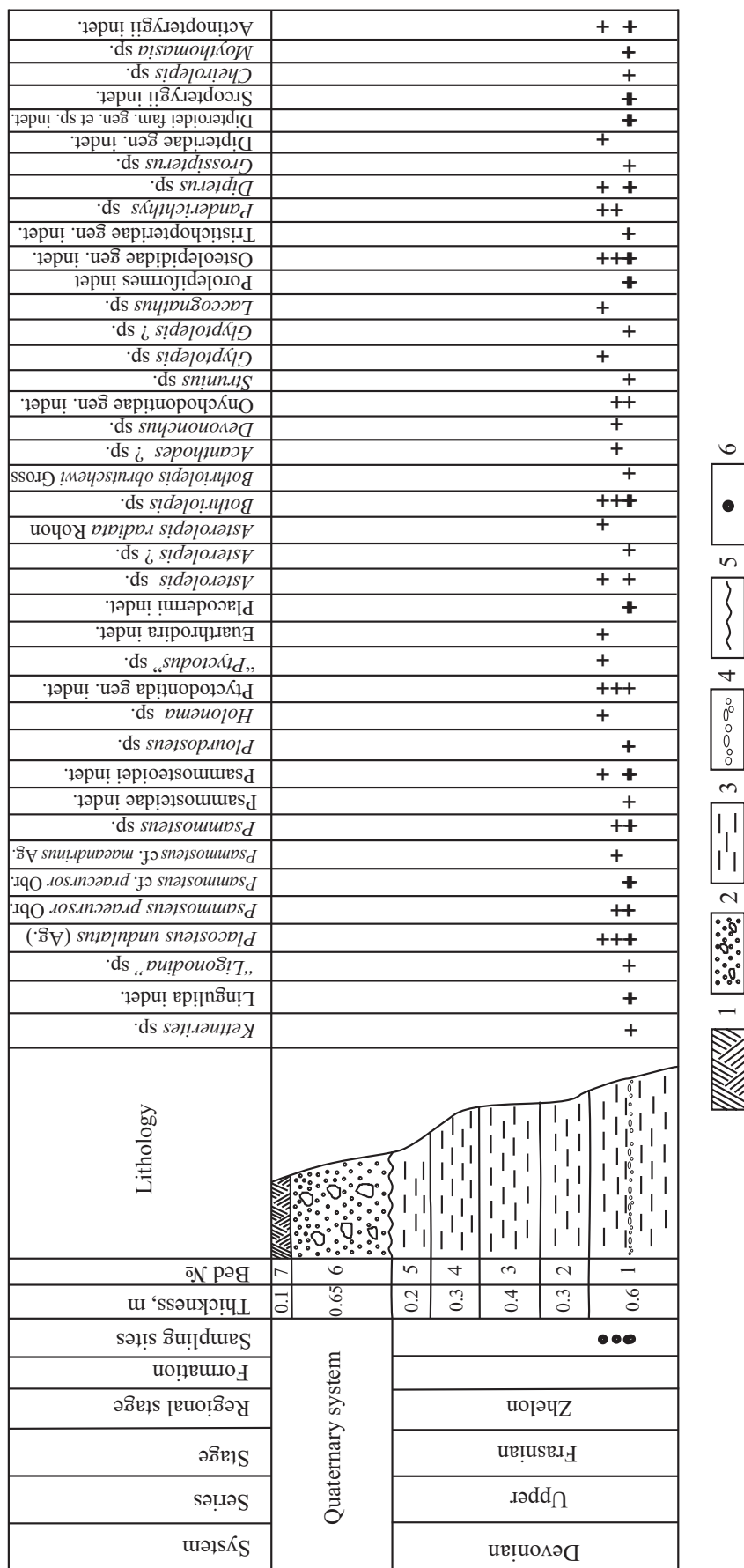
(Q) 6. Feldspar-quartz sand, whitish-yellow, fine-grained, with weakly expressed lamination, with inclusions of granite and gneiss boulders and a rare content of pebbles represented by gneiss, quartzite, granite, sandstone, limestone, dolomite, etc1.5 m

Vegetable soil, about 0.1 m thick, occurs above the outcrop.

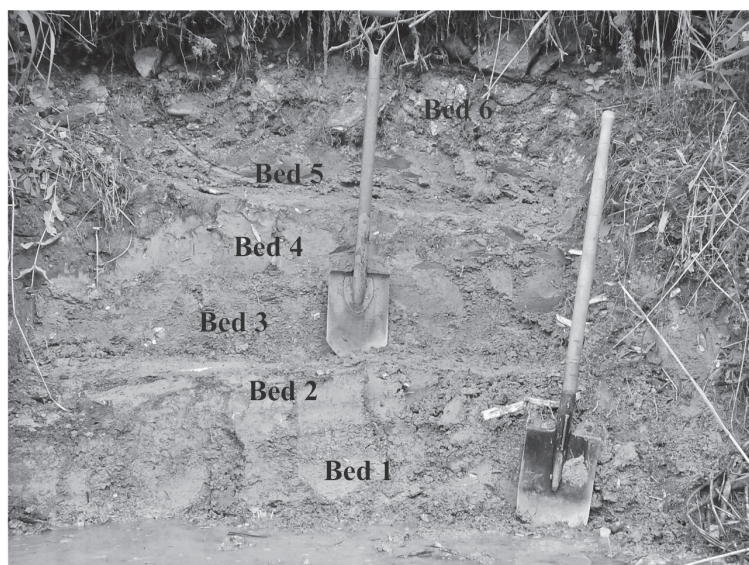
All beds occur almost horizontally.

The Kalyuty 2 outcrop (Text-Figures 14 and 15) is located on the left bank of the Saryanka River; about 70 m upstream of the «Sinie Gliny» 1 outcrop. The section is composed of the following strata (from bottom to top):

(D₃ dgt) 1. Clay, bluish and blue, wet, viscous, plastic, fat, lumpy, dense, indistinctly laminated, with small (0.5–5.0 mm) fragments of minerals and rocks: quartz, feldspar, sandstone, dolomite, etc. Approximately 33 to 35 cm from the bottom of the bed an interlayer of clay lumps with carbonate cement occurs, about 10 cm thick, containing a large number of small pebbles and gravel. Organic remains include rare carbonified plant fragments, two *Kettnerites* sp. scolecodont specimens, single fragments of lingulid shells, three specimens of “*Ligonodina*” sp. conodont, and a large number of micro- and mesomeric fragments of skeletal elements of the agnathans and fishes. The vertebrates are found throughout the entire bed 1, but they are most numerous in the above-mentioned interlayer. The agnathans and fishes are represented by the following taxa: *Placosteus undulatus* (Ag.), *Psammosteus* sp., *P. praecursor* Obr., *P. cf. praecursor* Obr., *P. cf. maeandrinus* Ag., *Psammosteidae* gen. indet., *Psammosteioidei* indet., *Ptyctodontida* gen. indet., “*Ptyctodus*” sp., *Holonema* sp., *Plourdosteus* sp., *Euarthrodira* indet., *Asterolepis* sp., *A. ?* sp., *A. radiata* Rohon, *Bothriolepis* sp., *B. obrutschewi* Gross, *Placodermi* indet., *Acanthodes ?* sp., *Devononchus* sp., *Strunius* sp., *Onychodontidae* gen. indet., *Glyptolepis* sp., *G. ?* sp., *Laccognathus* sp., *Porolepiformes* indet., *Osteolepididae* gen. indet., *Tristichopteridae* gen. indet., *Panderichthys* sp., *Dipteridae* gen. indet., *Dipteroidei* fam. gen. et sp. indet., *Dipterus* sp., *Grossipterus* sp., *Sarcopterygii* indet., *Cheirolepis* sp., *Moythomasia* sp. and *Actinopterygii* indet. Exposed thickness0.6 m



Text-Fig. 14. Geological section of the Kalyuty 2 outcrop and distribution of the ichthyofauna (from [9] with some refinements and additions)
Beds: 1 – vegetable soil, 2 – sand and gravel, 3 – clay, 4 – pebbles and gravel. Other symbols: 5 – surface of discontinuity, 6 – sampling points



Text-Fig. 15. Kalyuty 2 outcrop

(D₃ dgt) 2. Clay, grey, bluish, dense, homogeneous, platy, plastic under wet conditions; light brown weathering stains and spots are observed sometimes on the bed surface. The contact with the overlying bed is clearly defined by both the color and texture of the sediment.0.3 m

(D₃ dgt) 3. Clay, bluish-grey, dense, homogeneous, lumpy, indistinctly laminated, fat, viscous and plastic under wet conditions, in some places within the bed there are small clay fragments with light brown stains on their surfaces. The contact with underlying and overlying beds is clear0.4 m

(D₃ dgt) 4. Clay, light grey, pale greenish (of mustard color), dense, plastic; light brown; buffy stains and spots are distinctly observed on the surface of the bed. The contact with the underlying bed is clearly defined by both the color and textural features. The contact with the overlying bed is clearly defined0.3 m

(D₃ dgt) 5. Clay, light grey, yellowish-greenish, dense, plastic, indistinctly laminated, with yellow, brownish and buffy stains observed on the surface of the bed. The contact with the overlying bed is clearly defined0.2 m

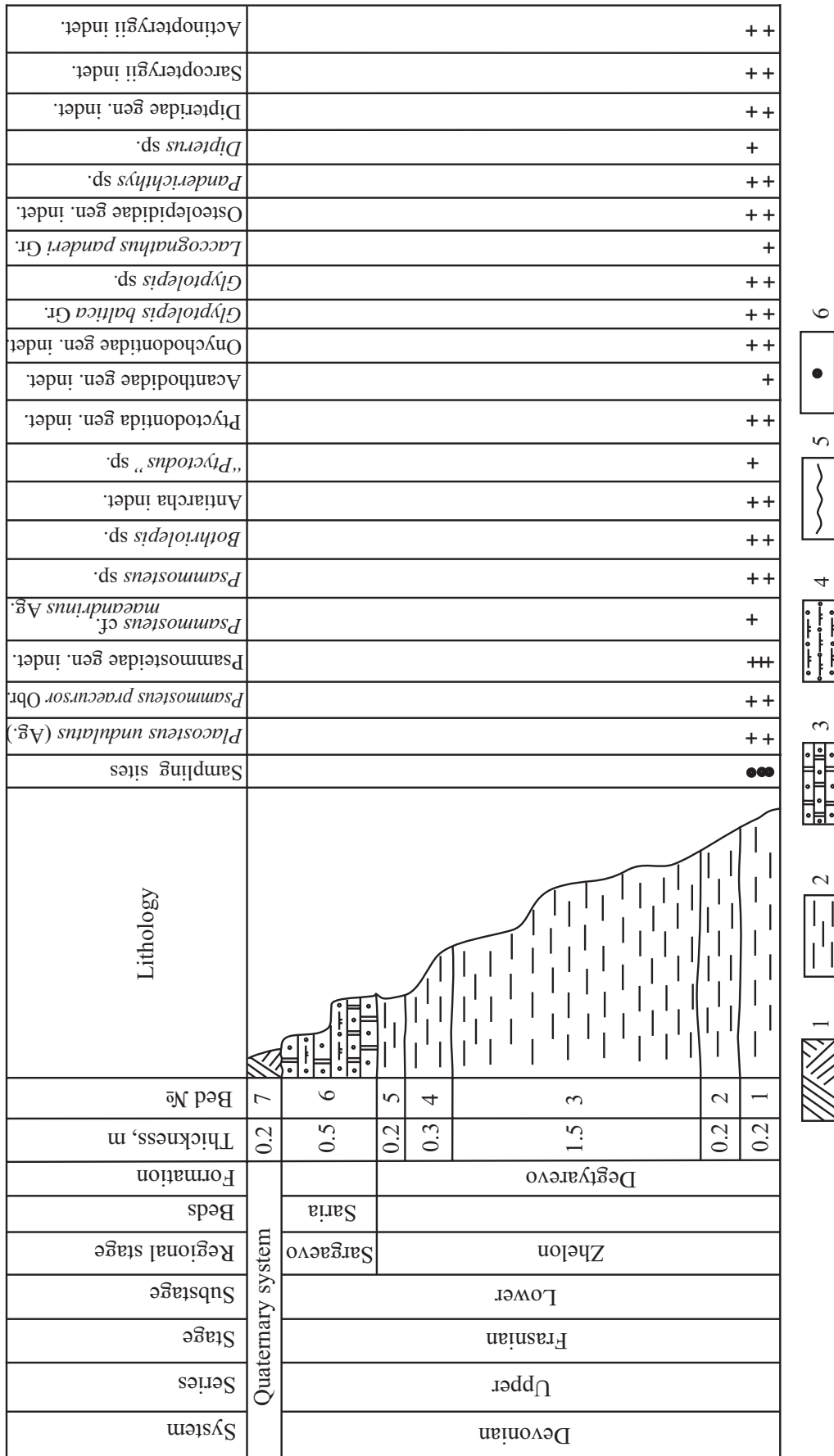
(Q) 6. Feldspar-quartz sand, light yellowish, fine-grained, with abundant pebbles and small boulders represented mainly by yellow, dense, slightly rounded dolomite; fragments of granite, gneiss, and silicified sandstone are occasionally found. Average diameter of the rock fragments is between 4–7 cm . . .0.65 m

Vegetable soil, about 0.1 m thick, occurs above the outcrop.

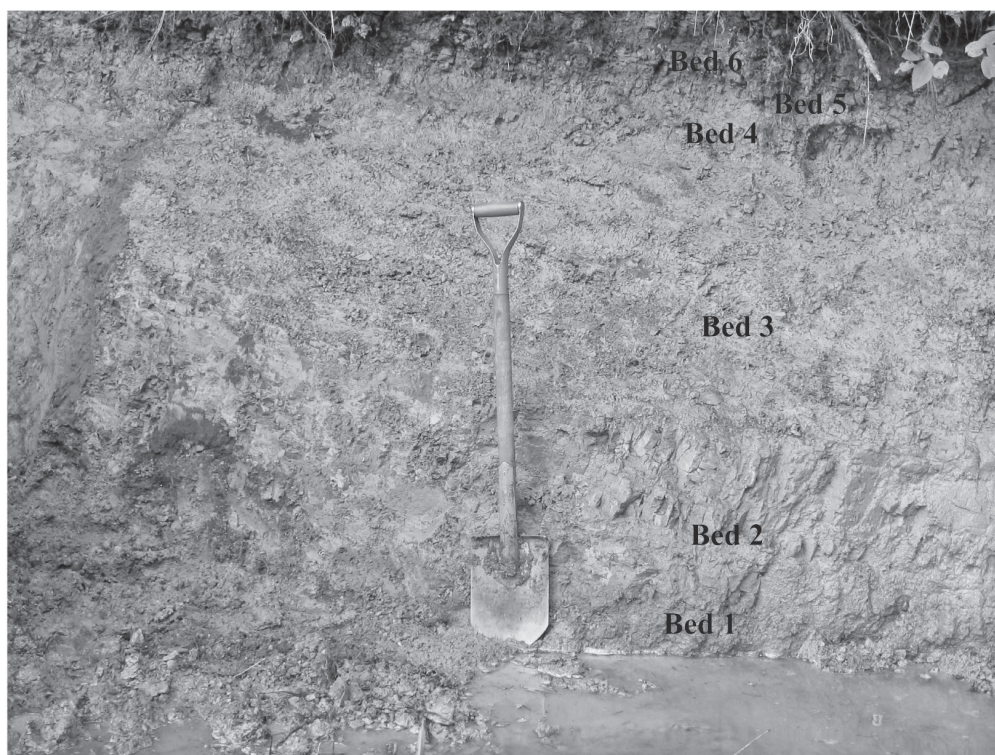
All the beds occur almost horizontally.

The Kalyuty 7 outcrop (Text-Figures 16 and 17) is located on the right bank of the Saryanka River, downstream of the Kalyuty 6 outcrop. The rocks of the Zhelon Regional Stage and the Saria Beds of the Sargaevy Regional Stage occur subhorizontally in the section. The following strata are exposed from bottom to top:

(D₃ dgt) 1. Clay, slightly sandy, bluish, dense, wet, viscous, plastic, indistinctly laminated, contains scarce small minerals particles (quartz, dolomite, feldspar, etc.) 0.3 to 7 mm in diameter, as well as fragments of magmatic, metamorphic and sedimentary rock debris (granite, gneiss, sandstone, dolomitic limestone, etc.). Clay encloses numerous isolated micro- and mesomeric, rarely, macromeric fragments of vertebrate skeletal elements that belong to the following taxa: *Placosteus undulatus* (Ag.), *Psammosteus* sp., *P. praecursor* Obr., *P. cf. maeandrinus* Ag., *Psammosteidae* gen. indet., *Ptyctodontida* gen. indet., «*Ptyctodus*» sp., *Bothriolepis* sp., *Antiarcha* indet., *Acanthodidae* gen. indet., *Onychodontidae* gen. indet., *Glyptolepis* sp., *G. baltica* Gross, *Laccognathus panderi* Gross, *Osteolepididae* gen. indet., *Panderichthys* sp., *Dipterus* sp., *Dipteridae* gen. indet., *Sarcopterygii* indet. and *Actinopterygii* indet. Rare carbonified plant remains are also found. The contact with the overlying bed is clearly defined by both the color and textural features. Exposed thickness0.2 m



Text-Fig. 16. Geological section of the Kalyuty 7 outcrop and distribution of the ichthyofauna (from [9] with some refinements and additions)
 Beds: 1 – vegetable soil, 2 – clay, 3 – sucrosic dolomite, 4 – dolomite powder. Other symbols: 5 – surface of discontinuity, 6 – sampling points



Text-Fig. 17. Kalyuty 7 outcrop

(D₃ dgt) 2. Clay, bluish-grey, homogeneous, dense, lumpy, plastic under wet conditions, viscous. Scarce brown weather stains are observed on the bed surface0.2 m

(D₃ dgt) 3. Clay, grey, heavy, homogeneous, fat, viscous and plastic under wet conditions, lumpy, indistinctly laminated. The contact with underlying and overlying beds is clearly defined.1.5 m

(D₃ dgt) 4. Clay, grey, with numerous brown spots, thin-laminated, homogeneous, viscous and plastic under wet conditions0.3 m

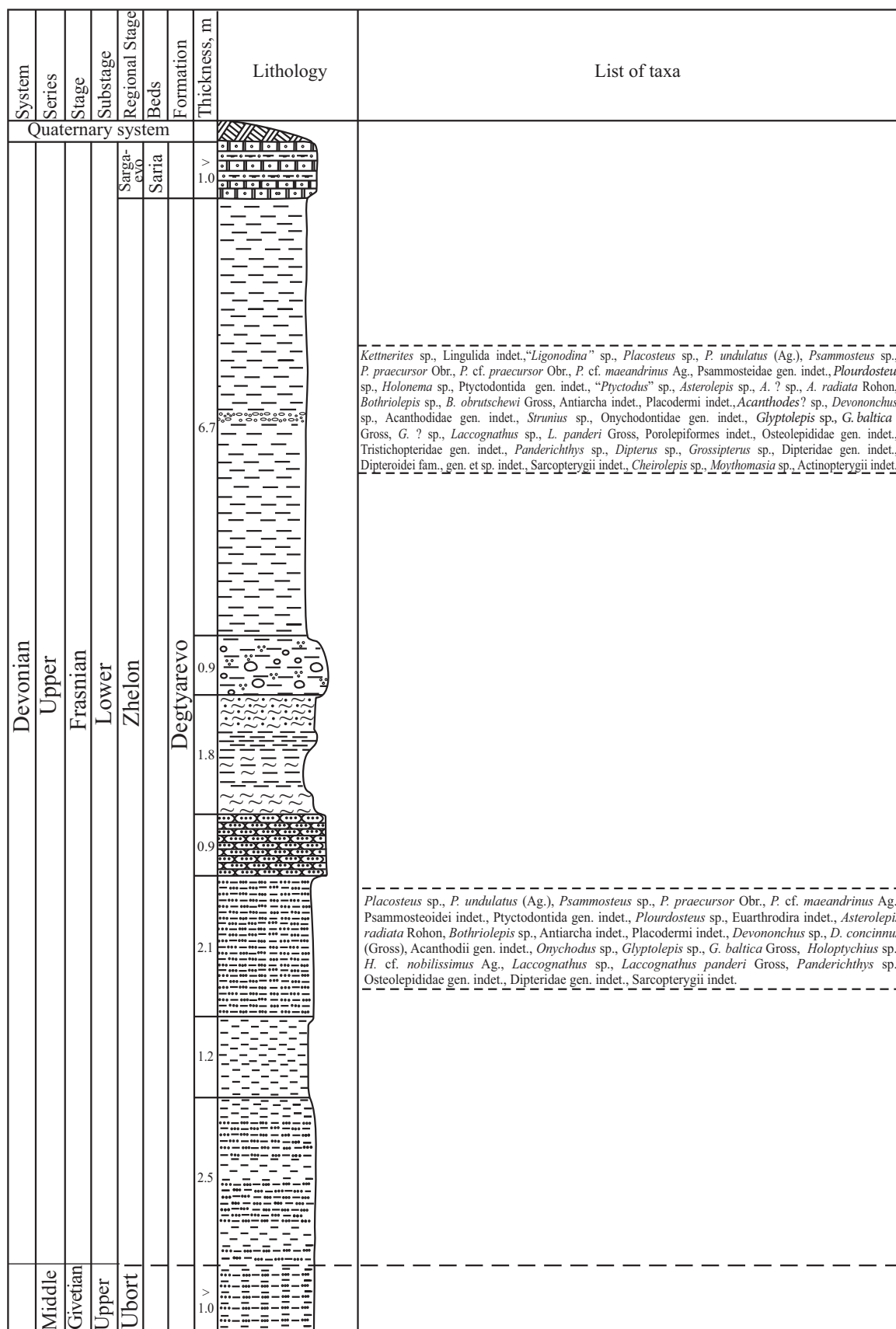
(D₃ dgt) 5. Clay, mustard-yellow, dense, laminated, homogeneous, viscous and plastic under wet conditions; rusty and brown weather stains and spots are sometimes observed on the bed surface. Numerous fragments of yellow and light yellow, dense, sucrosic dolomites are found in the upper part of the bed. The contact with underlying and overlying beds is clearly defined0.2 m

(D₃ srj) 6. Dolomite, fine-grained (sucrosic), dense, hard, indistinctly laminated, thick-bedded, fractured, with rare caverns up to 1 cm in diameter, slightly fissured, cracks are mainly seen along bedding surfaces; some amount of dolomite powder occurs as lenses or admixture. The dolomite and the dolomite powder are yellow and light yellow. Visually there are no organic remains0.5 m

Vegetable soil, about 0.2 m thick, occurs, above the outcrop.

Based on the results of study of the above-described isolated outcrops, arranged in a stratigraphic sequence, a schematic composite section of the Degtyarevo Formation, which corresponds to the Zhelon Regional Stage, is given (Text-Figure 18). This composite section of the Degtyarevo Formation has a clear two-membered structure: clayey sediments dominate in the upper part, while silts and sandstones are often found in the lower part.

Correlation of the Degtyarevo Formation. Currently, exposures of terrigenous deposits of the Degtyarevo Formation have been reliably established in the Saryanka River basin in the area between the Obukhovo village and the former village of Kalyuty [8–10, 12]. Over this distance, eleven exposures have been studied in detail. The fossil remains were revealed in four of them: Obukhovo 1, «Sinie Gliny» 1, Kalyuty 2 and Kalyuty 7, and were represented mainly by skeletal elements of agnathans and fishes. In the remaining seven outcrops (Ruchey 1, Saria 1 and Saria 2, Degtyarevo 1, 2 and 3 and Voznovo 1) no organic remains were found. Despite this, it can be asserted with certainty that the age of the rocks



Text-fig. 18. Composite section of the Degtyarevo Formation (Lower Frasnian) and distribution of organic remains
For explanations see previous figures

in these palaeontologically barren outcrops is identical. This conclusion is confirmed by the following data: general conditions of the occurrence of rocks in the section, the similarity of the composition of the rocks, the location of exposures with no fossils between palaeontologically well-studied outcrops, and the possibility of combining a conditional composite section from separated exposures that complementary to each other. The terrigenous deposits along the Rositsa River (Rositsa 1 and Rositsa 2 outcrops), taking into account similar lithological composition, are almost undoubtedly of the same age as deposits exposed along the Saryanka River at the localities of the Ruchey 1, Saria 1 and Saria 2. A direct correlation of exposed beds seems to be possible based on the lithological composition of the rocks, even without findings of organic remains.

The assemblage of agnathans and fishes revealed in the Degtyarevo Formation in the Obukhovo 1, «Sinie Gliny» 1, Kalyuty 2 and Kalyuty 7 outcrops denotes the heterostracan zone *Psammosteus praecursor*, which corresponds to the Amata Regional Stage of the Main Devonian Field [13]. In the territory of Belarus the deposits of the Amata Regional Stage correspond to the Zhelon Regional Stage [1, 14]. Consequently, according to the palaeontological data, the Degtyarevo Formation is an age analogue of the Zhelon Regional Stage in Belarus. In Russia, the Zhelon Regional Stage corresponds to the Timan Regional Stage [15]. In 2018, a very important finding was made in the clayey deposits of the Degtyarevo Formation in the Kalyuty 2 outcrop: among the numerous taxa of ichthyofauna, the species *Bothriolepis obrutschewi* Gross was found, which allows us to correlate this part of the section with the upper part of the Amata Regional Stage of the Main Devonian Field [16–19], and consequently denotes the upper part of the Zhelon Regional Stage of Belarus. The terrigenous deposits of the Degtyarevo Formation in the «Sinie Gliny» 1, Kalyuty 6 and Kalyuty 7 outcrops can also be correlated with the upper part of the Zhelon Regional Stage, despite the fact that the zonal species *Bothriolepis obrutschewi* Gross has not yet been found in them. These outcrops are located very close to each other (Text-Figure 1) and characterized by significant similarity of lithological composition.

In 2019 the Obukhovo 1 outcrop was further studied in order to clarify its relation to one or another part of the Zhelon Regional Stage. Unfortunately, so far it has not been possible to find a zonal species in this outcrop, which would allow us to define whether the lower or upper part of the Zhelon Regional Stage is represented here. At present, it can only be concluded that the rocks of the Degtyarevo Formation exposed on this area, as was already established earlier [8, 9, 10], undoubtedly belong to the Zhelon Regional Stage.

Conclusions. 1. The paper provides improved descriptions of the Obukhovo 1, Kalyuty 2, and Kalyuty 7 outcrops based on new results of the field works carried out in 2018–2019. In addition, detailed descriptions of the following outcrops of the Zhelon Regional Stage are given for the first time: Rositsa 2, Ruchey 1, Saria 2, Degtyarevo 1, Degtyarevo 2, Degtyarevo 3 and Voznovo 1.

2. On the basis of lithological and palaeontological data, a detailed subdivision of the above listed outcrops is performed and a new local stratigraphic unit, the Degtyarevo Formation, is distinguished.

3. A composite section is suggested as the stratotype section, consisting of a number of typical exposures of the Degtyarevo Formation occurring along the Saryanka River.

4. Information on the taxonomic composition of the ichthyofauna in the Obukhovo 1, «Sinie Gliny» 1 and Kalyuty 2 outcrops is supplemented. The largest number of taxa of agnathans and fishes is revealed in the last of the listed outcrops.

5. An important finding is made in the Kalyuty 2 outcrop, where zonal species *Bothriolepis obrutschewi* Gross is found, which makes it possible to attribute the deposits to the upper part of the Zhelon Regional Stage of Belarus and to correlate these strata with the upper part of the Amata Regional Stage of the Main Devonian Field.

6. Rare scolecodonts, sparse fragments of inarticulate brachiopods, single conodonts, as well as rare carbonified plant debris were for the first time found in the terrigenous rocks of the Degtyarevo Formation, in addition to the various remains of the ichthyofauna.

7. The Zhelon age of the Degtyarevo Formation is substantiated on the basis of palaeontological data. The Degtyarevo Formation is correlated with well-studied strata of the same age occurring within the Belarusian territory, as well as in the adjacent regions (Latvia and Russia).

8. The obtained new data should be used when performing large-scale geological surveys in the study area.

Acknowledgements. The authors are grateful to A. Yu. Machulsky, V. A. Sushkevich and A. S. Yakovlev for their help in carrying out field works and collecting the palaeontological material. Special gratitude is expressed to Dr. Sci. L. V. Shumlyanskyy for editing the English usage.

References

1. Obukhovskaya T. G., Kruchek S. A., Pushkin V. I., Nekryata N. S., Plax D. P., Sachenko T. Ph., Obukhovskaya V. Yu., Antipenko S. V. The Devonian system / Stratigraphic Chart of the Precambrian and Phanerozoic deposits of Belarus: Explanatory Note. Minsk: State Enterprise "BelNIGRI", 2010, pp. 98–114 (with Stratigraphic Chart of the Devonian deposits of Belarus in 2 sheets) (in Russian).
2. Lungershausen L. F. Introduction into the geology of Belarus // Proc. of the Gory-Gorki Scientific Association / Belarusian Academy of Sciences, Branch of Nature and National Economy. – Gory-Gorki, 1930, vol. 7, pp. 181–213. + drawings (in Belarusian).
3. Aleynikov A. A. General Geological Map of the European part of the USSR, the western half and the northeastern quarter of the 28th sheet of the 10-verst map // Trudy GGU, 1933. (in Russian).
4. Vorobyeva Z. P. Fauna of the Devonian deposits of the Byelorussian SSR // Izvestiya Akademii Nauk BSSR, 1950, no. 6, pp. 99–103 (in Russian).
5. Petrov L. S. To the correlation of the sections of the Devonian deposits of the Byelorussian SSR and the Soviet Baltic States // Collection of Materials on the Exchange of Experience. Geology and Exploration. Moscow-Leningrad, 1951, pp. 7–8 (in Russian).
6. Petrov L. S. Devonian Deposits of the Northwest of the Russian platform. Leningrad, 1956, 174 p. (in Russian).
7. Liepinš P. P. Stratigraphy of the Frasnian deposits of the Latvian SSR / The Frasnian Deposits of the Latvian SSR. Riga, 1963, pp. 3–94 (in Russian).
8. Plaksa D. P. Preliminary results of palaeoichthyological study of the Devonian deposits of the Saryanka River basin (Vitebsk region) // Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Chemical Series, 2005, no. 5, pp. 161–164 (in Russian).
9. Plax D. P., Kruchek S. A. Stratigraphy of Middle and Upper Devonian deposits of the Latvian Saddle (from ichthyofauna evidences derived from the Saryanka River outcrops, Belarus) // Lithosphere, 2010, no. 1 (32), pp. 43–59 (in Russian).
10. Plax D. P. Early Frasnian ichthyofauna of the north of Belarus // Lithosphere, 2010, no. 1 (32), pp. 60–81 (in Russian).
11. Plax D. P., Kruchek S. A. On the ichthyofauna of the Frasnian deposits of the Latvian Saddle of the Saryanka River basin (Belarus) // Palaeontology and the Improvement of the Stratigraphic Basis of Geological Mapping / Proc. of the LV Session of the Palaeontological Society of the Russian Academy of Sciences (St. Petersburg, April, 6–10, 2009). St. Petersburg, 2009, pp. 111–113 (in Russian).
12. Plax D. P., Zaika Yu. V. On the Sargaev deposits (Frasnian, Upper Devonian) of the Latvian Saddle outcropping within Saryanka River basin (Belarus) // Lithosphere, 2018, no. 2 (49), pp. 54–82.
13. Glinskiy V. N. The assemblages of Middle Devonian psammosteoid agnathans from the eastern part of Main Devonian Field // Vestnik Saint-Petersburg University, Series 7, Geology, Geography, 4, pp. 62–71 (in Russian).
14. Kruchek S. A., Makhnach A. S., Golubtsov V. K., Obukhovskaya T. G. The Devonian system / Geology of Belarus // National Acad. Sci. Belarus, Institute of Geological Sciences; Ed. by A. S. Makhnach. Minsk, 2001, pp. 186–236 (in Russian).
15. Rodionova G. D., Umnova V. T., Kononova L. I. [et al.]. The Devonian of the Voronezh Anticline and the Moscow Syncline, Moscow, 1995, 265 p. (in Russian).
16. Sorokin V. S., Lyarskaya L. A., Savvaitova A. S. [et al.]. The Devonian and Carboniferous of the Baltic States, Riga, 1981, 502 p. (in Russian).
17. Lyarskaya L. A., Lukševičs E. V. Composition and distribution of agnathans and fishes in the Silurian and Devonian deposits of Latvia // Palaeontology and stratigraphy of the Phanerozoic of Latvia and the Baltic Sea, Riga, 1992, pp. 46–62 (in Russian).
18. Mark-Kurik E. The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus // Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project). 2000, vol. 223, pp. 309–324.
19. Esin D., Ginter M., Ivanov A., Lukševičs E., Avkhimovich V., Golubtsov V., Petukhova L. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Carboniferous on the East European Platform // Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project). 2000, vol. 223, pp. 341–359.

Поступила 01.04.2020

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

УДК 504.062 + 502.51 + 556.532

А. Н. Колобаев, А. С. Демидчик*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: aleftin@list.ru***ОЦЕНКА ТРАНСГРАНИЧНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК БЕЛАРУСИ**

Аннотация. Оценка трансграничного воздействия на водные ресурсы и качество вод является одним из важнейших элементов регулирования межгосударственных водных отношений. По результатам оценки трансграничного воздействия на реки Республики Беларусь можно сделать следующие выводы: трансграничное воздействие на водные ресурсы невелико, а необходимые для его определения исходные данные о речном стоке и безвозвратном водопотреблении являются сравнительно устойчивыми. Оценка воздействия на качество вод представляет большие сложности, так как исходные данные о концентрациях загрязняющих веществ в трансграничных створах отличаются значительной изменчивостью: отношение максимальных значений среднегодовых концентраций к их минимальным значениям по отдельным ингредиентам достигает 10 и более. Долевое участие сопредельных государств в трансграничном загрязнении по всем ингредиентам существенно отличается как по годам, так и по источникам информации.

Ключевые слова: водные ресурсы, речной сток, безвозвратное водопотребление, качество вод, загрязняющие вещества, масса и концентрации загрязняющих веществ, трансграничное воздействие на водные ресурсы и качество вод, регулирование межгосударственных водных отношений

A. N. Kolobaev, A. S. Demidchik*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,
e-mail: aleftin@list.ru***ESTIMATION OF TRANSBOUNDING INFLUENCE ON THE WATER RESOURCES
OF THE RIVERS OF BELARUS**

Abstract. The estimation of transbounding influence on water resources and water quality is important for intergovernmental coordinated decision-making in the field of water use and water protection. According to estimation of transbounding influence on the rivers in the Republic of Belarus we can make following conclusion: source information (data) about the river's drain which is necessary for the quantitative estimation is rather steady; the transbounding influence on the water resources is not significant. The estimation of influence on quality water is very difficult. Source information (data) about the concentration of polluting substances in transboundary river station are rather changeable. The relations between maximal values of an average annual concentration and their minimal values on some components reach 10 and over. Share holding of the contiguous states in transboundary pollution on all components is essentially differing on years and source's information as well.

Keywords: water resources, the river's drain, quality water, transboundary pollution, concentration of pollutants

А. М. Калабаеў, А. С. Дзямідчык*Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,
e-mail: aleftin@list.ru***АЦЭНКА ТРАНСГРАНІЧНАГА ЎЗДЗЕЯННЯ НА ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ РЕК БЕЛАРУСІ**

Анатацыя. Ацэнка замежнага ўздзеяння на водныя рэсурсы і якасць вод – важнейшы элемент регулявання міждзяржаўных водных зносін. Па выніках праведзенай ацэнкі замежнага ўздзеяння на рэкі Беларусі зроблены наступныя вывады: замежнае ўздзеянне на водныя рэсурсы невялікае, а неабходныя для яго вызначэння зыходныя дадзеныя аб рачным сцёку і незваротным водаспажыванні з'яўляюцца параўнальна ўстойлівымі.

Ключавыя словы: водныя рэсурсы, рачны сцёк, якасць вады, забруджвальныя рэчывы, замежнае ўздзеянне, регуляванне міждзяржаўных водных зносін

Введение. В бассейнах трансграничных рек хозяйственная деятельность на территории одного государства может оказать существенное воздействие как на водные ресурсы, т.е. на величину речного стока, так и на качество воды в природных источниках. Основные факторы

трансграничного воздействия на речной сток: безвозвратное водопотребление на вышерасположенной территории; создание водохранилищ энергетического, ирригационного или другого назначения, что приводит не только к перераспределению речного стока во времени, но и к дополнительным потерям воды на испарение (как разность между испарением с водной поверхности и испарением с поверхности суши).

В большинстве случаев трансграничное воздействие приводит к уменьшению речного стока в нижерасположенных створах рек сопредельного государства. Однако при создании водохранилищ на вышерасположенной территории речной сток в этих створах может и увеличиться (в маловодные периоды или годы), что выгодно другому государству. К сожалению, учет этой выгоды и возможная ее компенсация не нашли отражения в международных конвенциях и соглашениях (в том числе и в Хельсинской «Конвенции по использованию и охране трансграничных водотоков и международных озер» [1], к которой Республика Беларусь присоединилась Указом Президента Республики Беларусь от 21.04. 2003 г. № 161).

Основные факторы трансграничного воздействия на качество водных объектов: сосредоточенные выпуски загрязненных сточных вод (включая выпуски дождевой канализации); рассредоточенные источники загрязнения (вынос загрязняющих веществ с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий, транспортных магистралей, складов хранения ядохимикатов и удобрений, а также от других экологически опасных объектов).

Масса любого загрязняющего вещества от всех источников в конечном итоге достигает трансграничного стока, но не полностью, так как часть загрязнений аккумулируется в донных отложениях русла реки и ее притоков, а оставшаяся часть уменьшается под влиянием процессов самоочищения. Качество воды в трансграничном створе также зависит от естественного речного стока в этом створе и других факторов естественного происхождения. Таким образом, регистрируемые средствами водного мониторинга концентрации загрязняющих веществ в трансграничном створе не могут служить объективной характеристикой антропогенного воздействия сопредельного государства на качество вод.

Материалы и методика исследований. Оценка трансграничного воздействия на речной сток осуществляется сравнительно просто. Для этого необходимо располагать данными о безвозвратном водопотреблении и потерях воды на территории другого государства, т.е. данными о разности объемов забираемой и сбрасываемой воды и данными о разности между испарением с водной поверхности водохранилищ и испарением с поверхности суши, затопленной водохранилищами. Учитывается также объем сработки или наполнения водохранилищ за рассматриваемый интервал времени (год, месяц или декада).

При отсутствии данных о водопользовании на сопредельной территории оценка трансграничного воздействия на речной сток может быть произведена не водохозяйственными, а гидрологическими расчетами на основе совместной обработки гидрологической и метеорологической информации в трансграничных створах и близкорасположенных створах стационарных наблюдений. Размер трансграничного воздействия на водные ресурсы обычно выражается в долях (или в процентах) от годового или месячного речного стока: среднемноголетнего, минимального расчетной обеспеченности, наименьшего за период наблюдений, фактического за отчетный год или месяц.

Оценка трансграничного загрязнения представляет собой чрезвычайно сложную задачу, а именно: трансграничный перенос загрязняющих веществ осуществляется не только по речной сети, но и воздушным путем; через трансграничный створ проходит общая масса загрязнений, а для выделения антропогенной составляющей данных или недостаточно, или они определяются с недопустимо большой погрешностью; в действующих системах водного мониторинга концентрации некоторых загрязняющих веществ определяются с существенными ошибками, например, регламентированная нормативами Республики Беларусь [2] максимально допустимая ошибка при определении содержания нефтепродуктов, меди и ряда других веществ превышает 30 %; для корректного определения массы переносимых загрязняющих веществ требуется одновременное измерение как расходов воды, так и показателей ее качества (это условие выполняется не всегда).

Если расстояние от границы государств до ближайшего створа наблюдений за качеством вод сравнительно велико, появляются дополнительные трудности: часть загрязняющих веществ аккумулируется в донных отложениях и выносится водным потоком при интенсивных гидравлических процессах; по длине реки качество воды изменяется под влиянием процессов самоочищения, в свою очередь зависящих от характера загрязнений, скорости течения, температуры воды и других гидравлических и морфологических характеристик; на рассматриваемом балансовом участке может иметь место выклинивание загрязненных подземных вод, а также вынос загрязняющих веществ от рассредоточенных источников загрязнения, количественная оценка которых связана с большими погрешностями.

Таким образом, приходится констатировать, что в настоящее время надежных методов оценки трансграничного воздействия на качество природных вод пока не существует. Требуются специальные исследования в этом направлении. Для ориентировочной оценки можно использовать упрощенную расчетную схему, основанную на следующих допущениях: расходы воды и концентрации загрязняющих веществ в створах реки выше и ниже границы государств определяются в согласованные сроки (с учетом времени добегания) и являются репрезентативными осредненными показателями за рассматриваемый интервал времени; вынос загрязняющих веществ от рассредоточенных источников загрязнения с площади водосбора, ограниченной рассматриваемыми створами, близок к нулю; загрязненность выпадающих осадков компенсируется процессами самоочищения на участке реки между рассматриваемыми трансграничными створами.

При вышеупомянутых допущениях трансграничное загрязнение (без разделения на естественную и антропогенную составляющие) может быть определено по формуле:

$$Z = W_{н.с} K_{н.с} - \sum_{i=1}^n W_i K_j$$

где $W_{н.с}$ и $K_{н.с}$ – соответственно средний расход воды и осредненная концентрация загрязняющего вещества в нижнем створе, т.е. на выходе за пределы государства; W_i и K_j – расход воды и осредненная концентрация j -го загрязняющего вещества в i -том пограничном створе; n – количество пограничных створов.

Результаты исследований и их обсуждение. Практически все реки Беларуси являются трансграничными. Примерно половина из них текут на север и относятся к бассейну Балтийского моря, а другая половина – на юг и достигают Черного моря. Уникальна река Припять. Она и ее правобережные притоки берут начало в пределах Украины, а затем, протекая через Беларусь, впадает в Днепр на территории Украины.

В Республике Беларусь количество пунктов наблюдений за речным стоком и качеством вод соответствует рекомендациям Всемирной метеорологической организации. В 2004 г. введена в действие Национальная система трансграничного мониторинга, включающая 35 пунктов наблюдений [3, 4]. Все водопользователи (около 4 тыс.) ежегодно отчитываются об объемах забираемой, используемой и сбрасываемой воды, а также о показателях ее качества. С 1995 г. публикуются обобщенные по бассейнам рек данные государственного Водного кадастра [5]. С 2000 по 2017 г. проведены международные экспедиционные исследования качества вод

Т а б л и ц а 1. Безвозвратное водопотребление и потери вод при регулировании речного стока (за 1985–2017 гг.)

Бассейн реки	Безвозвратное водопотребление и потери воды, км³/год			
	всего		в том числе в пределах РБ	
	мин	макс	мин	макс
Зап. Двина	0,11	0,20	0,08	0,16
Вилия	0,13	0,26	0,13	0,26
Днепр	0,18	0,32	0,10	0,20
Припять	0,48	0,92	0,18	0,27

Таблица 2. Экстремальные значения среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в трансграничных створах (за 1994–2017 гг.), мг/дм³

Створ	БПК		Азот аммонийный		Нефтепродукты	
	мин	макс	мин	макс	мин	макс
Зап. Двина, Сураж	1,81	4,40*	0,19	1,14	0,01	0,17*
Зап. Двина, Верхнедвинск	1,89	3,43	0,28	1,12	0,02	0,12
Днепр, Лоев	1,46	3,10	0,17*	2,01*	0,03	0,10

Таблица 3. Экстремальные значения долевого участия Республики Беларусь и соседних государств в трансграничном загрязнении водных объектов (%)

Показатель	Зап. Двина		Днепр		Припять	
	РБ	РФ	РБ	РФ	РБ	Украина
БПК	51–82	18–49	45–73	27–55	24–87	13–76
Нефтепродукты	22–83	17–78	31–71	29–69	33–80	20–67
Азот аммонийный	45–76	24–55	43–91	9–57	21–83	17–79

Таблица 4. Дополнительные ошибки в определении массы загрязняющих веществ вследствие отсутствия синхронизации измерения количества и качества вод (%)

Показатель	Дополнительные ошибки, %		
	максимальные		средние
	со знаком «+»	со знаком «–»	
БПК	38	22	6
Нефтепродукты	30	50	7

в бассейнах Днепра, Припяти и Западного Буга. Результаты этих исследований частично опубликованы [6, 7]. С Россией и Украиной производится взаимный обмен данными по бассейнам трансграничных рек. Сопоставительный анализ информации, содержащейся в вышеперечисленных источниках, и расчеты по вышеизложенным методам позволили подготовить обобщенные сведения, которые представлены в табл. 1–4.

Заключение. Исходные данные о речном стоке и безвозвратном водопотреблении, необходимые для оценки трансграничного воздействия на речной сток, являются сравнительно устойчивыми. Отношение максимального (за последние 34 года) безвозвратного водопотребления к его минимальному значению не превышает двух (табл.1). Погрешность этих данных оценивается в 10–15 %.

Трансграничное воздействие на водные ресурсы Республики Беларусь незначительно и находится в пределах точности гидрологических расчетов. Невелико также влияние водохозяйственной деятельности в пределах Беларуси на водные ресурсы рек соседних государств. Исключение составляет лишь река Вилия [8]. Величина безвозвратного водопотребления и потеря воды в бассейне этой реки в отдельные годы достигала 15 % от речного стока маловодного года 95 %-ной обеспеченности. Однако в маловодные месяцы речной сток на входе в Литву увеличен в результате целенаправленных попусков из Вилейского водохранилища, что обеспечивает устойчивое водопользование на территории соседнего государства. В последние годы безвозвратное водопотребление в бассейне Вилии имеет тенденцию к снижению.

Исходные данные о концентрациях загрязняющих веществ в трансграничных створах отличаются значительной изменчивостью. Отношение максимальных значений среднегодовых концентраций к их минимальным значениям по отдельным ингредиентам достигает 10 и более (табл. 2). Долевое участие сопредельных государств в трансграничном загрязнении по всем ингредиентам существенно отличается как по годам, так и по источникам информации.

По ориентировочной оценке масса загрязняющих веществ от России и Украины в бассейнах Днепра, Припяти и Зап. Двины сопоставима с нагрузкой, формирующейся в пределах Республики Беларусь. Например, долевое участие Беларуси в загрязнении вышеупомянутых рек органическими веществами на протяжении последних 10 лет находится в диапазоне 13–87 % (табл. 3).

Отсутствие синхронизации измерений количества и качества вод приводит к дополнительным ошибкам в определении массы загрязняющих веществ на 5–10 %, а в условиях неблагоприятного внутригодового распределения речного стока – до 50 % (табл. 4).

Для повышения достоверности данных о трансграничном загрязнении водных объектов целесообразно следующее: полная реализация межгосударственной программы трансграничного мониторинга [3, 7, 9]; верификация используемых ретроспективных и текущих данных с применением объективных методов контроля; синхронизация измерений количества и качества вод; в частности, предлагается уточнить программу трансграничного мониторинга Республики Беларусь и предусмотреть ежемесячную (вместо ежеквартальной) периодичность проведения гидрологических измерений на трансграничных створах; организация и проведение стационарных наблюдений на водосборах, незатронутых хозяйственной деятельностью, для определения фоновых концентраций загрязняющих веществ и оценки загрязнения водных объектов воздушным путем [10, 11].

Список использованных источников

1. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (принята в Хельсинки в 1992 г. и вступила в силу в 1996 г). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercourses_lakes.shtml. – Дата доступа: 11.05.2017.
2. Реестр методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении измерений в области охраны окружающей среды. В 3 ч. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2012.
3. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 17.03.2004 № 66 «О некоторых вопросах организации работ по проведению мониторинга поверхностных и подземных вод в пунктах наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь». – Минск, Минприроды Респ. Беларусь, 2004.
4. Герменчук, М. Г. Состояние поверхностных вод и система мониторинга на территории Республики Беларусь / М. Г. Герменчук: материалы 3-го Междунар. водного форума. – Минск: Минприроды Респ. Беларусь, 2008. – С. 38–46.
5. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод за 1994–2017 гг. – Минск: Минприроды Респ. Беларусь, 1995–2018 гг.
6. Колобаев, А. Н. Результаты специализированных экспедиционных исследований качества вод в бассейне Днепра (в пределах Республики Беларусь) / А. Н. Колобаев, Л. Н. Скрипниченко, Г. Н. Тищikov. – Минск: Белсэкс, 2004. – 79 с.
7. Оценка характеристик водного режима трансграничных участков рек Днепр, Зап. Двина, Неман, Зап. Буг, Припять, Вилия, обеспечивающих их функционирование / В. Н. Корнеев [и др.] // Сб. науч. тр. Природные ресурсы и окружающая среда / под ред. И. И. Лиштвана. – Минск, 2016. – С. 174–178.
8. Асмаловский, Н. А. Возможные изменения водного режима Вилии после ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС / Н. А. Асмаловский, А. Н. Колобаев // Природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 23–31.
9. Особенности гидрологического мониторинга на участках и в бассейнах международных рек / Н. И. Алексеевский [и др.] // Водные ресурсы. – 2015. – № 6. – С. 569–580.
10. Какарека, С. В. Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование / С. В. Какарека. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 320 с.
11. Тищikov, Г. М. Организация наблюдений за качеством речных вод на фоновых участках / Г. М. Тищikov, А. П. Станкевич, Е. П. Богодяж: материалы 4-го Междунар. водного форума. – Минск, 2010. – С. 309–313.

Поступила 21.11.2019

ISSN 1810-9810
УДК 504.453/556.53

Л. Н. Гертман, А. П. Станкевич

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь, e-mail: lubov.hertman@yandex.ru*

ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ ОСОБО ОПАСНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ С ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Аннотация. Приведены результаты исследований по оценке возможного влияния на поверхностные водные объекты особо опасных загрязняющих веществ, поступающих в составе сточных вод предприятий. На основе проведенного анализа используемых на предприятиях Беларуси технологических процессов, химического анализа сбрасываемых сточных вод и вод поверхностных водных объектов сделаны выводы о принципиальной возможности поступления в окружающую среду особо опасных загрязняющих веществ.

Ключевые слова: особо опасные загрязняющие вещества, сточные воды, поверхностные водные объекты, донные отложения

L. N. Hertman, A. P. Stankevich

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

ESTIMATION OF HAZARDOUS POLLUTANTS ADMISSION TO SURFACE WATER BODIES FROM ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Abstract. The article presents the results of studies to assess the possible impact on surface water of especially hazardous pollutants with the wastewater of enterprises. Conclusions are drawn about the principle possibility of especially dangerous pollutants entering the environment based on the analysis of technological processes of the Belarusian enterprises, chemical analysis of wastewater and surface water.

Keywords: hazardous pollutants, waste water, surface water bodies, bottom sediments

Л. М. Гертман, А. П. Станкевич

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь,
e-mail: lubov.hertman@yandex.ru*

АЦЭНКА ПАСТУПЛЕННЯ НЕБЯСПЕЧНЫХ ЗАБРУДЖВАЮЧЫХ РЭЧЫВАЎ Ў ПАВЕРХНЕВЫЯ ВОДНЫЯ АБ'ЕКТЫ З ПРАДПРЫЕМСТВАЎ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

Аннотацыя. Прыведзены вынікі даследаванняў ацэнкі верагоднага ўздзеяння на паверхневыя водныя аб'екты небяспечных рэчываў, якія могуць трапіць са сцёкавымі водамі прадпрыемстваў. На аснове аналізу тэхналагічных працэсаў, якія выкарыстоўваюцца на прадпрыемствах Беларусі, хімічных аналізаў сцёкавых вод і вод паверхневых водных аб'ектаў зроблены вывады аб прынцыповай магчымасці паступлення ў навакольнае асяроддзе небяспечных забруджваючых рэчываў.

Ключавыя словы: небяспечныя забруджваючыя рэчывы, сцёкавыя воды, паверхневыя водныя аб'екты, донныя адклады

Введение. Проблема применения особо опасных загрязняющих веществ (ОЗВ) в различных отраслях хозяйственной деятельности международным сообществом определена как глобальная экологическая угроза, требующая принятия немедленных мер. Эти вещества даже в небольших количествах оказывают негативное воздействие как на окружающую среду, так и на здоровье человека.

ОЗВ, к которым, кроме веществ, содержащих тяжелые металлы, также относятся стойкие органические загрязнители (СОЗ), являются высокотоксичными органическими веществами, устойчивыми к физическому, химическому и биологическому разложению в окружающей среде, способными к биоаккумуляции и переносимые на большие расстояния во всех экологических средах. Они значительно влияют на окружающую среду и здоровье человека.

В Европейском союзе (ЕС) основополагающим документом в области охраны вод является Директива 2000/60/ЕС Европейского Парламента и Совета ЕС от 23 октября 2000 г., устанавливающая основу для действий в сфере водной политики (Водная рамочная директива, ВРД) и дополняющие ее в части приоритетных загрязняющих веществ Директива 2008/105/EU Европейского Парламента и Совета ЕС от 16 декабря 2008 г. и Директива 2013/39/EU Европейского парламен-

та и Совета от 12 августа 2013 г. о внесении поправок в Директивы 2000/60/ЕС и 2008/105/ЕС в отношении приоритетных загрязняющих веществ в области водной политики.

Директива 2013/39/ЕС устанавливает нормы содержания в воде веществ или групп веществ, борьба с загрязнением которыми требует первоочередных мер, в частности пестициды, тяжелые металлы, ПАУ и др. Директива основана на положении о том, что химическое загрязнение поверхностных вод создает проблему не только водной среде, но и проявляется такими эффектами, как острая и хроническая интоксикация водных организмов, накопление в экосистемах, ухудшение среды обитания, снижение биоразнообразия, а также представляет угрозу для окружающей среды и здоровья человека вблизи и вдали от их источников. Приоритетной задачей является определение источников загрязнения и состава загрязняющих веществ, содержащихся в них.

В Беларуси никогда не производились химические вещества, относящиеся к СОЗ, и к началу 1980-х годов в стране, как и в других республиках СССР, был прекращен ввоз и применение СОЗ-содержащих пестицидов. Кроме ДДТ (дихлор-дифенил-трихлорэтан), который в свое время получил широкое применение в сельском хозяйстве, в ограниченных количествах также применялись альдрин, гептахлор и гексахлорбензол. Имело место также использование гексахлорциклогексана или линдана. В соответствии со Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 г., одобренной решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 8-Р от 28.01.2010 г., до 2020 г. в республике должны быть ликвидированы все захоронения непригодных пестицидов [1].

Выявленные отдельные ОЗВ в донных отложениях свидетельствуют о наличии источников загрязнения и аккумуляции ОЗВ в водных объектах Беларуси. Подобная зависимость обнаруживается на участках рек урбанизированных районов, где водотоки являются основными приемниками сточных вод. Например, по результатам исследований [2, 3] отдельные ОЗВ были выявлены в донных отложениях рек Березины (н.п. Якимова Слобода) и Свислочь (н.п. Королищевичи), в донных отложениях отдельных водоемов бассейна Западной Двины [4]. Указанные факты требуют организации аналитического (лабораторного) контроля за содержанием ОЗВ в сточных водах и принимающих поверхностных водных объектах. Тем не менее, в Республике Беларусь в должной мере не проводится мониторинг ОЗВ как в составе производственных сточных вод, сбрасываемых предприятиями непосредственно в окружающую среду и через системы коммунальной канализации, так и мониторинг их содержания в природных водных объектах.

В действующем национальном законодательстве в области использования и охраны вод не упорядочены требования в части ОЗВ: отсутствует перечень отраслей, сточные воды которых содержат ОЗВ, перечень ОЗВ по каждой отрасли, периодичность отбора проб сточных вод для контроля поступления ОЗВ в окружающую среду с учетом особенностей производства.

Лабораторные исследования сточных вод с целью выявления в них ОЗВ довольно дорогостоящие, поэтому важным является определить четкий перечень отраслей экономики, конкретных предприятий и перечень наиболее вероятных ОЗВ, содержащихся в их сточных водах, периодичность отбора проб. В связи с этим в рамках Государственной научно-технической программы «Природопользование и экологические риски» в 2016–2018 гг. проводились работы по оценке влияния на поверхностные водные объекты ОЗВ, сбрасываемых в составе сточных вод промышленных предприятий. Проведение данной работы важно для предотвращения и минимизации отрицательного влияния на окружающую среду и здоровье населения ОЗВ, а также реализации положений Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. Результаты исследований могут быть также использованы при подготовке инвентаризации поступления отдельных загрязняющих веществ в окружающую среду. Так, например, поступление ртути со сточными водами или при сжигании осадка сточных вод может быть рассчитано с учетом выявления наличия ртути в сточных водах для подготовки отчетности по Минаматской конвенции.

Цель исследований – оценить влияние на поверхностные водные объекты особо опасных загрязняющих веществ, включая СОЗ, сбрасываемых в составе сточных вод промышленных предприятий.

Методика исследований. Исходя из международной практики, на сегодняшний день основными критериями отнесения веществ к ОЗВ являются критерии их влияния на водные объекты: токсичность загрязняющих веществ (ЗВ) при превышении определенных значений концентрации; накопление ЗВ и длительный процесс полураспада; высокая токсичность ЗВ для живых организмов при малых дозах; канцерогенность ЗВ.

Изначально с учетом международного опыта был определен перечень ОЗВ, включающий 61 вещество. Исходя из характеристик и свойств каждого из предложенных к включению в перечень ОЗВ, были определены виды экономической деятельности, где данные вещества могут использоваться в процессе производства, либо образовываться в качестве побочных продуктов. В результате анализа данных государственной статотчетности водопользователей по форме: «1-вода (Минприроды)», информации о применяемых промышленными предприятиями Республики Беларусь технологий, данных территориальных органов Минприроды, анкетирования промышленных предприятий сформирован перечень предприятий, сточные воды которых, исходя из специфики производственных процессов, могут содержать ОЗВ.

На основе анализа полученной информации обоснована необходимость проведения исследований качества сточных вод на выпусках сточных вод 33 предприятий: 18 промышленных предприятий, непосредственно сбрасывающих сточные воды в поверхностные водные объекты, и 15 предприятий, принимающих сточные воды промышленных предприятий через систему канализации для очистки и последующего отведения в поверхностные водные объекты.

Лабораторные исследования состава сточных вод и качества поверхностных вод проводились лабораторией Государственного учреждения «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды» (ГУ «РЦАК»), имеющей наибольшую область аккредитации по исследуемым веществам.

Обсуждение результатов. Анализ характеристик, предлагаемых в перечень ОЗВ и применяемых промышленными предприятиями Беларуси технологий, позволил сделать вывод, что наиболее вероятно наличие ОЗВ в сточных водах предприятий по производству текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха; изделий из дерева и бумаги; полиграфии; химических продуктов; фармацевтических продуктов и фармацевтических препаратов; резиновых и пластмассовых изделий; металлургической промышленности; электрооборудования; машин и оборудования; транспортных средств; продуктов питания, напитков и табачных изделий.

Особо необходимо дополнительно отметить предприятия секции «Водоснабжение; сбор, обработка и удаление отходов, деятельность по ликвидации загрязнений», на очистные сооружения которых поступают сточные воды и твердые отходы. Это вызывает необходимость детального анализа перечня абонентов таких предприятий для определения возможного итогового состава ОЗВ в их сточных водах.

Установлено, что на территории Республики Беларусь есть вероятность наличия ОЗВ в сточных водах 104 предприятий, отводящих свои сточные воды в систему очистных сооружений, 15 предприятий коммунальной канализации и 18 промышленных предприятий сбрасывают сточные воды в поверхностные водные объекты [5].

Наиболее вероятными ОЗВ в составе сточных вод промышленных предприятий Беларуси являются: гексахлорбензол; полициклические ароматические углеводороды – бензо(а)пирен, бензо(б)флуорантен, бензо(г,h,i)пирилен, бензо(к)флуорантен, инден(1,2,3-сd)пирен; полихлорированные бифенилы (ПХБ); трихлорбензол; нафталин; ртуть; никель; кадмий; свинец; бромдифенилэфиры; перфтороктановая сульфоновая кислота и ее соли; ди(2-этилгексил)фталат (диоктилфталат); октилфенол ((4-(1,1',3,3'-тетраметилбутил)-фенол); дихлорметан (метилен хлорид, хлористый метилен); трихлорэтилен; нонилфенолы (4-(пара)-нонилфенол).

Лабораторный контроль за содержанием ОЗВ в поверхностных водах и очищенных сточных водах, исходя из технических возможностей лаборатории ГУ «РЦАК», возможен только для следующих ОЗВ: гексахлорбензол; полициклические ароматические углеводороды – бензо(а)пирен, бензо(б)флуорантен, бензо(г,h,i)пирилен, бензо(к)флуорантен, инден(1,2,3-сd)пирен; полихлорированные бифенилы (ПХБ); трихлорбензол; нафталин; ртуть; никель; кадмий; сви-

нец. Итоговый перечень предприятий с характерными для них ОЗВ, а также местами отбора проб для проведения исследований качества вод на содержание ОЗВ приведен в таблице. Предприятия, у которых осуществлялся отбор проб для проведения химических исследований с целью подтверждения содержания в их сточных водах ОЗВ, отмечены на рисунке.

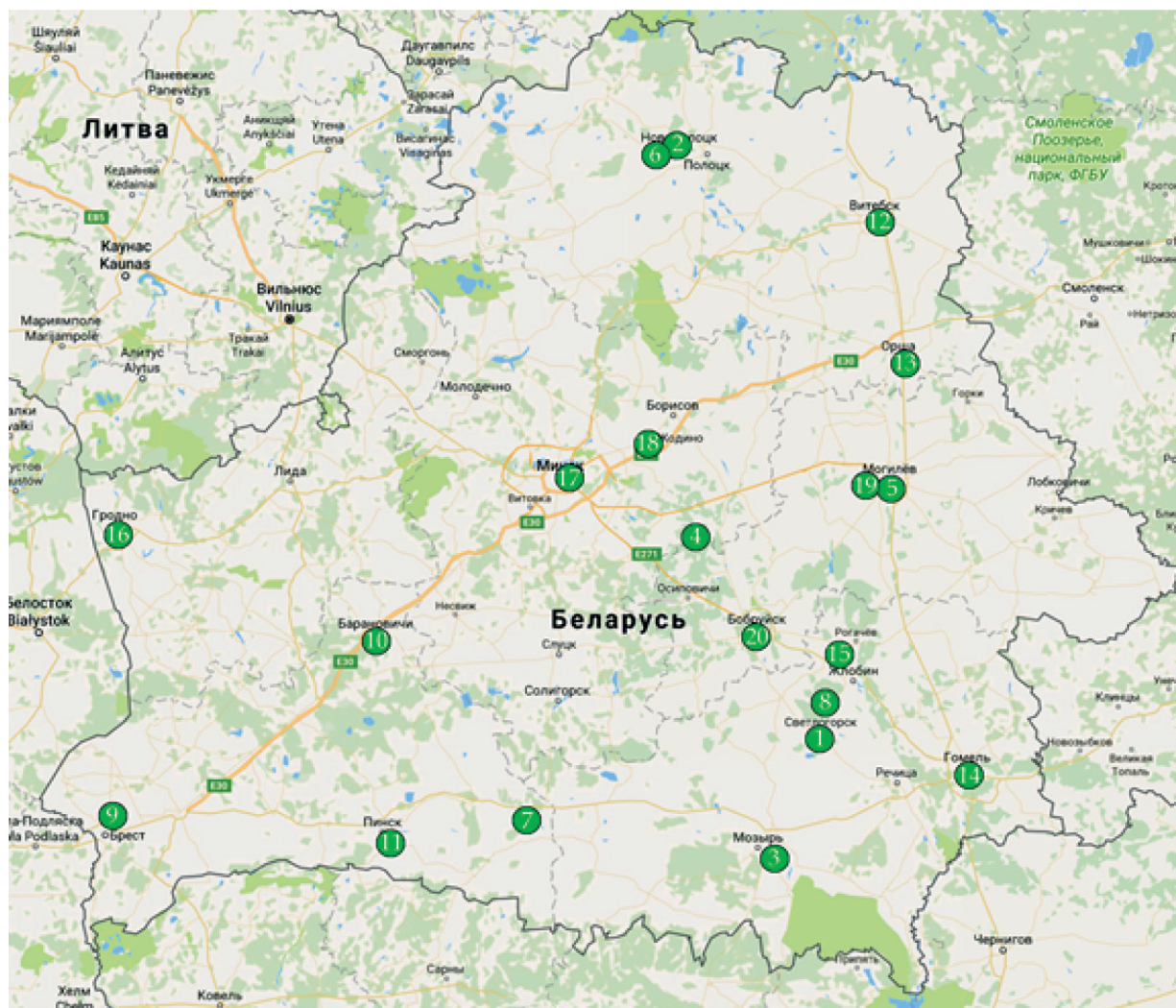
Необходимо отметить, что завод по производству сульфатной беленой целлюлозы ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат» на момент проведения исследований не был введен в эксплуатацию, поэтому отбор проб на этом предприятии рекомендовано осуществить после проведения пуско-наладочных работ.

**Перечень промышленных предприятий для проведения исследований
с целью подтверждения вероятности содержания ОЗВ в их сточных водах**

Номер предприятия	Наименование предприятия	Контролируемые ОЗВ	Водный объект – приемник сточных вод	Место отбора проб
1	ОАО «Светлогорск Химволокно»	Нафталин Гексахлорбензол	Березина	T1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений T2 – р. Березина 500 м выше выпуска T3 – р. Березина 500 м ниже выпуска
2	ОАО «Нафтан»	Полициклические ароматические углеводороды: бензо(а)пирен, бензо(б)флюорантен, бензо(г,х,и)пирилен, бензо(к)флюорантен, инден(1,2,3-сд)пирен Ртуть	Западная Двина	T1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений T2 – р. Зап. Двина 50 м выше выпуска T3 – р. Зап. Двина 500 м ниже выпуска
3	ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»	Полициклические ароматические углеводороды: бензо(а)пирен, бензо(б)флюорантен, бензо(г,х,и)пирилен, бензо(к)флюорантен, инден(1,2,3-сд)пирен Ртуть Трихлорбензол Никель Кадмий Свинец	р. Припять	T1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений T2 – р. Припять 500 м выше выпуска T3 – р. Припять 500 м ниже выпуска
4	ПУП «Нефтебитумный завод»	Полициклические ароматические углеводороды: бензо(а)пирен, бензо(б)флюорантен, бензо(г,х,и)пирилен, бензо(к)флюорантен, инден(1,2,3-сд)пирен	р. Каменка	T1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений T2 – р. Каменка 500 м выше выпуска T3 – р. Каменка 500 м ниже выпуска
5	Филиал ОАО «БЕЛАЗ» в г. Могилеве – «Могилевский автомобильный завод им. С. М. Кирова»	Никель Кадмий Свинец	р. Днепр	T1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений T2 – р. Днепр 500 м выше выпуска T3 – р. Днепр 500 м ниже выпуска
6	ОАО «Нафтан» завод «Полимир»	Никель	р. Западная Двина	T1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений T2 – р. Зап. Двина 50 м выше выпуска T3 – р. Зап. Двина 500 м ниже выпуска
7	РУПП «Гранит»	Никель	Ситницкий канал – р. Припять	T1 – Ситницкий канал общий створ после выпусков T2 – р. Припять выше Ситницкого канала T3 – р. Припять ниже Ситницкого канала
8	Завод по производству сульфатной беленой целлюлозы ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат»	Гексахлорбензол	р. Березина	Не был введен в эксплуатацию

Окончание таблицы

Номер предприятия	Наименование предприятия	Контролируемые ОЗВ	Водный объект – приемник сточных вод	Место отбора проб
9	ГП «Брестводоканал»	Никель	р. Западный Буг	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Зап. Буг 500 м выше выпуска Т3 – р. Зап. Буг 500 м ниже выпуска
		Кадмий		
		Свинец		
		Ртуть		
		Гексахлорбензол		
10	Барановичское КУПП «Водоканал»	Никель	р. Мышанка	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Мышанка 500 м выше выпуска Т3 – р. Мышанка 500 м ниже выпуска
		Кадмий		
		Свинец		
11	КПУП «Пинскводоканал»	Никель	р. Припять	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Припять 500 м выше выпуска Т3 – р. Припять 500 м ниже выпуска
		Кадмий		
		Свинец		
12	УП «Витебск-водоканал»	Никель	р. Западная Двина	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Зап. Двина 200 м выше выпуска Т3 – р. Зап. Двина 360 м ниже выпуска
		Кадмий		
		Свинец		
13	КУП ВКХ «Оршаводоканал»	Никель	р. Днепр	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – фоновый створ на р. Днепр Т3 – контрольный створ на р. Днепр
		Кадмий		
		Свинец		
14	КПУП «Гомель-водоканал»	Никель	р. Уза	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений в Мильчанскую канаву Т2 – р. Уза выше впадения Мильчанской канавы Т3 – р. Уза ниже впадения Мильчанской канавы
		Кадмий		
		Свинец		
15	КЖУП «Уником» г. Жлобин	Никель	р. Днепр	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Днепр 500 м выше выпуска Т3 – р. Днепр 500 м ниже выпуска
		Кадмий		
		Свинец		
		Гексахлорбензол		
16	ГУКПП «Гродно-водоканал»	Ртуть	р. Неман	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Неман 500 м выше выпуска Т3 – р. Неман 500 м ниже выпуска
		Никель		
		Кадмий		
		Бензол		
		Нафталин		
17	УП «Минск-водоканал»	Ртуть	р. Свислочь	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Свислочь 500 м выше выпуска Т3 – р. Свислочь 500 м ниже выпуска
		Полихлорированные бифенилы (ПХБ)		
		Никель		
		Кадмий		
		Свинец		
18	ГКУП «Жодинский водоканал»	Никель	р. Рова	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Рова выше выпуска Т3 – р. Рова ниже выпуска
19	МГКУП «Горводоканал» г. Могилев	Гексахлорбензол	р. Днепр	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Днепр 500 м выше выпуска Т3 – р. Днепр 500 м ниже выпуска
		Нафталин		
		Никель		
		Кадмий		
20	БУКДПП «Водоканал» г. Бобруйск	Свинец	р. Березина	Т1 – Выпуск сточных вод после очистных сооружений Т2 – р. Березина 500 м выше выпуска Т3 – р. Березина 500 м ниже выпуска
		Ртуть		
		Никель		
		Кадмий		



Месторасположения предприятий, у которых осуществлялся отбор проб для проведения химических исследований с целью подтверждения содержания в их сточных водах ОЗВ (номера соответствуют номерам в таблице)

Практически во всех точках отбора проб по исследуемым веществам их концентрации были ниже предела обнаружения. Исключение составляют сточные воды ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод», ОАО «Нафтан» завод «Полимир», КПУП «Брестводоканал», в которых определен никель. Концентрация никеля находится в пределах ПДК.

Необходимо отметить, что отбор проб в поверхностных и сточных водах производился разово, что является показателем текущей ситуации содержания элементов в сточных водах. Для достоверного определения наличия ОЗВ в природных водах необходимо проведение отбора серии проб на протяжении длительного периода. Многие ОЗВ определяются в воде исключительно вблизи выпуска сточных вод, однако имеют свойство накапливаться в донных отложениях и в тканях живых организмов с увеличением концентрации по трофической цепи.

Для выявления вероятности нахождения данных ОЗВ в водных объектах рекомендовано провести анализ их содержания в донных отложениях, которые являются депонирующей средой, с целью получения достоверных данных о содержании ОЗВ в поверхностных водных объектах, оценки уровня и динамики распространения загрязнений. Аккумулируя загрязнения, которые поступают в водный объект на протяжении продолжительного периода, донные отложения являются индикатором экологического состояния территории. Как было сказано ранее, особенно ярко подобная зависимость обнаруживается в бассейнах рек сильно урбанизированных районов.

В силу ограниченной технической возможности и отсутствия аккредитованных методик ГУ «РЦАК» не выполняет химические анализы по определению данных ОЗВ в природных и сточных водах следующих веществ, которые также могут быть характерными для предприятий нашей республики: бромдифенилэфиры; перфтороктановая сульфоновая кислота и ее соли; ди(2-этилгексил)фталат (диоктилфталат); октилфенол ((4-(1,1',3,3'-тетраметилбутил)-фенол); дихлорметан метилен хлорид (хлористый метилен); трихлорэтилен; нонилфенолы (4-(пара)-нонилфенол).

Литературные источники свидетельствуют о широком распространении в составе сточных вод, в воде и донных отложениях водных объектов зарубежных стран ОЗВ, определенные как наиболее вероятные в составе сточных вод предприятий Беларуси.

ОЗВ определяются в сточных водах и водных объектах даже после принятия жестких ограничений по использованию данных веществ и глубокой очистки сточных вод. Ограничения и контроль за производством веществ, использованием их в технологических процессах и качеством сточных вод предприятий позволили странам Европы и Северной Америки значительно снизить поступление ОЗВ в окружающую среду к началу 2000-х годов.

Концентрации большинства органических соединений значительно снижаются в результате очистки сточных вод, при этом плохо разлагаемые органические вещества переходят в осадок. Комплексное внедрение современных технологий на производстве совместно с технологиями очистки сточных вод позволяет существенно снизить поступление ОЗВ в водные объекты. Однако следует учитывать, что некоторые из ОЗВ в окружающую среду поступают с хозяйственно-бытовыми сточными водами. В этой связи контроль за поступлением ОЗВ в страну с готовой продукцией является важным фактором снижения загрязнения окружающей среды. Кроме самих сточных вод, большинство ОЗВ, накапливаясь в осадке сточных вод, попадают в природные воды при захоронении данного осадка. Мощным источником поступления ОЗВ в природные воды являются полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО), в фильтрате которых могут быть ОЗВ в значительных концентрациях. Отдельные ОЗВ, например ди(2-этилгексил)фталат (диоктилфталат)), поступают в водные объекты в составе поверхностных сточных вод с территории населенных пунктов.

Коммунальные очистные сооружения сточных вод не предназначены для очистки от ОЗВ, вместе с тем их удаление на таких сооружениях может производиться, а степень их удаления зависит от применяемых процессов очистки, биоразлагаемости удаляемых веществ и ряда других факторов. При этом управление эффективностью удаления ОЗВ на таких сооружениях практически трудно реализуемо. Накопление биологически неразлагаемых ОЗВ в осадке приводит к существенным проблемам с обработкой осадка и его утилизацией.

Наиболее эффективным является максимальное снижение содержания ОЗВ в сточных водах до их поступления на коммунальные очистные сооружения. Очистка производственных сточных вод с удалением веществ из перечня ОЗВ может быть организована с использованием регенеративных методов с концентрированием целевых групп веществ с их последующим извлечением и утилизацией, либо с применением деструктивных методов очистки с целью разрушения загрязняющего вещества до простейших органических или неорганических веществ с минимизацией их негативного воздействия при их эмиссии в окружающую среду.

Удаление тяжелых металлов при очистке производственных сточных вод (ртуть, никель, свинец, кадмий) может осуществляться химическим осаждением при нейтрализации, карбонатным и сульфидным осаждением. Доочистка сточных вод от тяжелых металлов может производиться с применением методов концентрирования сорбцией, ионным обменом, мембранным разделением.

Предварительное удаление биологически разлагаемых и не разлагаемых органических ОЗВ может производиться методами механической очистки, включающими процеживание, отстаивание, фильтрование, сепарацию с использованием центробежных сил, а также методами механической очистки с дополнительной физико-химической обработкой для интенсификации процессов разделения с дозированием коагулянтов и флокулянтов. Доочистка может проводиться с применением методов концентрирования, сорбции, ионного обмена, мембранного разделения, экстракции, эвапорации или деструктивных методов биологического окисления и восстановления, химического и электрохимического окисления, термоокисления.

С целью предотвращения поступления ОЗВ в водные объекты, кроме внедрения современных технологий очистки, требуется также организация регулярных наблюдений за содержанием ОЗВ в сточных и поверхностных водах в рамках локального мониторинга окружающей среды на соответствующих предприятиях, а также аналитического (лабораторного) контроля в области охраны окружающей среды.

В настоящее время в Беларуси отсутствуют лаборатории, аккредитованные на анализ содержания в поверхностных и сточных водах следующих веществ: бромированные дифенил-эфиры (№ 28, 47, 99, 100, 153,154); диоксины и диоксиноподобные соединения; дихлорметан; трихлорэтилен; перфтороктансульфоновая кислота и ее производные (ПФОС); ди(2-этилгексил)-фталат (DEHP); нонилфенолы (4-нонилфенол); октилфенолы((4-(1,1',3,3'-тетраметилбутил)-фенол)).

Совершенствование приборно-аналитического парка лабораторий системы Минприроды и увеличение его производительности в настоящее время является основным и решающим фактором для организации регулярных наблюдений за содержанием ОЗВ в объектах окружающей среды. Требуется проведение работ по обеспечению приборной базой для определения ОЗВ перечисленных выше. Важной задачей также является проведение дальнейшей гармонизации с международными стандартами методической базы Республики Беларусь по определению отдельных ОЗВ (в первую очередь полибромдифенилэфиров) в объектах окружающей среды. Кроме того, необходимо повышение уровня квалификации специалистов Республики Беларусь, задействованных в организации и проведении наблюдений за содержанием ОЗВ.

Ознакомление с опытом передовых европейских лабораторий как по вопросам организации и функционирования системы менеджмента в лаборатории, так и в части организации наблюдений и методического обеспечения проведения измерений концентраций ОЗВ в объектах окружающей среды позволит повысить уровень квалификации белорусских специалистов и, в конечном итоге, будет способствовать совершенствованию системы мониторинга в республике в целом. Учитывая, что некоторые из ОЗВ в окружающую среду поступают с хозяйственно-бытовыми сточными водами, контроль за поступлением ОЗВ в страну с готовой продукцией является важным фактором снижения загрязнения окружающей среды.

Выводы. Основываясь на результатах проведенных исследований, можно утверждать, что влияние ОЗВ на водные объекты Республики Беларусь аналогично влиянию, установленному в других странах: отсутствует влияние ОЗВ на морфометрические характеристики поверхностных водных объектов; ОЗВ поступают в водные объекты со сточными водами и депонируются в донных отложениях, что приводит к загрязнению также биотической составляющей экосистем.

Поступление ОЗВ со сточными водами предприятий Беларуси в настоящее время не привело к значительному критическому накоплению этих загрязняющих веществ в окружающей среде. Тем не менее, контроль за возможными источниками поступления ОЗВ необходим для снижения вероятности такого загрязнения. Первый шаг в решении данного вопроса сделан путем определения пороговых значений ОЗВ в донных отложениях поверхностных водных объектов с внесением соответствующих изменений в ЭкоНП 17.01.06-001-2017 «Требования экологической безопасности» [6].

Список использованных источников

1. Кузьмин, С. И. Пестициды в Республике Беларусь: инвентаризация, мониторинг, оценка воздействия на окружающую среду / С. И. Кузьмин, А. А. Савастенко: под общ. ред. В. М. Федени. – Минск: Бел НИЦ «Экология», 2011. – 84 с.
2. Скрининг приоритетных веществ (в воде и отложениях) Проект EPIRB – деятельность 2.4 Совместные полевые исследования для заполнения пробелов – 2015. – Минск, 2015. – 51 с.
3. Report on Surface Water Survey in Dnieper River Basin, Belarus, 10–14 August, 2015. – 80 p.
4. Разработка методической базы и организация наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных экосистем. – Минск, 2018. – С. 27–154.
5. Выполнить оценку содержания особо опасных загрязняющих веществ в составе сточных вод предприятий Республики Беларусь и составить их актуализированный перечень для организации мониторинга. Этап 4: Отчет о НИР / РУП «ЦНИИКИВР»; науч. рук. А. П. Станкевич. – Минск, 2017. – № ГР 20163209. – 210 с.
6. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь «Об изменении постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т» № 6-Т от 18 декабря 2019 г.

Поступила 12.08.2020

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 504.062

П. Н. Захарко, С. А. Дубенок

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь, e-mail: polina.k.85@mail.ru, dsnega@list.ru*

ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМИРОВАНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ С УЧЕТОМ ОПЫТА СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАН

Аннотация. Молочная отрасль в Республике Беларусь является стратегической, экспортно ориентированной и имеет стабильную динамику наращивания производственных мощностей. Производство характеризуется значительными объемами водопотребления с высокими требованиями к качеству исходной воды для производственных нужд, а также значительными объемами образующихся сточных вод, которые отводятся как в системы коммунальной канализации, так и непосредственно в окружающую среду.

Ключевые слова: водопотребление, водоотведение, технологические нормативы

P. N. Zakharko, S. A. Dubianok

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus,
e-mail: polina.k.85@mail.ru, dsnega@list.ru*

POSSIBILITIES OF IMPROVING THE WATER USE REGULATION AT THE ENTERPRISES FOR THE PRODUCTION OF DAIRY PRODUCTS IN THE REPUBLIC OF BELARUS, TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF NEIGHBORING COUNTRIES

Abstract. The dairy industry in the Republic of Belarus is strategic, export-oriented and has a stable dynamics of increasing production capacity. The production is characterized by significant volumes of water consumption with high requirements for the quality of source water for industrial needs, as well as significant volumes of generated wastewater, which are discharged both into the municipal sewage system and into the environment.

Keywords: water consumption, water disposal, technological standards

П. М. Захарко, С. А. Дубянок

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь,
e-mail: polina.k.85@mail.ru, dsnega@list.ru*

МАГЧЫМАСЦІ ДАСКАНАЛАСЦІ НАРМІРАВАННЯ ВОДАКАРЫСТАННЯ НА ПРАДПРЫЕМСТВАХ ПА ВЫТВОРЧАСЦІ МАЛОЧНЫХ ПРАДУКТАЎ У РЭСПУБЛІЦЫ БЕЛАРУСЬ З УЛІКАМ ВОПЫТУ СУМЕЖНЫХ КРАІН

Анатацыя. Малочная галіна ў Рэспубліцы Беларусь з'яўляецца стратэгічнай, экспартна арыентаванай і мае стабільную дынаміку нарошчвання вытворчых магутнасцей. Вытворчасць характарызуецца значнымі аб'ёмамі спажывання вады з высокімі патрабаваннямі да якасці зыходнай вады для вытворчых патрэб, а таксама значнымі аб'ёмамі ўтварэння сцэкавых вод, якія адводзяцца як у сістэмы камунальнай каналізацыі, так і непасрэдна ў навакольнае асяроддзе.

Ключавыя словы: водаспажыванне, водаадвядзенне, тэхналагічныя нарматывы

Введение. Одним из способов устойчивого водопользования на предприятиях является постоянное планирование водопотребления и водоотведения в увязке с объемами и видами выпускаемой продукции. С научной точки зрения на водоемких предприятиях наиболее обоснованным подходом к оптимизации водопользования является разработка индивидуальных технологических нормативов водопотребления и водоотведения (далее технормативы). Технормативы предназначены для определения потребности в водных ресурсах, установления норм добычи (изъятия), получения воды и сброса сточных вод, разработки мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов. Основной целью технормативов является разработка экономических и технически обоснованных удельных норм расхода воды (с учетом ее качества) в производственном процессе.

Установлению норм по использованию водных ресурсов в качестве источника водоснабжения, приемника сточных вод всегда предшествует фактор, ограничивающий водопользование. В условиях изменяющегося климата, вопросы нормирования водопользования, особенно для водоемких отраслей экономики, становятся все более актуальными.

Молочная отрасль в Республике Беларусь в последние десятилетия динамически развивается и постоянно расширяет ассортимент выпускаемой продукции, осуществляется постоянное увеличение производственных мощностей за счет модернизаций производств, строительства новых технологических линий и развития более углубленной переработки побочных продуктов производства, в частности переработки сыворотки.

Молочная отрасль, как часть пищевой отрасли экономики, является достаточно водоемкой, что обусловлено, во-первых, значительным количеством моек технологического оборудования в процессе производства продукции, а во-вторых, необходимостью использования в технологических процессах питьевой воды, требующей зачастую дополнительной водоподготовки.

С учетом вышеизложенного и с целью принятия передового опыта в области регулирования водопользования возникла необходимость в проведении научного анализа национального и зарубежного опыта по нормированию водопользования для предприятий по производству молочной продукции для последующего совершенствования национальных подходов к разработке технормативов водопользования для предприятий по производству молочной продукции.

Методическая часть. Период существования СССР характеризовался развитием фундаментальных и прикладных исследований в различных направлениях, особенно в послевоенные годы, когда быстрыми темпами развивалась промышленность и наука. Поэтому изначально проведен анализ применяемых в СССР подходов к нормированию водопользования на молокоперерабатывающих предприятиях. В СССР работали профильные научно-исследовательские институты молочной промышленности: Всесоюзный научно-исследовательский институт молочной промышленности (ВНИМИ), Всесоюзный научно-исследовательский институт маслодельной и сыродельной промышленности (ВНИИМС) с многочисленными филиалами по всей стране.

Как показывает анализ исследований, проводимых указанными институтами до 1960 г., вопросам рационального водопользования должного внимания не уделялось и главной задачей было совершенствование технологических процессов с целью улучшения вкусовых качеств продукции, ассортимента молочной продукции и объемов выпуска. Однако в начале 1960–70 годов в связи с возникновением в ряде районов СССР фактов нерационального использования водных ресурсов, их истощения и загрязнения, отсутствия учета объемов воды, используемой промышленностью и сельским хозяйством, начинается период разработки ряда нормативных правовых актов, регулирующих вопросы водопользования на промышленных предприятиях.

Постановлением Совета Министров СССР от 22 апреля 1960 г. № 425 «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР» регламентировано обеспечение государственного надзора за учетом и рациональным использованием предприятиями водных ресурсов, за проведением предприятиями мероприятий по охране водоемов от загрязнения, засорения и истощения, а также не допущение на действующих предприятиях увеличения количества сточных вод или ухудшение их качества без предварительного проведения всех необходимых технических мероприятий по очистке и обезвреживанию сточных вод [1].

Водным кодексом РСФСР 1972 г. установлено, что водопользователи, пользующиеся водными объектами для промышленных целей, обязаны соблюдать установленные планы, технологические нормы и правила водопользования, а также принимать меры к сокращению расхода воды и к прекращению сброса сточных вод путем совершенствования технологии производства и схем водоснабжения (применение безводных технологических процессов, воздушного охлаждения, оборотного водоснабжения) [2].

Нормирование водопользования было обусловлено необходимостью приведения в соответствующий порядок системы рычагов и инструментов хозяйственного механизма, к которым были отнесены нормы и нормативы. Первые укрупненные нормы расхода воды и количества сточных вод на единицу сырья или продукции, объединившие различные отрасли промышленности, были разработаны Всесоюзным научно-исследовательским институтом водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии (ВНИИ ВОДГЕО) и опубликованы в 1965 г. Публикация переиздавалась дважды: в 1973 и 1978 гг.

В издании 1973 г. объединено 244 отрасли промышленности. В части молочной промышленности выделен раздел «Молокоприемные и молочные сепараторные пункты, пристанционные и пришосейные молочные заводы, маслодельные заводы, городские и комплексные молочные заводы, сыродельные заводы, молочноконсервные заводы сгущенного и сухого молока», в котором приведены общая характеристика технологических процессов, систем водоснабжения и канализации. Приведены укрупненные нормы расхода технической воды, питьевой воды для производственных и хозяйственно-питьевых целей, расход оборотной, повторно-последовательной воды, безвозвратного водопотребления и потерь воды на единицу продукции (сырья), количество загрязненных производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод, а также сточных вод, не требующих очистки.

С целью более детализированного подхода к нормированию водопотребления и водоотведения с 1 января 1978 г. по 31 декабря 1980 г. утверждаются, разработанные ВНИМИ, ВНИИМС и Гипромолпромом «Нормы водопотребления и водоотведения по видам производства молочной промышленности на 1 т перерабатываемого сырья». В последующем нормы неоднократно перерабатывались, снижаясь при каждой переработке, с разработкой обязательного комплекса мероприятий по достижению снижения водопотребления и водоотведения на предприятиях.

Таким образом, нормирование водопотребления и водоотведения для предприятий молочной промышленности осуществлялось по следующему пути.

1. Создание профильного института, занимающегося как вопросами наращивания производственных мощностей предприятий молочной промышленности, так и вопросами рационального водопользования, т.е. развитие научной базы.

2. Анализ профильным институтом фактических режимов работы предприятий молочной промышленности, разработка и обоснование среднестатистических норм в целом для отрасли в справочных документах – Укрупненные нормы расхода воды и количества сточных вод на единицу сырья или продукции, а также закрепление этих норм в нормативных правовых актах, т.е. развитие законодательства в области нормирования водопользования для молочной промышленности.

3. Пересмотр каждые 2–3 года норм водопотребления и водоотведения для молочной промышленности в сторону их уменьшения с учетом научного и практического опыта, внесение в последующем соответствующих изменений в справочники по укрупненным нормам, т.е. совершенствование законодательства в области нормирования водопользования осуществлялась на основании научных исследований и практического опыта работы на молокоперерабатывающих предприятиях.

4. Разработка профильным институтом при пересмотре норм водопотребления и водоотведения рекомендаций по оптимизации водопользования на предприятиях молочной промышленности: организация оборотных и повторно-последовательных систем водоснабжения на отдельных технологических процессах и линиях, рекомендации по совершенствованию систем охлаждения молока и т.п.

Учитывая опыт разработки укрупненных норм водопользования, профильными институтами для различных отраслей промышленности и с целью обеспечения единства методологии расчета норм водопотребления и водоотведения в отраслях промышленности в 1979 г. утверждаются разработанные Украинским филиалом НИИ планирования и нормативов «Методические указания по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учетом качества потребляемой и отводимой воды в промышленности» (далее – Методические указания) [3]. Согласно Методическим указаниям, для обеспечения нормативного водопользования в промышленности недостаточна разработка одних только укрупненных норм водопотребления и водоотведения. Для планирования мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов необходимо создание системы научно-обоснованных норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учетом качества потребляемой и отводимой воды, используемых для целей текущего и перспективного планирования на различных уровнях управления: предприятие, объединение, министерство [3].

Впервые выделены *индивидуальные нормы и нормативы водопользования*, разрабатываемые для конкретного предприятия, а также укрупненные (средневзвешенные) нормы и нормативы водопользования, предназначенные для планирования водопотребления и водоотведения министерствам, ведомствам, промышленным объединениям, составления прогнозов водопотребления и водоотведения по отраслям промышленности.

Индивидуальные и укрупненные нормы водопотребления и водоотведения разрабатываются по двум уровням прогрессивности: балансовому и оценочному.

Нормы и нормативы *первого уровня прогрессивности* являются балансовыми, регламентирующими водопотребление и водоотведение в конкретных условиях предприятия, отрасли с учетом внедрения плановых организационно-технических мероприятий. Главной задачей этих норм и нормативов является определение потребности в водных ресурсах предприятий и разработки лимитов водопотребления и водоотведения.

Нормы и нормативы *второго уровня прогрессивности* водопотребления и водоотведения разрабатывается с учетом реализации на предприятии лучших достижений отечественных и зарубежных предприятий по совершенствованию технологических процессов, оборудования, систем водоснабжения и канализации, т.е. являются нормами и нормативами научно-технической революции использования водных ресурсов или оценочными нормами.

В Методических указаниях впервые даны определения терминов «норма», «норматив», «отраслевые нормативы», «заводские нормативы», «индивидуальная технологическая норма водопотребления», «индивидуальная технологическая норма водоотведения», «индивидуальная норма водопотребления вспомогательными и подсобными производствами», «индивидуальная норма водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды» и др., приводятся формулы расчета индивидуальных норм водопотребления (водоотведения) с учетом эксплуатации оборотных, повторно-последовательных систем водоснабжения, расчета укрупненных норм водопотребления (водоотведения), а также рекомендации по разработке отраслевых методик по нормированию водопотребления и водоотведения в промышленности.

Таким образом, в Методических указаниях содержатся требования о необходимости составления для каждой отрасли промышленности ведущими организациями министерств (ведомств) и согласование с головной организацией (Украинским филиалом НИИПиН) отраслевых методик.

В 1981 г. во исполнение требований Методических указаний ВНИМИ, Сибирским филиалом разработаны «Методические указания по разработке индивидуальных балансовых норм водопотребления и водоотведения предприятий молочной промышленности».

Однако ориентация СССР на ускоренное социально-экономическое развитие страны способствовала интенсивному развитию производства, что привело к острому дефициту воды в ряде регионов, поэтому постановлением Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР от 19 января 1988 г. № 64 «О первоочередных мерах по улучшению использования водных ресурсов в стране» государственным органам поручено в период 1988–1990 гг. обеспечить выполнение комплекса неотложных мер по коренному перелому в деле экономного и рационального использования водных ресурсов и охраны бассейнов рек, озер и других источников от загрязнения и истощения [4].

В промышленном секторе необходимо было обеспечить резкое наращивание объемов оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, внедрение на вводимых и реконструируемых производствах в основном безводных и маловодных технологических процессов, а также осуществление других мероприятий, обеспечив в 1990 г. сокращение удельных расходов воды на единицу продукции не менее чем на 20 % [4].

С целью реализации требований [4] в 1987 г. на период 1988–1990 гг. вводятся в действие новые нормы водопользования для предприятий молочной промышленности, разработанные ВНИМИ совместно с Сибирским и Литовским филиалами (далее – нормы 1987 г.), направленные на дальнейшее снижение объемов использования воды и сброса сточных вод на предприятиях молочной промышленности. В данном документе комплексно классифицированы направления производственной деятельности предприятий (городские молочные заводы, заводы

сухих молочных продуктов, маслозаводы и др.), включая их производственные мощности (например, городские молочные заводы с переработкой молока 100, 200, 300, 400 т/сут), виды систем водоснабжения (прямоточная, оборотная, повторно-последовательная), приведены нормы расхода воды, количества сточных вод на единицу сырья, объем безвозвратного водопотребления и потерь воды, коэффициенты изменения среднегодовых норм в летний и зимний сезоны года для каждого завода. Для обеспечения соблюдения норм для предприятий молочной промышленности одновременно разрабатываются соответствующие рекомендации по рациональным системам водного хозяйства. Кроме того, в нормах 1987 г. для предприятий, имеющих специфические условия, с целью уточнения объемом водопользования указано о возможности разработки индивидуальных балансовых норм водопотребления и водоотведения. Таким образом, начиная с 1980 г. с целью уточнения объемов водопользования, предприятия молочной промышленности могут разрабатывать индивидуальные нормы водопотребления и водоотведения.

Анализ динамики изменения норм водопользования для предприятий молочной промышленности за период 1973–1990 гг. позволил сформировать следующие выводы.

1. Удельные нормы расхода воды постоянно уменьшались: городские молочные заводы с 8,5 до 5,0 м³/т сырья, т.е. норма водопотребления снижена на 59 %; маслозаводы с 4,6 до 2,5 м³/т сырья, т.е. норма водопотребления снижена на 40 %; сыродельные заводы с 10,3 до 5,0 м³/т сырья, т.е. норма водопотребления снижена на 53 %.

2. Увеличились объемы использования воды в оборотных системах водоснабжения: в 10 раз на городских молочных заводах; в 3 раза на сыро- и маслодельных заводах.

Увеличение объемов воды в оборотной системе привело к изменению условий образования сточных вод на молокоперерабатывающих предприятиях: уменьшение объема производственных сточных вод привело к увеличению концентраций загрязняющих веществ в их составе, что потребовало внедрения технологий очистки сточных вод, включая локальную очистку сильнозагрязненных производственных сточных вод и, как следствие, к развитию научных исследований в области очистки производственных сточных вод молочной промышленности.

3. Удельные нормы образования сточных вод постоянно уменьшались: городские молочные заводы с 6,7 до 4,2 м³/т сырья, т.е. норма водоотведения снижена на 63 %; маслозаводы с 4,2 до 2,1 м³/т сырья, т.е. норма водоотведения снижена на 50 %; сыродельные заводы с 8,5 до 4,2 м³/т сырья, т.е. норма водоотведения снижена на 49 %.

4. Введены коэффициенты изменения норм водопотребления и водоотведения в зависимости от сезона года, что обусловлено изменением объемов поступления сырого молока от сельскохозяйственных предприятий в зимний и летний периоды. В зимний период года в основном коэффициенты указывают о снижении водопользования, что обусловлено уменьшением объемов поступления молока на заводы от сельскохозяйственных предприятий. В летний период поступление молока всегда увеличивается, предприятия могут переходить на круглосуточный режим работы, что и обуславливает увеличение водопользования.

Методические основы разработки укрупненных и индивидуальных технологических норм водопотребления и водоотведения для предприятий молочной промышленности были заложены в советское время и взяты в дальнейшем за основу профильными институтами в странах бывшего СССР для разработки национальных норм. После распада СССР в отдельных независимых странах продолжают функционировать научно-исследовательские институты в области молочной промышленности, которые ранее были созданы как всесоюзные институты.

Для анализа процесса совершенствования законодательства в области нормирования водопользования на предприятиях молочной промышленности были выбраны прежде всего соседние страны – Российская Федерация и Украина. Также проанализированы подходы к нормированию водопользования, действующие в странах Европейского союза.

Европейский союз. Страны Европы еще в 70-х годах XX в. приняли концепцию лучших имеющихся технических средств (Best Available Techniques, BAT), как техническую основу разработки норм предельно допустимых значений сбросов/выбросов для целей охраны окружающей среды. Начиная с 1977 г. Европейской Комиссией в качестве руководящих документов по реали-

зации соответствующих директив Европейского экономического сообщества (ЕС) опубликовано более 90 руководств по использованию БАТ. Разработка БАТ осуществлялась группой экспертов, которые также проводили консультации с представителями промышленности и каждого государства – члена ЕС. Европейская Комиссия в свою очередь предлагала на одобрение нормы предельно допустимых значений сбросов/выбросов для приоритетных загрязняющих веществ, зачастую ужесточая нормы, предлагаемые в руководствах по использованию БАТ.

Странами ЕС выбран подход к комплексной оценке воздействия промышленных предприятий на окружающую среду путем выдачи комплексных природоохранных разрешений на основании технологического нормирования с учетом использования БАТ. Комплексный подход к предотвращению и контролю загрязнений впервые законодательно был закреплен в Директиве Совета ЕС 96/61/ЕС от 24.09.1996 «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений», которая впоследствии была заменена одноименной Директивой 2008/1/ЕС от 15.01.2008.

В настоящее время в странах Европейского союза основополагающим документом в области нормирования воздействия предприятий на окружающую среду является Директива 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета ЕС «О промышленных выбросах и/или сбросах (о комплексном предупреждении и контроле загрязнений)» от 24.11.2010, которая устанавливает нормы о комплексном предотвращении загрязнений от промышленной деятельности и контроля над ним, устанавливает нормы, направленные на предотвращение или, в случае если это неосуществимо, на снижение выбросов в воздух, сбросов в воду и образования отходов, а также на предотвращение образования отходов в целях достижения высокого уровня защиты окружающей среды в целом. Виды промышленной деятельности, которые подлежат оценке с целью определения наилучших доступных технологий (НДТ), представлены в приложении I Директивы 1PPC, включающее также молочную отрасль.

В развитие требований Директивы 2010/75/ЕС разрабатываются справочные документы по наилучшим доступным методам для различных отраслей экономики. Так, для пищевой отрасли разработан Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries. В справочнике представлены наилучшие доступные методы, применяемые в данном секторе как для технологических процессов, так и в области рационального водопользования, использования побочных продуктов производства, приведен диапазон норм водопотребления при производстве различных видов молочных продуктов.

Таким образом, в ЕС законодательно не закреплено понятие индивидуальные технологические нормативы водопотребления и водоотведения, однако имеются справочные руководства, в которых приведены технологические решения, внедрение которых позволит снизить воздействие на окружающую среду.

На территории постсоветского пространства развитие системы нормирования водопользования в целом и молочной отрасли, в частности, существенно различается по странам.

Украина. Начиная с 1990 г. и до настоящего времени в Украине переработка укрупненных норм водопользования для предприятий молочной промышленности не осуществлялась. В настоящее время Украинским научно-исследовательским проектно-изыскательским институтом предприятий мясной и молочной промышленности «УкрНИИмясомолпром» и Украинским научно-исследовательским институтом производительности агропромышленного комплекса Министерства аграрной политики Украины сделан уклон на проведение научных исследований в области модернизации производств, улучшения качественных характеристик продукции, которые лишь косвенно касаются рационального использования природных ресурсов.

В национальном законодательстве Украины действуют следующие требования в части нормирования водопользования. В соответствии со статьей 40 Водного кодекса Украины «для оценки и обеспечения рационального использования воды в отраслях экономики устанавливаются технологические нормативы использования воды, а именно: текущие технологические нормативы использования воды – для существующего уровня технологий; перспективные технологические нормативы использования воды – с учетом достижений на уровне передовых мировых технологий. Технологические нормативы использования воды разрабатываются и утвер-

ждаются соответствующими центральными органами исполнительной власти по согласованию с центральным органом исполнительной власти, обеспечивающим формирование государственной политики в сфере охраны окружающей природной среды».

В развитие требований статьи 40 Водного кодекса Украины разработан приказ Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины от 25.06.2014 № 179 «Об утверждении Порядка разработки и утверждения технологических нормативов использования питьевой воды предприятиями, которые предоставляют услуги по централизованному водоснабжению и/или водоотведению». Данный документ определяет единый порядок разработки и утверждения технологических нормативов использования питьевой воды на предприятиях и в организациях жилищно-коммунального хозяйства, кроме субъектов хозяйствования, которые предоставляют услуги по централизованному водоснабжению и/или водоотведению. Таким образом, требования данных документов распространяются только на объекты, оказывающие услуги по централизованному водоснабжению и водоотведению, и на выходе разрабатывается норматив потерь и неучтенных расходов воды и норматив технологических расходов воды в системах централизованного водоснабжения.

Что касается разработки балансов водопотребления и водоотведения для предприятий, в статье 49 Водного кодекса Украины указано «для получения разрешения на специальное водопользование юридическое или физическое лицо, физическое лицо-предприниматель обращается в территориальные органы центрального органа исполнительной власти, реализующего государственную политику в сфере развития водного хозяйства, с заявлением, к которому прилагаются: обоснование потребности в воде с помесечным нормативным расчетом водопотребления и водоотведения; описание и схема мест забора воды и сброса сточных вод; нормативы предельно допустимого сброса (ПДС) загрязняющих веществ в водные объекты со сточными водами (в расчете на каждый выпуск (сброс) отдельно); утвержденные индивидуальные технологические нормативы использования питьевой воды (для предприятий и организаций жилищно-коммунального хозяйства, субъектов хозяйствования, которые предоставляют услуги по централизованному водоснабжению и/или водоотведению, жилищно-эксплуатационных предприятий и организаций); копия правоустанавливающих документов на водные объекты (для арендаторов водных объектов)».

Таким образом, в Украине законодательно не закреплено понятие «индивидуальные технологические нормативы водопотребления и водоотведения для промышленных предприятий», но в то же время предприятия обязаны предоставить обоснование объемов водопотребления и водоотведения в виде расчетов с использованием норм при получении разрешений на специальное водопользование. В Украине также отсутствуют национальные справочные руководства по наилучшим доступным технологиям для молочной отрасли экономики.

Проведенный анализ государственных программ, концепций и стратегий Украины также показал отсутствие каких-либо целевых показателей в области водопользования для молочной промышленности. Так, распоряжением Кабинета Министров Украины от 17 октября 2013 г. № 806-П утверждена «Стратегия развития аграрного сектора на период до 2020 года» [5], целью которой является эффективное использование сельскохозяйственных земель и снижение техногенной нагрузки аграрного сектора на окружающую среду. Одним из принципов развития аграрного сектора в сфере организации аграрного производства является баланс его развития по экономическим, социальным и экологическим критериям. Также отмечено, что конкурентоспособность отечественной сельхозпродукции предусматривается для обеспечения сокращения потребления энергоресурсов на тонну продукции в среднем на 1–2 %, создания и функционирования саморегулируемых организаций во всех отраслях сельского хозяйства и ежегодного увеличения до 1 % от конкретной доли сельскохозяйственной продукции, реализуемой по долгосрочным контрактам, в общем объеме ее реализации.

Распоряжением Кабинета Министров Украины от 30 декабря 2015 г. № 1437 утверждена «Государственная целевая программа развития аграрного сектора на период до 2022 года» [6], целью которой является создание организационных и экономических условий для эффективно-

го, социально ориентированного развития аграрного сектора экономики, стабильного предложения сельскохозяйственного сырья, качественной и безопасной отечественной сельхозпродукции, увеличения производства продукции с высокой добавленной стоимостью, укрепления присутствия Украины на мировом рынке сельскохозяйственной продукции и продовольствия. Отмечено о необходимости внедрения энергосберегающих технологий глубокой переработки сельскохозяйственной продукции в пищевой и перерабатывающей промышленности. Ожидаемые результаты программы – сокращение потребления традиционных энергоресурсов на 8–10 %.

В развитие направлений, выделенных на государственном уровне, в областях Украины разрабатываются областные программы развития агропромышленного комплекса: к примеру, Комплексная программа развития агропромышленного комплекса и сельских территорий Ивано-Франковской области на 2016–2020 годы, одно из направлений – создание экологически безопасных условий для жизнедеятельности населения, сохранения окружающей природной среды и рационального использования природных ресурсов, особенно земель сельскохозяйственного назначения.

Перечисленные стратегические документы позволяют сделать вывод об отсутствии на государственном уровне какие-либо целевых показателей по рациональному водопользованию для предприятий пищевой промышленности; основные акценты сделаны на увеличение производства продукции и снижение энергозатрат.

Таким образом, заложенные в советский период комплексные подходы к нормированию водопользования в молочной промышленности не получили своего дальнейшего развития в нормативных и технических нормативных правовых актах, справочных руководствах Украины.

Российская Федерация. До 2005 г. во Всероссийском научно-исследовательском институте молочной промышленности функционировал сектор охраны окружающей среды, созданный в 1972 г. и проводивший научные исследования в молочной промышленности по следующим направлениям: рекомендации по сбору, переработке и использованию конденсата вторичных паров молока для процессов мойки предприятий молочной промышленности; расчетно-аналитическая оценка экологичности производства молочных продуктов; экологические технологии в молочной промышленности; системы предочистки сточных вод предприятий молочной промышленности; системы циркуляционной мойки оборудования и трубопроводов, интенсификация санитарной обработки оборудования; использование сточных вод молочного производства на полях орошения.

В настоящее время профильным институтом молочной промышленности Российской Федерации является Федеральное государственное автономное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», которым в основном проводятся исследования, направленные на создание новых технологий, упаковочных материалов, моющих и дезинфицирующих средств, оборудования, приборов и средств управления для молочной промышленности.

В 2017 г. разработан информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство напитков, молока и молочной продукции» (ИТС 45-2017), утвержденный приказом Росстандарта от 29 ноября 2017 г. № 2668. При этом в ИТС 45-2017 приведена ссылка на нормы расхода воды, тепловой и электрической энергии на тонну продукции, разработанные еще в советское время и закрепленные в приказе Госагропрома СССР от 31.12.1987 № 1025 «Об утверждении Норм расхода и потерь сырья при производстве цельномолочной продукции на предприятиях молочной промышленности и организации работ по нормированию расхода сырья». Таким образом, переработка укрупненных норм водопользования, разработанных в СССР в 1980 г., в Российской Федерации также не осуществлялась. В то же время необходимо отметить, что ИТС 45-2017 содержит ряд наилучших доступных технологий в области рационального водопользования для предприятий молочной отрасли, включая мероприятия по организации систем повторно-последовательного и оборотного водоснабжения.

В национальном законодательстве Российской Федерации действуют следующие требования в части нормирования водопользования для предприятий молочной промышлен-

ности. Водным кодексом Российской Федерации не закреплены требования к разработке отраслевых и индивидуальных технологических нормативов водопользования. В то же время в ряде НПА встречается понятие «водохозяйственный баланс намечаемого водопользования». Водохозяйственный баланс намечаемого водопользования входит в схему систем водопотребления и водоотведения, в проект норматива допустимого сброса, а также в состав документов, необходимых для оформления решения о предоставлении водного объекта в пользование с целью сброса сточных вод. Водохозяйственные балансы разрабатываются с учетом норм водопотребления и водоотведения, представленных в технологических регламентах, паспортах оборудования, также используются укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности.

Разработка отраслевых и индивидуальных норм водопотребления и водоотведения осуществляется в соответствии с Методическими указаниями по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учетом качества потребляемой и отводимой воды в промышленности (1979 г.) [3].

В соответствии с ГОСТ Р 57074-2016 оценка значения индивидуальных норм водопотребления и водоотведения осуществляется с учетом удельных норм, представленных в справочниках по наилучшим доступным технологиям (НДТ).

С 2019 г. в ряд НПА Российской Федерации внесены изменения в части экологического нормирования. Обязательными документами при получении предприятиями, оказывающими негативное воздействие на окружающую среду, комплексного экологического разрешения являются технологические нормативы. Под технологическими нормативами подразумеваются нормативы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, нормативы допустимых физических воздействий, которые устанавливаются с применением технологических показателей. Технологические показатели – это показатели концентрации загрязняющих веществ, объема и (или) массы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, образования отходов производства и потребления, потребления воды и использования энергетических ресурсов в расчете на единицу времени или единицу производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги [7]. На законодательном уровне установлены технологические показатели для различных отраслей промышленности (данные показатели включены в соответствующие приказы на основании информации, содержащейся в ИТС). Так, для предприятий молочной промышленности приказом Министерства природных ресурсов и экологии от 12 апреля 2019 г. № 236 к технологическим показателям отнесены показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (только по взвешенным веществам), показатели концентраций загрязняющих веществ в прямых сбросах в водные объекты для централизованных комбинированных систем водоотведения (аммоний-ион, нитрат-анион, сульфат-анион, фосфаты, хлорид-анион, БПК₅, ХПК, взвешенные вещества), соответствующие НДТ.

Что касается государственных стратегий в области пищевой промышленности, в частности молочной промышленности, необходимо отметить Стратегию развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденную распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 апреля 2012 г. №559-р (далее – Стратегия до 2020 г.) [8].

В Стратегии выделяются приоритеты двух уровней: средне- и долгосрочных периодов. К одним из приоритетов среднесрочного периода отнесено проведение технического перевооружения организаций пищевой и перерабатывающей промышленности с внедрением современных достижений научно-технического прогресса для снижения энергопотребления, уменьшения вредных выбросов в окружающую среду. К приоритетам долгосрочного периода отнесено: переход пищевой и перерабатывающей промышленности к ресурсосберегающим технологиям, обеспечивающим безотходное производство и производство с минимальным воздействием на экологию; переработка новых видов сырья, полученных с использованием инновационных биотехнологий; производство экологически чистых продуктов питания; экологическая безопасность продовольствия.

В Стратегии также выделена необходимость осуществления мероприятий, направленных на снижение вредных выбросов в окружающую среду и охрану поверхностных и подземных вод от загрязнения, снижение расходов речной и артезианской воды на технологические нужды при реконструкции, техническом перевооружении организаций пищевой и перерабатывающей промышленности и новом строительстве. Указано, что внедрение оборотных систем водоснабжения на предприятиях сахарной, молочной и мясной промышленности позволит снизить объем образования сточных вод и высвободить земельные участки, занимаемые очистными сооружениями. Среди целевых показателей Стратегии можно выделить следующее: к 2020 г. предусматривается повышение степени переработки водных биоресурсов за счет внедрения безотходных технологий – до 80 %; вовлечение в хозяйственный оборот молочной сыворотки – до 1 млн т.

Таким образом, в Российской Федерации частично сохранился комплексный подход к нормированию водопользования в молочной промышленности, но не осуществлялась разработка укрупненных норм водопользования для предприятий молочной промышленности, а также отсутствуют целевые показатели по водопользованию для предприятий молочной промышленности в государственных программах и стратегиях.

Республика Беларусь. Вопросами нормирования водопользования на предприятиях молочной промышленности в постсоветский период занимался отдел ресурсосбережений РУП «Институт мясо-молочной промышленности», лаборатория статистического водонормирования и лаборатория водоохраных технологий республиканского унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (ЦНИИКИВР). На основании Методических указаний по разработке индивидуальных балансовых норм водопотребления и водоотведения предприятий молочной промышленности, разработанных Сибирским филиалом ВНИМИ в 1981 г., и имеющегося опыта РУП «Институт мясо-молочной промышленности» в 2007 г. разработана Инструкция по нормированию водопотребления и водоотведения в молочной промышленности, которая действует до настоящего времени.

Основополагающим документом, регламентирующим разработку технологических нормативов водопользования в республике является Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З [9], согласно которому технологические нормативы водопотребления представляют собой обоснованное расчетами количество воды с учетом ее качества, необходимое для производственного процесса, устанавливаемое на единицу производимой продукции, используемого сырья, материалов; технологические нормативы водоотведения представляют собой обоснованное расчетами количество сточных вод установленного качества, образующихся в процессе производства, устанавливаемое на единицу производимой продукции, используемого сырья, материалов.

При этом разработка может осуществляться как отраслевых, так и индивидуальных технологических нормативов водопользования. Отраслевые технологические нормативы водопользования разрабатываются для определенной отрасли экономики в целях планирования и контроля потребления воды, а также сбрасываемых производственных сточных вод и представляют собой укрупненные нормы водопотребления и водоотведения, которые утверждаются соответствующими республиканскими органами государственного управления по согласованию с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Индивидуальные технологические нормативы водопользования разрабатываются и утверждаются юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями, осуществляющими производство продукции, использование сырья, материалов в процессе производства, связанного с водопотреблением и водоотведением, в случае отсутствия отраслевых технологических нормативов водопользования или в целях уточнения объемов водопотребления, водоотведения для конкретного производства. Индивидуальные технологические нормативы водопотребления и водоотведения используются водопользователями для обоснования объемов добычи (изъятия), получения воды, сброса сточных вод как в окружающую среду, так и в сети канализа-

ции при получении разрешений на специальное водопользование, комплексных природоохранных разрешений.

Постановлением Минприроды от 04.05.2015 № 21 «О некоторых вопросах разработки технологических нормативов водопользования» установлен перечень видов экономической деятельности и критерии, в отношении которых разрабатываются технологические нормативы водопользования. В настоящее время это 16 видов экономической деятельности, включая производство молочных продуктов, для которых разработка технологических нормативов водопользования осуществляется на единицу используемого сырья. Общие требования к составу и методам расчета технологических нормативов водопользования установлены техническим кодексом установившейся практики 17.02-13/1-2015 Охрана окружающей среды и природопользование. Технологические нормативы. Ч. 1. Расчет технологических нормативов водопользования (далее – ТКП 17.02-13/1-2015) [10].

ТКП 17.02-13/1-2015 введены критерии оценки эффективности использования воды на предприятии, в состав которых входят: рациональность использования водных ресурсов с учетом безвозвратного водопотребления и потерь воды; количество используемой в производственном процессе оборотной воды, а также содержит базовые принципы расчета технологических нормативов водопользования для предприятий любой отрасли промышленности.

В республике в соответствии с Национальной стратегией внедрения комплексных природоохранных разрешений на 2009–2020 гг. также ведется разработка справочных руководств по наилучшим доступным техническим методам (НДТМ). В 2012 г. разработано пособие «Охрана окружающей среды и природопользование. Наилучшие доступные технические методы для производства продуктов питания, напитков и молока» (НДТМ 17.02-03-2012). Разработка НДТМ 17.02-03-2012 осуществлялась путем прямого перевода европейского руководства Reference Document on Best Available Techniques in the «Food, Drink and Milk Industries» и его адаптации в терминологию без учета национальной специфики производимой продукции.

Государством нашей страны в последние десятилетия уделялось особое внимание развитию молочной промышленности, что подтверждается принятием и реализацией ряда программных документов.

Программа развития мясной и молочной промышленности на 2005–2010 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.07.2005 № 792, закрепила использование в стране вторичного молочного сырья и в первую очередь сыворотки, которая ранее в основном отводилась в сети канализации предприятия, приводя к увеличению объема сброса сточных вод и ухудшению в целом их качественного состава. Реализация положений программы позволила вовлечь сыворотку в производственный процесс для получения молочной продукции и соответственно снизить объемы образования сточных вод и затраты на их очистку.

Программа переработки молочной сыворотки и производства сухих молочных продуктов в Республике Беларусь на 2008–2010 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 03.09.2008 № 1281. Необходимость разработки программы переработки молочной сыворотки и производства сухих молочных продуктов была обусловлена возросшей актуальностью ресурсосбережения на всех стадиях производственного цикла, ростом на международном рынке спроса на молочные продукты, полученные при переработке вторичного молочного сырья (сыворотка и ее производные, казеин, сухое обезжиренное молоко, белковые концентраты).

Республиканская программа развития молочной отрасли в 2010–2015 годах, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь 12.11.2010 № 1678 [11], одна из основных целей включает внедрение интенсивных энерго- и ресурсосберегающих технологий производства, завершение реализации проектов по увеличению (созданию) мощностей по переработке подсырной сыворотки, а также мероприятия по строительству, реконструкции и модернизации 35 молокоперерабатывающих предприятий. Причем на 20 из 35 предприятий запланированы мероприятия, касающиеся строительства, модернизации линий по концентрированию, сушке сыворотки, молока.

Тенденции разработки государственных программ после 2015 г. указывают на укрупнение подотраслевых направлений в одну отраслевую программу: *Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585* (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11 марта 2016 г. № 196) [12]. В рамках программы выделены подпрограммы, где молочная отрасль включена в подпрограмму 3 «Развитие животноводства, переработки и реализации продукции животноводства». Основными направлениями которой являются: техническое переоснащение организаций, осуществляющих переработку молока и производство молочных продуктов; увеличение объемов производства и реализации на внешние рынки молочной продукции; повышение ее конкурентоспособности за счет создания новых, модернизации, реконструкции и технического переоснащения действующих мощностей по переработке молока; внедрению комплексных технологий, позволяющих использовать в переработке все компоненты животноводческого сырья.

Как показывает анализ вышеперечисленных программ, в них отсутствовали какие-либо целевые показатели в области экономии водных ресурсов. Впервые общие направления в области рационального водопользования для промышленных предприятий, включая отдельные целевые показатели, фигурируют в *Программе развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 05.07.2012 № 622* [13]. Программа содержит главу «Экологизация промышленного производства», где определены основные задачи в области охраны и использования вод: сокращение объемов сбросов сточных вод на единицу сырья, производственной мощности, выпускаемой продукции; уменьшение использования первичных природных ресурсов при одновременном увеличении использования вторичных материально-сырьевых ресурсов; минимизация экологических рисков и рисков для здоровья человека, возникающих на всех этапах жизненного цикла промышленной продукции, произведенной прежде всего в организациях химической, нефтехимической, фармацевтической и пищевой промышленности; увеличение к 2020 г. объемов воды в системах оборотного и повторного водоснабжения на 2 %; снижение к 2020 г. использования питьевой воды на производственные нужды на 2%. Таким образом, проблема использования воды в водоемких отраслях, к которым относится и молочная промышленность, приобретает все большую актуальность.

При развитии промышленного производства вопросам экономии ресурсов, в том числе водных, уделялось внимание в целом и в ряде других отраслевых подпрограмм в виде отдельных направлений и целевых показателей: Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 г., Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 г.

Согласно Водной стратегии Республики Беларусь на период до 2020 г., в которой закреплены базовые принципы государственной политики в области использования и охраны водных ресурсов, основными направлениями деятельности по охране и использованию водных ресурсов являются: охрана водных объектов и подземных вод от загрязнения, устойчивое рациональное водопользование в промышленности и сельском хозяйстве, снижение удельного водопотребления и повышение эффективности использования водноресурсного потенциала [14].

Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 г. заложены следующие показатели: увеличение объемов расхода воды в системах оборотного и повторного водоснабжения в промышленности до 95 %; прекращение отведения неочищенных сточных вод в водные объекты; сокращение сброса в водные объекты тяжелых металлов и стойких загрязнителей на 95 %, азота и фосфора на 50 % [15].

Таким образом, действующие в настоящее время в Беларуси стратегические документы в области использования и охраны водных ресурсов накладывают дополнительные обязательства на предприятия молочной промышленности в части экологизации производства.

Заключение. В настоящее время применяемые подходы нормирования водопользования предприятий молочной отрасли в Украине, Российской Федерации, Беларуси и странах

Европейского союза методически отличаются. Заложенные в СССР методические подходы нормирования водопользования получили дальнейшее развитие в Российской Федерации и Беларуси. Однако только Беларусь оставила принцип разработки как отраслевых, так и индивидуальных технологических нормативов водопользования, при этом также переняв опыт Европейского союза по разработке справочных руководств по НДТМ для отраслей экономики, в частности для молочной отрасли.

В то же время многофакторность ассортимента выпускаемой продукции, производственных процессов молокоперерабатывающих предприятий (частая смена в течение суток видов выпускаемой продукции и соответственно условий водопользования) указывает, что разработка укрупненных норм водопользования, широко применявшихся в советское время, в нынешних условиях развития молочной отрасли в Республике Беларусь менее целесообразна. Требуется более детальная разбивка статей водопотребления и водоотведения, которая применяется при разработке индивидуальных технологических нормативов водопользования. Учитывая вышеперечисленную специфику производственных процессов, разработку индивидуальных технологических нормативов водопользования для молокоперерабатывающих предприятий в большей части необходимо осуществлять на единицу переработанного сырья.

Разработка индивидуальных технологических нормативов водопользования должна обязательно сопровождаться сравнением фактических режимов водопотребления и водоотведения с соответствующими нормативными диапазонами водопользования по отдельному оборудованию, технологическому процессу, участку, приведенных в справочном руководстве по НДТМ. В то же время при наличии в дальнейшем достаточного количества статистических данных по отдельным статьям водопользования на молокоперерабатывающих предприятиях разработанные индивидуальные технологические нормативы водопользования могут послужить основой для установления отраслевых норм водопотребления и водоотведения на молокоперерабатывающих предприятиях.

На основании проведенного научного анализа национального и зарубежного опыта нормирования водопользования на промышленных предприятиях определена целесообразность внедрения и дальнейшего развития комплексного подхода к нормированию водопотребления и водоотведения: разработка для каждой отрасли экономики соответствующего справочного руководства по НДТМ, учитывающего национальную специфику производимой продукции с обязательной детализацией статей расходов воды и образования сточных вод, диапазонов нормативного водопользования с указанием мероприятий по достижению предприятиями установленных норм водопотребления и водоотведения.

Таким образом, вопросы нормирования водопользования на предприятиях молочной промышленности актуальны для Беларуси. Назрела необходимость в проведении более детального анализа водопользования с выделением наиболее водоемких статей расходов воды при производстве молочной продукции, технологических процессов, являющихся источником увеличения объемов сточных вод, с формированием в дальнейшем мероприятий, которые позволят предприятиям рационально использовать водные ресурсы и максимально вовлекать в оборот без значительных экономических затрат вторичное молочное сырье и побочные продукты переработки молока.

Список использованных источников

1. О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров СССР, 22 апрел. 1960 г., № 425 // Библиотека нормативно-правовых актов СССР. – Режим доступа: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_5532.htm. – Дата доступа: 04.08.2020.
2. Об утверждении Водного кодекса РСФСР [Электронный ресурс] : Закон Верхов. Совета РСФСР, 1 окт. 1972 г., // Библиотека нормативно-правовых актов СССР. – Режим доступа: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_7841.htm. – Дата доступа: 04.08.2020.
3. Методические указания по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учетом качества потребляемой и отводимой воды в промышленности [Электронный ресурс]: Письмо Госплана СССР, 12 июл. 1979 г., № ВИ-1381-94-143 // Электронный фонд правовой и научно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200046183>. – Дата доступа: 04.08.2020.

4. О первоочередных мерах по улучшению использования водных ресурсов в стране [Электронный ресурс]: постановление Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР, 19 янв. 1988 г., № 64 // Библиотека нормативно-правовых актов СССР. – Режим доступа: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_14539.htm. – Дата доступа: 04.08.2020.
5. Стратегия развития аграрного сектора на период до 2020 года [Электронный ресурс]: распоряжение Кабинета Министров Украины, 17 окт. 2013 г., № 806-П // Информационно-поисковая система «Законодательство Украины». – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/806-2013-%D1%80#Text>. – Дата доступа: 04.08.2020.
6. Государственная целевая программа развития аграрного сектора на период до 2022 года [Электронный ресурс]: распоряжение Кабинета Министров Украины, 30 дек. 2015 г., № 1437 // Информационно-поисковая система «Законодательство Украины». – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1437-2015-%D1%80#Text>. – Дата доступа: 04.08.2020.
7. Водохозяйственный баланс намечаемого водопользования: расчет и оформление / А. А. Самохина // Справочник эколога. – 2019. – Вып. 83, № 4. – С. 61–67.
8. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства РФ, 17 апр. 2012 г., № 559-р // Справочная правовая система КонсультантПлюс. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_128940/. – Дата доступа: 04.08.2020.
9. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 30 апреля 2014 г., № 149-З // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.
10. Охрана окружающей среды и природопользование. Технологические нормативы. Часть 1. Расчет технологических нормативов водопользования: ТКП 17.02-13/1-2015 (33140). – Введ. 01.01.15. – Минск: ЦНИИКИВР, 2015. – 38 с.
11. Республиканская программа развития молочной отрасли в 2010–2015 годах [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 12 нояб. 2010 г., № 1678 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.
12. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585 [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 11 март. 2016 г., № 196 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.
13. Программа развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 5 июл. 2012 г., № 622 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.
14. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года [Электронный ресурс]: решение коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, 11 авгус. 2011 г., № 72-Р // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.
15. Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 года [Электронный ресурс]: решение коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, 28 янв. 2011 г., № 8-Р // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

Поступила 17.08.2020

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 504.453/556.53

В. Н. Корнеев, Л. Н. Гертман, И. А. Булак

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь, e-mail: v_korn@rambler.ru, lubov.hertman@yandex.ru, i_bulak@tut.by*

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СРЕДНИХ И МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНОВ ЗАПАДНАЯ ДВИНА, ДНЕПР, ПРИПЯТЬ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Аннотация. В последние годы наряду с остальными возобновляемыми источниками энергии возрастает роль гидроэнергетики, которая основана на использовании экологически чистой энергии водных потоков и позволяет комплексно решать проблемы водоснабжения, орошения, защиты от наводнений, значительно при этом уменьшая выбросы в окружающую среду. Представлены результаты исследований по оценке гидроэнергетического потенциала средних и малых рек бассейнов Западной Двины, Днепра, Припяти.

Ключевые слова: гидроэнергетический потенциал, гидрологический режим, морфометрические характеристики, кадастровый график, государственный кадастр возобновляемых источников энергии

V. N. Korneev, L. N. Hertman, I. A. Bulak

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus,
e-mail: v_korn@rambler.ru, lubov.hertman@yandex.ru, i_bulak@tut.by*

HYDROPOWER POTENTIAL OF MEDIUM AND SMALL RIVERS IN THE BASINS OF THE WESTERN DVINA, DNIEPER, PRIPYAT OF BELARUS

Abstract. In recent years the role of hydropower has been growing along with other renewable energy sources. It is based on the use of environmentally friendly energy of water flows and helps to solve comprehensively such problems, as water supply, irrigation, flood protection, while significantly reducing environmental emissions. The publication presents the results of studies on assessment the hydropower potential of medium and small rivers in the Western Dvina, Dnieper and Pripyat river basins.

Keywords: hydropower potential, hydrological regime, morphometric characteristics, cadaster graph, state cadaster of renewable energy sources

У. М. Карнееў, Л. М. Гертман, І. А. Булак

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь,
e-mail: v_korn@rambler.ru, lubov.hertman@yandex.ru, i_bulak@tut.by*

ГІДРАЭНЕРГЕТЫЧНЫ ПАТЭНЦЫЯЛ СЯРЭДНІХ І МАЛЫХ РЭК БАСЕЙНАЎ ЗАХОДНЯЯ ДЗВІНА, ДНЕПР, ПРЫПЯЦЬ НА ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ

Аннотацыя. У апошнія гады разам з астатнімі аднаўляльнымі крыніцамі энергіі ўзрастае роля гідраэнергетыкі, якая заснавана на выкарыстанні экалагічна чыстай энергіі водных патокаў і дазваляе комплексна вырашаць праблемы водазабеспячэння, арашэння, абароны ад паводак, значна пры гэтым памяншаючы выкіды ў навакольнае асяроддзе. Прадстаўлены вынікі даследаванняў па ацэнцы гідраэнергетычнага патэнцыялу сярэдніх і малых рэк басейнаў Заходняй Дзвіны, Днепра, Прыпяці.

Ключавыя словы: гідраэнергетычны патэнцыял, гідралагічны рэжым, морфаметрычны характарыстыкі, кадастры графік, дзяржаўны кадастр аднаўляльных крыніц энергіі

Введение. Существующие в настоящее время прогнозы показывают, что мировое потребление электроэнергии вырастет к 2030 г. по сравнению с 2000 г. в 2, а к 2050 г. – в 4 раза. В этой связи наряду с остальными возобновляемыми источниками энергии возрастает роль гидроэнергетики, которая основана на использовании экологически чистой энергии водных потоков и позволяет одновременно со значительным уменьшением выбросов в окружающую среду комплексно решать проблемы водоснабжения, орошения, защиты от наводнений и т.д.

Исчерпание возможностей освоения крупных водотоков приводит к развитию малой гидроэнергетики. К этой области гидроэнергетики, имеющей свои технические особенности, относятся ГЭС малой мощности – малые ГЭС, эксплуатирующие сток малых, средних и верховья крупных рек. К малым ГЭС относят станции установленной мощности от 1 до 10 МВт [1]. В последние годы в нашей стране был создан целый ряд крупных ГЭС – Гродненская на р. Неман, Витебская и Полоцкая на р. Западная Двина. В перспективе планируется строительство Немновской и Бешенковичской ГЭС на реках Неман и Западная Двина соответственно.

Малая гидроэнергетика получила значительное развитие по причине небольших сроков окупаемости, минимальных площадей затопления, обеспечения электроэнергией изолированных от энергосистемы (или требующих резервирования) потребителей, что дает, в конечном

счете, преимущества для местного и регионального развития территорий. В то же время малая гидроэнергетика играет большую роль в обеспечении энергетической безопасности.

Важной задачей при использовании водно-энергетического потенциала средних и малых рек является проведение на них инвентаризации перспективных створов размещения гидроэнергетических установок и определение эффективности строительства объектов гидроэнергетики с учетом экологических аспектов их внедрения.

До настоящего времени основным источником данных по гидроэнергетическому потенциалу (ГЭП) средних и малых рек Беларуси являлся водно-энергетический кадастр Белорусской ССР, разработанный в 1962 г., в котором представлены водно-энергетические характеристики 353 рек Беларуси. Приведенные в нем данные за более чем 50 лет значительно потеряли свою актуальность и требуют существенного уточнения и кардинальной переработки с учетом изменившихся природных условий, видов хозяйственной деятельности на водосборе.

Методика исследований. Для актуализации данных по ГЭП средних и малых рек Беларуси РУП «ЦНИИКИВР» с 2016 г. проводит исследования по разработке каталога створов размещения установок по использованию водно-энергетического потенциала средних и малых рек Беларуси (с учетом существующих и перспективных створов ГЭС) для основных речных бассейнов Западной Двины, Днепра, Припяти, Немана и Западного Буга. Исследования проводятся в рамках задания 2.1.4 подпрограммы II «Устойчивое использование природных ресурсов и охрана окружающей среды» Государственной научно-технической программы «Природопользование и экологические риски», 2016–2020 гг.

За период с 2016 по 2019 г. был проведен комплекс исследований по актуализации информации основных морфометрических и гидрологических (с использованием данных Белгидромета) характеристик средних и малых рек бассейнов Западная Двина, Днепр и Припять для определения их ГЭП. В 2020 г. продолжают работы по оценке ГЭП средних и малых рек бассейнов Неман и Западный Буг.

Различают три понятия ГЭП, характеризующего запасы гидроэнергоресурсов: теоретический (или валовой) – полная суммарная энергия речного стока страны; технический – часть теоретического потенциала, которая путем выработки электроэнергии на ГЭС или иными техническими средствами может быть использована; экономический – часть технического потенциала, которая может быть реализована как экономически эффективное мероприятие.

Экономически эффективная часть гидроэнергоресурсов – величина, меняющаяся во времени в зависимости от энергетических и экономических условий страны. Так, с повышением цен на топливо отмечается тенденция приближения экономического потенциала к техническому.

В общем виде алгоритм определения ГЭП малых и средних рек состоит из десяти блоков, взаимодействие которых представлено на рис. 1.

При анализе гидрологической изученности бассейна реки определяется возможный вариант расчета гидрологических параметров (стока) в зависимости от наличия или отсутствия данных наблюдений за многолетний период. Оптимальным исходным рядом наблюдений считается ряд длиной от 40 лет. При наличии коротких рядов возможно их удлинение с использованием метода аналогии. При отсутствии данных наблюдений анализируется возможность использования метода аналогии, или применение расчетных формул. Метод аналогии применяется при наличии достаточно надежного водотока аналога.

Анализ исходной картографической информации подразумевает выбор для исследуемого бассейна существующей топографической информации, определение степени возможности ее использования для построения продольных профилей (наличие и частота нанесения отметок меженных уровней по длине реки, сечение горизонталей) выбора мест размещения расчетных створов. При недостаточной изученности водотока, для уточнения и дополнения картографической информации необходимым условием проведения дальнейших расчетов является проведение полевых экспедиционных исследований. Экспедиционные исследования позволяют получить недостающую информацию для уточнения гидрологических характеристик и дополнения картографических материалов.

При определении границ участков расчета анализируется топографическая информация и построенный продольный профиль водотока. Границы участков назначаются исходя из суще-

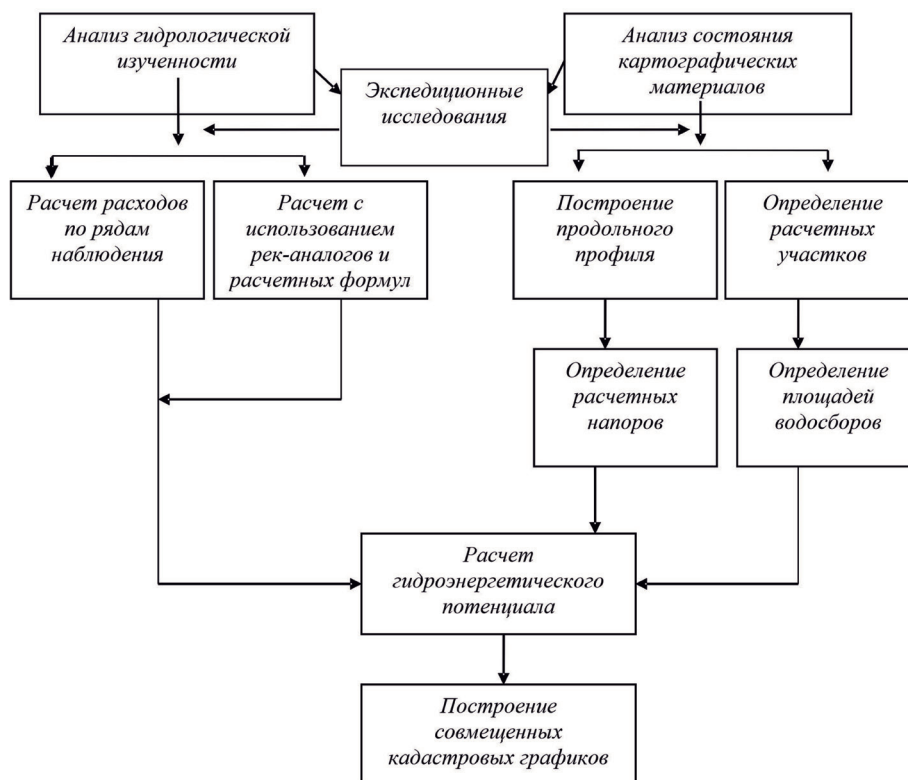


Рис. 1. Алгоритм расчета ГЭП малых и средних рек

ственного приращения водосборной площади, резкого изменения уклона свободной поверхности водотока.

Створы площадок перспективного размещения установок по использованию водно-энергетического потенциала определяются с учетом минимизации затопления прилегающих территорий и объектов при размещении плотин водохранилищ ГЭС с выполнением условий по обеспечению достаточного напора для функционирования ГЭС. Помимо этого, перспективные площадки не должны располагаться на территориях особо охраняемых природных территорий.

В бассейне Западной Двины обоснован перечень из 58 рек с размещением на них 324 площадок перспективного размещения установок по использованию водно-энергетического потенциала; для бассейна Днепра – перечень из 95 рек с размещением на них 371 площадки; в бассейне Припяти – перечень из 52 рек с размещением на них 187 площадок перспективного размещения установок по использованию водно-энергетического потенциала.

Результаты исследований и их обсуждение. Для предложенных створов рек определяются основные гидрологические характеристики. Для рек, по которым имеются регулярные наблюдения Белгидромета их гидрологического режима, данные характеристики определяются с использованием результатов этих наблюдений, а для рек, не имеющих указанной информации, – путем прямых гидрометрических измерений в ходе проведения РУП «ЦНИИКИВР» экспедиционных исследований.

По результатам измерений выполняются гидрологические расчеты расходов воды, а также последующие расчеты по определению расходов воды для различных гидрологических условий с использованием расчетного по данным измерений расхода воды. По фондовым данным и в ходе экспедиционных исследований также определяются морфометрические характеристики русла и долин рек, выполняется оценка состояния существующих водохранилищ для перспективного размещения гидроузлов ГЭС. Далее производится расчет характеристик продольного профиля рек в зависимости от водности водных объектов с учетом прогнозных оценок изменения стока рек в условиях изменения климата (рис. 2).

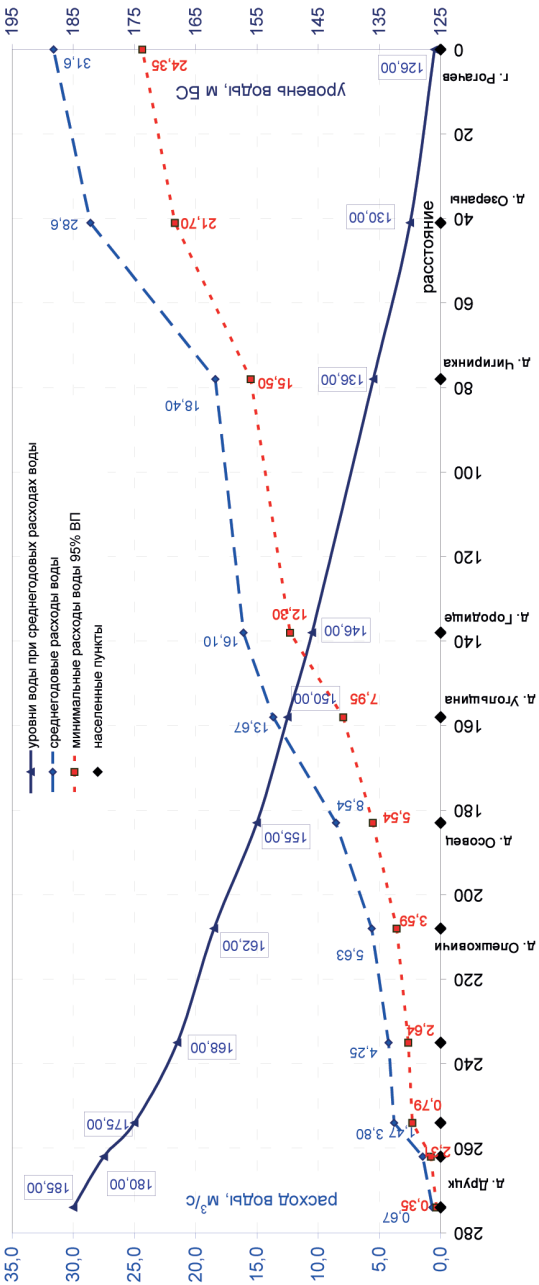


Рис. 2. Пример продольного профиля свободной поверхности, среднегодовые и минимальные расходы воды р. Друть с учетом перспективных площадок размещения установок по использованию ГЭП

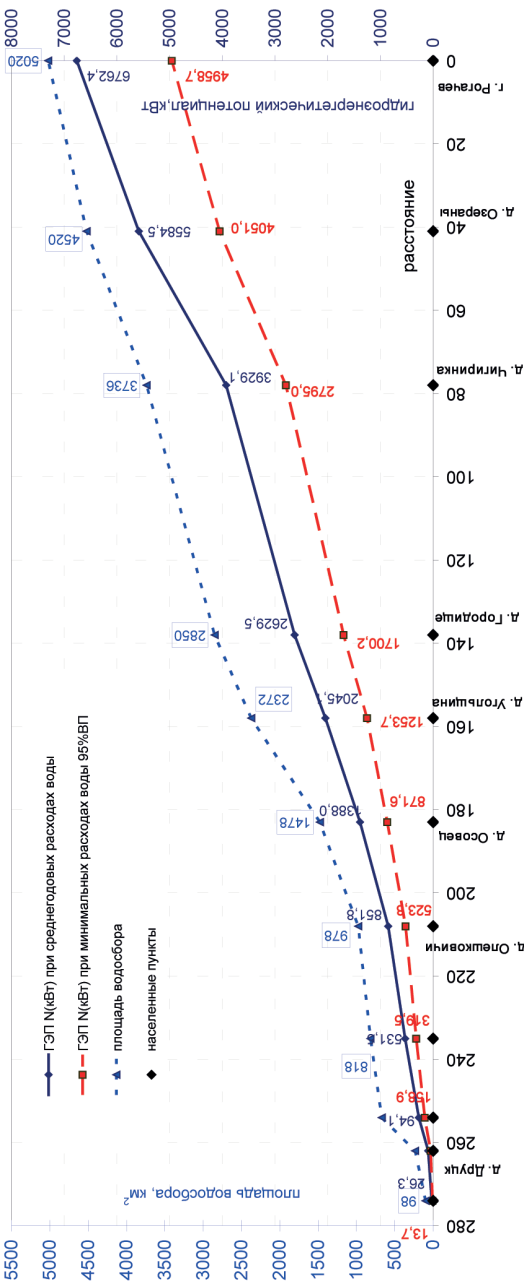


Рис. 3. Пример кадастрового графика р. Друть с учетом перспективных площадок размещения установок по использованию ГЭП

По определенным оптимальным расчетным напорам гидрологической и общей морфометрической информации для двух гидрологических условий (при среднемноголетних расходах воды и расходах воды для маловодного года 95 %-ной вероятности превышения/обеспеченности) выполняются расчеты ГЭП – мощности малой ГЭС по водотоку без учета коэффициента полезного действия (КПД) энергетического оборудования по следующей формуле [2]:

$$N_{\text{вод}}^{\text{ГЭС}} = 9,81 Q_i H_i, \quad (1)$$

где Q_i – среднемноголетний расход воды в реке на расчетном i -м участке и расход воды для маловодного года 95 %-ной вероятности превышения (обеспеченности), возможный к использованию на малых ГЭС, м³/с; H_i – оптимальный напор на i -м участке.

Среднеинтервальная выработка электроэнергии малых ГЭС, обеспеченная расходом и напором (без учета ограничения установленной мощности малых ГЭС, представляющей собой сумму номинальных (паспортных) мощностей, установленных на станциях гидроагрегатов), вычисляется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{вод}}^{\text{ГЭС}} = N_{\text{вод}}^{\text{ГЭС}} \Delta t, \quad (2)$$

где Δt – расчетный интервал времени, ч (при $\Delta t = 8760$ ч, величина $\mathcal{E}_{\text{вод}}^{\text{ГЭС}}$ соответствует выработке электроэнергии в годовом разрезе).

Для предложенных перспективных площадок определяются энергетические характеристики с использованием формул (1), (2) и выполняется построение кадастровых графиков для двух гидрологических условий (указанных выше) с наложением графика нарастания площади водосбора (рис. 3).

По результатам выполненных расчетов суммарный ГЭП средних и малых рек бассейна Западной Двины при среднемноголетних расходах воды составляет 71,1 МВт, при расходах воды маловодного года 95 %-ной обеспеченности – 39,2 МВт. Для бассейна Днепра данные показатели составляют 124,1 и 84,0 МВт соответственно, для бассейна Припяти – 41,1 и 21,4 МВт. На рис. 4 и в таблице представлена градация средних и малых рек бассейнов Западной Двины, Днепра и Припяти по их ГЭП.

Градация средних и малых рек по их ГЭП в бассейнах Западной Двины, Днепра, Припяти

Суммарный ГЭП, кВт при среднемноголетних расходах воды	Бассейн Западной Двины		Бассейн Днепра		Бассейн Припяти	
	количество рек	количество рек, %	количество рек	количество рек, %	количество рек	количество рек, %
Менее 500	26	44,8	74	76,3	37	71,2
500–1000	13	22,4	10	10,3	4	7,7
1000–2000	12	20,7	5	5,2	6	11,5
Более 2000	7	12,1	8	8,2	5	9,6

Как видно из рис. 4 и таблицы, в большей части средних и малых рек бассейна Днепра довольно низкий ГЭП (менее 500 кВт). Всего 13 рек имеют суммарный ГЭП свыше 1 МВт, в том числе для 8 рек (Сож, Березина, Свислочь, Друть, Ипуть, Проня, Беседь, Остер) суммарный ГЭП составляет свыше 2 МВт. Что касается бассейна Западной Двины, то лишь менее половины средних и малых всех рек имеют довольно низкий ГЭП (менее 500 кВт), для 33 рек суммарный ГЭП составляет свыше 1 МВт, в том числе 7 рек (Дрисса, Дисна, Оболь, Улла, Лучеса, Каспля, Ушача) имеют суммарный ГЭП свыше 2 МВт.

Большая часть рек бассейна Припяти имеет довольно низкий ГЭП (менее 500 кВт), и лишь для 11 рек суммарный ГЭП свыше 1 МВт, в том числе 5 рек (Случь, Стирь, Уборть, Горынь, Птичь) имеют суммарный ГЭП свыше 2 МВт. По сравнению с ГЭП средних и малых рек бассейнов Западной Двины и Днепра, бассейн Припяти отличается меньшими значениями водно-энергетических характеристик ввиду относительной равнинности бассейна, отсутствия больших уклонов. Суммарный ГЭП средних и малых рек бассейна Припяти при среднемноголетних



Рис. 4. Суммарный ГЭП средних и малых рек в бассейнах Западной Двины, Днепра и Припяти

расходах воды меньше аналогичного показателя бассейнов Западной Двины и Днепра соответственно в 1,73 и 3,02 раза, а при расходах воды маловодного года 95 %-ной обеспеченности – в 1,83 и 3,93 раза соответственно.

По результатам определения ГЭП составляется каталог перспективных площадок размещения установок по использованию ГЭП средних и малых рек Беларуси. Состав каталога разработан с учетом структуры базы данных Государственного кадастра возобновляемых источников энергии [3]. Каталог содержит расчетную информацию для перспективных площадок размещения установок по использованию ГЭП средних и малых рек Беларуси. Расчетная информация содержит следующие характеристики в табличном и в графическом виде: кривые нарастания площади водосбора по длине водотоков; зависимости среднегодовых расходов от площадей водосборов; зависимости 95 %-ной обеспеченности от площадей водосборов; возможные мощности в зависимости от площадей водосборов и водности; выработку электроэнергии в годовом разрезе. Расчетная информация содержит также в табличном виде характеристики расчетных створов рек и водохранилищ, включая их географические координаты, расходы воды заданных

вероятностей превышения (обеспеченностей), значения расчетных напоров, площадей водосборов, а также площадей, емкостей и глубин водохранилищ (средней и максимальной).

Расчет экономической эффективности перспективных площадок основан на определении срока окупаемости малой ГЭС. Расчет выполняется по используемой для этого в мировой практике стоимости капиталовложений на размещение ГЭС (проектирование, строительство, компенсационные выплаты за воздействие на различные компоненты окружающей среды), которые определяются по удельным капиталовложениям на 1 кВт установленной мощности. При этом используется величина фактической средней удельной стоимости капиталовложений на 1 кВт в Беларуси с учетом построенных ГЭС, которая ориентировочно составляет в эквиваленте 6236 долл. США/1 кВт.

Дополнительно к этим затратам добавляются компенсационные выплаты, обусловленные затоплением земель при размещении водохранилищ ГЭС, согласно кадастровой стоимости территорий Республики Беларусь, определенной Национальным кадастровым агентством.

К доходам относится годовая выработка электроэнергии ГЭС с учетом средней стоимости произведенной электроэнергии. Ориентировочный расчетный срок окупаемости ГЭС позволит в будущей практической деятельности обосновывать приоритетные площадки для привлечения инвестиций в размещение ГЭС.

Заключение. Проведенная оценка ГЭП средних и малых рек бассейнов Западной Двины, Днепр, Припять подтверждает тезис о том, что гидроэнергетические ресурсы распределены по территории Беларуси неравномерно [4, 5]. Наиболее перспективным для создания ГЭС является бассейн реки Западной Двины и верхняя часть речного бассейна Днепр. Данные территории отмечаются благоприятным рельефом, достаточными значениями уклонов, хорошей водообеспеченностью, наличием существующих водохранилищ.

Экономическая эффективность при строительстве ГЭС оценивается за счет наличия необходимой информации о перспективных площадках, включая их основные морфометрические, гидрологические и гидроэнергетические характеристики, полученной в результате выполнения задания, которые необходимы на стадии проектирования. Данная экономическая эффективность по всем перспективным площадкам может составить суммарно для бассейнов рек Западной Двина, Днепр, Припять более 5 млн руб. и достигается путем экономии средств на стадии проектирования.

Список использованных источников

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь об утверждении Государственной программы строительства в 2011–2015 годах гидроэлектростанций в Республике Беларусь № 1838 от 17 декабря 2010 г.
2. ТКП 45-3.04-299-2014 (02250). Малые ГЭС. Правила проектирования / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2014. – С. 6–9.
3. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29.08.2011 № 29. Инструкция о некоторых вопросах ведения государственного кадастра возобновляемых источников энергии.
4. Лопух, П. С. Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана / П. С. Лопух. – Минск, 2000.
5. Географический атлас учителя. – Минск, 2016.

Поступила 12.08.2020

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

УДК 543.632.22:635.052

Е. Г. Тюлькова¹, А. А. Карпиченко²¹Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель, Беларусь, e-mail: tut-3@mail.ru²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: karpi@bsu.by**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ РАЗВИТИЯ
И АДАПТАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ТЕХНОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ
(НА ПРИМЕРЕ г. ГОМЕЛЯ)**

Аннотация. Одной из наиболее уязвимых систем растительной клетки при действии различных стрессовых факторов является фотосинтетический аппарат. Растения выполняют ряд важных функций, таких как рекреационная, санитарно-гигиеническая и др., поэтому мониторинг состояния условий их развития обеспечивает основу для прогнозирования последствий техногенного воздействия на изменения параметров их жизнедеятельности. Кроме того, изучение адаптационных реакций растений к техногенным условиям является одной из ключевых проблем геохимии ландшафта. По результатам эколого-геохимической оценки условий произрастания растительности на территории г. Гомеля можно отметить техногенное загрязнение тяжелыми металлами почв промышленных зон на западе и севере города, имеющее точечный характер с единичными случаями превышения ПДК/ОДК, что может привести к негативно-му влиянию на древесную растительность. В восточной и южной частях города содержание исследуемых элементов снижено, при этом местами растения могут испытывать недостаток микроэлементов (Cu, Mn, Ni, Cr). При исследовании содержания фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей вблизи ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2, получено, что представители возрастной категории до 20 лет характеризовались тенденцией повышенного количества хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с группой после 30 лет в мае и сентябре, тогда как в июле происходило снижение их количества. Кроме того, представители группы до 20 лет характеризовались повышенным количеством пигментов в мае по сравнению с сентябрем, а группы после 30 лет, наоборот, в сентябре по сравнению с маем. В целом в большинстве вариантов наблюдалось более низкое содержание пигментов фотосинтеза по сравнению с контрольной территорией в пробах, отобранных вблизи ОАО «ГЗЛиН». С учетом отсутствия превышений тяжелых металлов ПДК/ОДК на данной территории можно предположить, что негативное влияние на состояние растительности оказывают выбросы в атмосферный воздух, содержащие в своем составе такие летучие органические соединения, как ксилолы и бутилацетат.

Ключевые слова: тяжелые металлы, береза повислая *Betula pendula* Roth., почвы, фотосинтетические пигменты

E. G. Tyulkova¹, A. A. Karpichenko²¹Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperatives, Gomel, Belarus, e-mail: tut-3@mail.ru²Belarusian State University, Minsk, Belarus e-mail: karpi@bsu.by**ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE DEVELOPMENT CONDITIONS
AND ADAPTATION OF WOOD PLANTS TO TECHNOGENIC EFFECTS (ON EXAMPLE OF THE CITY OF GOMEL)**

Abstract. One of the most vulnerable plant cell systems under various stress factors is the photosynthetic apparatus. Plants perform a number of important functions, such as recreational, sanitary and hygienic, so monitoring the state of their development conditions provides a basis for predicting the consequences of technogenic effects on changes in their vital parameters. In addition, the study of plant adaptation reactions to technogenic conditions is one of the key problems of landscape geochemistry. In this regard, the aim of the work was to study the ecological-geochemical situation in the city (on the example of Gomel) and to compare the content of photosynthetic pigments in the leaves of wood plants of different age groups growing at its individual sites. According to the results of ecological-geochemical assessment of vegetation growing conditions in the territory of Gomel, it is possible to note technogenic contamination by heavy metals of soils of industrial zones in the west and north of Gomel city, which has a point character with isolated cases of excess of MPC/ODC, which can lead to negative impact on wood vegetation. In the eastern and southern parts of the city, the content of the studied elements is reduced, and in some places the plants may lack trace elements (Cu, Mn, Ni, Cr). In the study of photosynthetic pigment content in birch *Betula pendula* Roth. leaves, growing near plant produce agricultural machines and thermal power plant, it was found that members of the age category under 20 years of age showed a tendency of increased amount of chlorophylls and carotenoids compared to the group after 30 years in May and September, while in July their amount decreased. In addition, members of the group under 20 were characterized by an increased amount of pigments in May compared to September, and groups after 30 years, on the contrary, in September compared to May.

In general, in most variants there was a lower content of photosynthesis pigments compared to the control area in samples taken near plant produce agricultural machines. Given the absence of excess heavy metals of MPC/ODC in the area, emissions to atmospheric air containing volatile organic compounds such as xylols and butylacetate had a negative effect on vegetation.

Keywords: heavy metals, drooping birch *Betula pendula* Roth., soils, photosynthetic pigments

А. Р. Цюлькова¹, А. А. Карпічэнка²

¹Беларускі гандлёва-эканамічны ўніверсітэт спажывецкай кааперацыі, Гомель, Беларусь,

e-mail: tut-3@mail.ru

²Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: karpi@bsu.by

ЭКОЛАГА-ГЕАХІМІЧНАЯ АЦЭНКА УМОЎ РАЗВІЦЦА І АДАПТАЦЫІ ДРАЎНЯНЫХ РАСЛІН ДА ТЭХНАГЕННАГА ЎЗДЗЕЯННЯ (НА ПРЫКЛАДЗЕ г. ГОМЕЛЯ)

Аннотацыя. Адною з найбольш уразлівых сістэм расліннай клеткі пры дзеянні розных стрэсавых фактараў з'яўляецца фотасінтэтычны апарат. Расліны выконваюць шэраг важных функцый, такіх як рэкрэацыйная, санітарна-гігіенічная і інш., таму маніторынг стану ўмоў іх развіцця забяспечвае аснову для прагназавання наступстваў тэхнагеннага ўздзеяння на змяненне параметраў іх жыццядзейнасці. Акрамя таго, вывучэнне адаптацыйных рэакцый раслін да тэхнагенных умоў з'яўляецца адной з ключавых праблем геахіміі ландшафту. Па выніках экалага-геахімічнай ацэнкі ўмоў росту расліннасці на тэрыторыі г. Гомеля можна адзначыць тэхнагеннае забруджванне цяжкімі металамі глебаў прамысловых зон на захадзе і поўначы горада, якое мае кропкавы характар з адзінкавымі выпадкамі перавышэння ПДК/АДК, што можа прывесці да негатыўнага ўплыву на драўняную расліннасць. Ва ўсходняй і паўднёвай частках горада ўтрыманне доследных элементаў паніжана, пры гэтым месцамі расліны могуць адчуваць недахоп мікра-элементаў (Cu, Mn, Ni, Cr). Пры даследаванні ўтрымання фотасінтэтычных пігментаў у лісцях бярозы павіслай *Betula pendula* Roth., якая расце паблізу завода ліцця і нармалей і ТЭЦ-2, атрымана, што прадстаўнікі ўзроставай катэгорыі да 20 гадоў характарызаваліся тэндэнцыяй павышанай колькасці хларафіла і караціноідаў у параўнанні з групай пасля 30 гадоў у маі і верасні, тады як у ліпені адбывалася зніжэнне іх колькасці. Акрамя таго, прадстаўнікі групы да 20 гадоў характарызаваліся павышанай колькасцю пігментаў у маі ў параўнанні з вераснем, а групы пасля 30 гадоў, наадварот, у верасні ў параўнанні з маем. У цэлым у большасці варыянтаў назіралася больш нізкае ўтрыманне пігментаў фотасінтэзу ў параўнанні з кантрольнай тэрыторыяй у пробах, адабраных паблізу завода ліцця і нармалей. З улікам адсутнасці перавышэння цяжкіх металаў ПДК/АДК на дадзенай тэрыторыі можна меркаваць, што негатыўны ўплыў на стан расліннасці аказваюць выкіды ў атмасфернае паветра, якія змяшчаюць у сваім складзе такія лятучыя арганічныя злучэнні, як ксілолы і бутылацэтат.

Ключавыя словы: цяжкія металы, бяроза павіслая *Betula pendula* Roth., глебы, фотасінтэтычныя пігменты

Введение. Несмотря на актуальность химических и физических анализов, обеспечивающих получение базовой информации о концентрации различных токсикантов в окружающей среде, биологическая оценка состояния среды является актуальной проблемой, поскольку обеспечивает возможность интегральной характеристики качества среды. Древесные и травянистые растения выполняют ряд важных функций, таких как рекреационная, санитарно-гигиеническая и др., поэтому мониторинг состояния условий их развития обеспечивает основу для прогнозирования последствий техногенного воздействия на растительные сообщества [1–5]. Состояние растительности городов в заметной мере зависит от эколого-геохимической обстановки, формирующейся под влиянием техногенеза на природную компоненту урболандшафтов, в результате в них могут формироваться различные геохимические аномалии, проявляющиеся главным образом в накоплении ряда технофильных элементов в депонирующих средах [6]. Изучение адаптационных реакций растений к техногенным условиям – одна из ключевых проблем дендрэкологии и, в частности, геохимии ландшафта. Адаптацию растений следует понимать в широком диапазоне. Прежде всего растения приспосабливаются к климатическим условиям (температуре и осадкам) – климатическая адаптация, к условиям питания – агрохимическая адаптация, к загрязнению среды – геохимическая адаптация. Каждый из этих видов адаптации при экстремальных условиях может приводить к изменению в растениях физиологического, биохимического и морфологического механизма. Нами рассматривается геохимическая адаптация древесных растений в условиях урболандшафтов, связанная со специфическим загрязнением промышленного генеза. В качестве индикаторов загрязнения среды в ходе геохимических исследований возможно использование морфологических и физиолого-биохимических параметров растений. В наших исследованиях было использовано содержание фотосинтетических пигментов. В связи с этим цель работы – исследование эколого-геохимической обстановки на территории города (на примере г. Гомеля) и сравнительная оценка содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений различных возрастных групп, произрастающих на отдельных его участках.

Материалы и методы исследования. При изучении эколого-геохимической обстановки в г. Гомеле основное внимание уделялось накоплению тяжелых металлов в верхних горизонтах почвенного покрова, как наиболее подверженных техногенному влиянию. С этой целью в 2015–2019 гг. на всей территории города была отобрана 71 смешанная проба почвы с глубины 5–15 см, которые в дальнейшем высушивали до воздушно-сухого состояния. Высушенные пробы просеивали через сито диаметром 1 мм, взвешивали и озоляли в муфельной печи при температуре 440–450 °С, после чего пробы охлаждали и определяли потерю при прокаливании. В дальнейшем пробы растирали до пудрообразного состояния, производили анализ на атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДДМ. В пробе определяли валовое содержание следующих элементов: Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti и Cr.

Выбор березы повислой *Betula pendula* Roth. в качестве исследуемого растительного объекта обусловлен широкой распространенностью растения в городских условиях. Пробы листьев березы повислой *Betula pendula* Roth. отбирали в окружении отдельных промышленных предприятий г. Гомеля, различающихся спецификой промышленного производства и соответственно уровнем техногенного влияния на состояние атмосферного воздуха. Такими предприятиями явились ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» (ОАО «ГЗЛиН») и Гомельская ТЭЦ-2, в выбросах которых содержатся ксилолы, сложные эфиры, бенз(а)пирен. Контрольными условиями явилась часть территории Национального парка «Припятский» (Хобненское лесничество), максимально приближенная к г. Гомелю и свободная от влияния промышленной деятельности и интенсивного транспорта.

Отбор листьев проводили в 2018 и 2019 гг. с отдельно стоящих деревьев (не менее 10 на каждой исследуемой территории) приблизительно одного возраста с высоты 1,5 м. Возраст деревьев оценивали путем определения диаметра ствола, который делили на среднегодовой прирост.

Для определения содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листовых пластинках березы повислой использовали спектрофотометр Shimadzu UV-2401 PC («Shimadzu», Япония). Для экстракции фотосинтетических пигментов применяли навески листьев, сырая масса которых составляла 30–40 мг. Экстракцию хлорофиллов и каротиноидов производили 99,5 %-ным ацетоном в трех биологических повторностях. Содержание пигментов в экстрактах рассчитывали с помощью коэффициентов экстинкции для соответствующего растворителя по формулам [7]:

$$C_a = 9,784D_{662} - 0,99D_{644}, \quad (1)$$

$$C_b = 21,426D_{644} - 4,650D_{662}, \quad (2)$$

$$C_a + C_b = 5,134D_{662} + 20,436D_{644}, \quad (3)$$

$$C_k = 4,695D_{440,5} - 0,268D_{a+b}, \quad (4)$$

где C_a , C_b , C_k – средняя концентрация хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в вытяжке листьев объектов исследования (мкг/мл); $D_{440,5}$, D_{644} , D_{662} – оптическая плотность при длинах волн 440,5, 644 и 662 нм.

Для пересчета содержания фотосинтетических пигментов на сырую массу использовали сырую массу навесок листьев и объем полученного фильтрата пигментов. Содержание пигментов представлено в мг/г сырой массы.

Результаты и их обсуждение. Результаты анализа на содержание тяжелых металлов в почве показали очень высокую вариабельность накопления Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti и Cr (табл. 1), коэффициенты вариации практически всех исследуемых элементов, за исключением Ti, превышают 100 % и могут характеризоваться как аномальные.

Подобная картина наблюдается за счет редких одиночных пиков накопления элементов, характерных в основном для промышленных зон, что указывает на вероятные источники загрязнения, достигающих почти 8-кратного превышения ПДК для Cr. Такая же ситуация отмечалась для почв г. Гомеля и другими исследователями [8]. В связи с наличием подобных

Таблица 1. Валовое содержание Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti и Cr в верхних горизонтах почв г. Гомеля

Показатель	Химические элементы, мг/кг воздушно-сухой почвы						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Среднее	12,7	11,3	269	3,5	1,5	988	37,8
Разброс значений	1,7–164,9	2,6–81,9	58–2372	0,4–26,8	0,16–30,91	203–2812	8,2–788,1
Среднее геометрическое	7,3	8,4	205	2,5	0,82	828	22,4
Медиана	6,0	7,6	225	2,3	0,87	921	21,4
Коэффициент вариации, %	194,9	116,1	111,1	123,1	246,9	60,0	257,2
ОАО «ГЗЛиН»	6,8	9,4	188,0	3,1	1,2	1091,0	24,2
ТЭЦ-2	4,1	4,9	263,0	2,2	0,5	1142,0	14,7
Фон [8]	13	12	247	20	–	1562	36
ПДК/ОДК [12]	33	32	1000	20	–	–	100

пиков, сильно выделяющихся из общего фона, отмечена высокая положительная асимметрия распределения всех элементов, поэтому среднее арифметическое для данной выборки не является достаточно характерным и для усреднения значений лучше использовать среднее геометрическое или медиану. Похожее расхождение отмечалось для почв других городов, где наблюдалось техногенное загрязнение почвенного покрова [9–11]. Для эколого-геохимической оценки техногенного накопления исследуемых элементов производилось сравнение с фоновыми значениями для почв Беларуси и с величинами ПДК/ОДК [12], для Cu и Ni в качестве ОДК принимался показатель для песчаных и супесчаных почв, суглинков среди отобранных образцов не обнаружено, помимо этого для титана и олова отсутствуют утвержденные величины ПДК/ОДК, а для олова не установлены данные по фону.

Среднее содержание меди в почвах г. Гомеля (12,7 мг/кг) очень близко к фоновому для почв республики (13 мг/кг), однако медианное (6,0) значение более чем в два раза ниже, показывая более реальное фоновое значения для города, что обусловлено распространением рыхлых аллювиальных и водно-ледниковых пород в пределах города, которые обычно обеднены микроэлементами. Превышение ОДК установлено для 7 % проб, наблюдается в западной и северной частях города. Для свинца (как и для меди) среднее содержание по городу (11,3 мг/кг) близко к фоновому (12 мг/кг), но медианное значение заметно ниже (7,6). Превышение величины ПДК установлено лишь в двух случаях и имеет явный техногенный характер, география накопления также схожа с медью.

Распределение марганца в почвах г. Гомеля отличается неравномерностью, среднее значение несколько превышает фоновое для республики, а медианное и среднее геометрическое, наоборот, меньше фонового, но различия между данными показателями заметно меньше, чем для Cu и Pb. Отмечено одиночное превышение ПДК на западе города.

Почвы г. Гомеля отличаются небольшим валовым содержанием никеля (в среднем 3,5 мг/кг), однако для двух проб (вблизи ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит» и РУП «Гомсельмаш») отмечено превышение ОДК, в целом в промышленных зонах его содержание более высокое, чем в жилых, характер накопления несколько схож со свинцом, что может указывать на влияние автотранспорта на загрязнение почв данным элементом.

Олово является явным технофильным элементом, однако отсутствие утвержденных нормативных документов затрудняет проведение эколого-геохимической оценки накопления данного элемента, при этом вполне очевидно, что высокие пики накопления в западной части города (30,9 и 9,18 мг/кг при среднем 1,5 мг/кг для города) имеют техногенную природу. Накопление хрома имеет определенное сходство с оловом, средняя концентрация (37,8 мг/кг) близка к фоновой для республики (36 мг/кг), однако медианное значение существенно ниже (21,4), что наблюдалось и для Cu и Pb, в двух пробах отмечено превышение ПДК, достигающее до 7,9 раза, накопление отмечается в западной части города вблизи промышленных объектов.

Для титана наблюдается принципиально иная картина накопления в почвах г. Гомеля, варьирование его содержания заметно меньше, среднее содержание ниже фонового для Беларуси. Элемент отличается заметной инертностью и низким влиянием на растительность, распреде-

ление его мозаичное и менее подвержено техногенному влиянию, чем у остальных исследуемых элементов. Содержание рассматриваемых элементов в почвах, отобранных в окружении ОАО «ГЗЛИН» и ТЭЦ-2, не превышало ПДК/ОДК; по марганцу вблизи ТЭЦ-2 – несколько превышало фоновую величину.

В стрессовых условиях растениями используется большое количество органических веществ, в накоплении которых большая роль принадлежит фотосинтетической системе. Система компенсирует стрессовое состояние растений, увеличивая при этом содержание пигментов фотосинтеза [13–15]. Наряду с увеличением содержания фотосинтетических пигментов при техногенном воздействии имеются данные результатов исследований о резком снижении их количества в клетках растений [16–25]. В наших исследованиях получено, что характер и уровень содержания хлорофиллов и каротиноидов в пробах листьев березы повислой, как показано в табл. 2 и 3, находится в определенной зависимости от их возраста.

Т а б л и ц а 2. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth. (материал 2018 г.)

Место отбора проб	Время отбора проб	Содержание пигментов, мг/г сырой массы			хлорофилл <i>a</i> хлорофилл <i>b</i>	хлорофилл (<i>a + b</i>) каротиноиды
		хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды		
До 20 лет						
Контроль	май	1,81±0,09	0,78±0,04	1,12±0,05	2,32	2,31
	июль	1,91±0,09	0,89±0,03	1,24±0,05	2,15	2,26
	сент.	1,74±0,08	0,62±0,02	1,19±0,06	2,81	1,98
ОАО «ГЗЛИН»	май	1,55±0,07*	0,59±0,02*	1,01±0,04*	2,63	2,12
	июль	1,26±0,05*	0,39±0,01*	0,81±0,03*	3,23	2,04
	сент.	1,65±0,07*	0,60±0,03	1,07±0,04*	2,75	2,10
ТЭЦ-2	май	1,90±0,08*	0,93±0,04	1,15±0,05*	2,04	1,71
	июль	1,17±0,05*	0,38±0,01*	0,79±0,03*	3,08	1,96
	сент.	1,87±0,08*	0,75±0,03*	1,15±0,05*	2,49	2,28
20–30 лет						
Контроль	май	1,78±0,08	0,68±0,02	1,12±0,05	2,62	2,20
	июль	1,89±0,07	0,82±0,03	1,15±0,04	2,30	2,36
	сент.	1,79±0,09	0,62±0,03	1,05±0,03	2,89	2,30
ОАО «ГЗЛИН»	май	1,34±0,06*	0,49±0,01*	0,94±0,04*	2,73	1,95
	июль	1,55±0,07*	0,59±0,02*	0,96±0,03*	2,63	2,23
	сент.	1,44±0,06*	0,45±0,01*	0,91±0,04*	3,20	2,08
ТЭЦ-2	май	1,62±0,07*	0,57±0,02*	1,01±0,04*	2,84	2,17
	июль	1,34±0,06*	0,53±0,02*	0,80±0,04*	2,53	2,34
	сент.	1,40±0,05*	0,57±0,03*	1,01±0,04*	2,46	1,95
Более 30 лет						
Контроль	май	1,58±0,07	0,64±0,02	1,02±0,04	2,47	2,18
	июль	1,94±0,08	0,92±0,04	1,19±0,05	2,11	2,40
	сент.	1,61±0,06	0,59±0,02	1,12±0,05	2,73	1,96
ОАО «ГЗЛИН»	май	1,18±0,06*	0,39±0,02*	0,78±0,03*	3,03	2,01
	июль	1,60±0,07*	0,61±0,02*	1,02±0,04*	2,62	2,17
	сент.	1,25±0,05*	0,40±0,02*	0,75±0,03*	3,13	2,20
ТЭЦ-2	май	1,10±0,06*	0,32±0,02*	0,68±0,03*	3,44	2,77
	июль	1,40±0,05*	0,54±0,02*	0,87±0,02*	2,59	2,23
	сент.	1,34±0,06*	0,49±0,01*	0,85±0,03*	2,73	2,15

Примечание. Здесь и далее в табл. 3 достоверные значения исследуемых показателей при $p \leq 0,05$ обозначены звездочкой (*).

Так, в листьях березы повислой, произрастающей в окружении ОАО «ГЗЛиН», на протяжении 2018 г. наблюдалась тенденция повышенного содержания пигментов фотосинтеза у представителей до 20 лет в мае и сентябре по сравнению с группой после 30 лет (табл. 2). В июле содержание пигментов, наоборот, было выше у представителей возрастной группы более 30 лет. Аналогичной особенностью характеризовалась береза повислая в зоне влияния промышленных выбросов ТЭЦ-2 и контроле (табл. 2). Это свидетельствует о том, что в начале вегетационного периода и при его завершении наиболее активные процессы образования фотосинтетических пигментов происходили у представителей возрастной группы до 20 лет. В середине периода вегетации, на этапе максимальной физиологической активности растений этот процесс был более интенсивным в группе деревьев, которым более 30 лет. Возможно это связано с более стабильной фотосинтетической активностью хлоропластов у растений этой возрастной категории.

В 2019 г. сезонная динамика содержания пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой, произрастающей на исследуемых территориях, характеризовалась различными направлениями: у деревьев, произрастающих в окружении ОАО «ГЗЛиН», в мае наблюдалось повышенное содержание пигментов в возрастной группе до 20 лет по сравнению с группой после 30 лет, а далее – в июле и сентябре происходило снижение уровня пигментов у молодых представителей (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth. (материал 2019 г.)

Место отбора проб	Время отбора проб	Содержание пигментов, мг/г сырой массы			хлорофилл а хлорофилл b	хлорофилл (a + b) каротиноиды
		хлорофилл а	хлорофилл b	каротиноиды		
До 20 лет						
Контроль	май	2,34±0,10	0,61±0,01	1,32±0,05	3,80	2,08
	июль	1,75±0,08	0,87±0,03	1,26±0,05	2,02	2,08
	сент.	2,27±0,10	0,95±0,04	1,13±0,05	2,38	2,84
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,60±0,07*	0,68±0,02*	1,01±0,03*	2,35	2,26
	июль	1,27±0,05*	0,41±0,01*	0,80±0,03*	3,10	2,10
	сент.	1,51±0,07*	0,52±0,03*	0,86±0,03*	2,90	2,36
ТЭЦ-2	май	1,85±0,08*	0,77±0,02*	1,20±0,05*	2,40	2,18
	июль	1,58±0,07*	0,56±0,03*	1,06±0,04*	2,82	2,02
	сент.	1,84±0,08*	0,72±0,04*	1,18±0,05*	2,56	2,48
20–30 лет						
Контроль	май	1,63±0,06	0,40±0,01	0,96±0,04	4,07	1,78
	июль	2,14±0,10	0,90±0,03	1,16±0,05	2,39	1,15
	сент.	2,04±0,09	0,86±0,03	1,19±0,05	2,39	2,44
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,44±0,06*	0,76±0,03*	0,87±0,03*	1,89	2,53
	июль	1,25±0,05*	0,40±0,01*	0,75±0,03*	3,13	2,20
	сент.	1,38±0,06*	0,40±0,01*	0,74±0,03*	3,41	2,41
ТЭЦ-2	май	1,44±0,06*	0,59±0,02	0,89±0,03*	2,46	2,27
	июль	1,41±0,06*	0,54±0,01*	0,92±0,05*	2,61	2,12
	сент.	1,61±0,07*	0,58±0,02*	0,96±0,04*	2,77	2,31
Более 30 лет						
Контроль	май	1,65±0,05	0,78±0,03	1,05±0,04	2,13	2,30
	июль	1,86±0,08	0,83±0,03	0,81±0,02	2,38	2,35
	сент.	1,85±0,08	0,75±0,03	1,06±0,04	2,46	2,45
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,37±0,06*	0,51±0,02*	0,85±0,08*	2,66	2,21
	июль	1,54±0,07*	0,53±0,02*	1,01±0,04*	2,91	1,11
	сент.	1,63±0,07*	0,49±0,01*	0,82±0,03*	3,32	2,59
ТЭЦ-2	май	1,40±0,06*	0,56±0,02*	0,89±0,03*	2,50	2,20
	июль	1,32±0,06*	0,49±0,02*	0,88±0,03*	2,69	2,06
	сент.	1,02±0,04*	0,28±0,01*	0,68±0,02*	3,64	3,09

Можно предположить, что на уровень фотосинтетических пигментов этой возрастной категории в течение периода вегетации оказало влияние более высокое содержание бутилацетата в выбросах ОАО «ГЗЛиН» в 2019 г. по сравнению с 2018 г.

У березы повислой, произрастающей в окружении ТЭЦ-2 и в контроле, наблюдалось повышенное содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях представителей возрастной группы до 20 лет на протяжении всего периода вегетации, за исключением контрольной территории в июле 2019 г. Такая закономерность повышенного количества пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой возрастной категории до 20 лет в мае и сентябре 2019 г. была аналогичной тенденции, которая наблюдалась в 2018 г. на изучаемых территориях.

Что касается изменений в содержании пигментов фотосинтеза на протяжении вегетационного периода с мая по сентябрь, то в 2018 г. у березы повислой возрастной группы после 30 лет наблюдалась тенденция роста содержания пигментов в сентябре по сравнению с маем на всех исследуемых территориях. В 2019 г. представители группы до 20 лет характеризовались повышенным количеством пигментов в мае по сравнению с сентябрем, что можно объяснить естественным разрушением пигментов по мере старения листьев. В остальных вариантах для какой-либо одной возрастной группы на всех исследуемых территориях такая тенденция выявлена не была.

В результате сравнения данных по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой из контрольных условий и исследуемых промышленных предприятий получено, что в большинстве вариантов количество пигментов в контроле достоверно выше. Исключение составило содержание хлорофилла *a* и *b* в возрастной группе до 20 лет в условиях воздействия выбросов ТЭЦ-2 в сентябре 2018 г. и каротиноидов – в 2019 г., а также всех пигментов – в мае 2018 г. При этом наиболее интенсивное превышение содержания пигментов контрольных значений (в 1,26 раза) было характерно для хлорофилла *b* в мае 2019 г. у березы в группе до 20 лет, произрастающей вблизи ТЭЦ-2. Максимальное снижение содержания пигментов по сравнению с контролем в 1,56–2,68 раза наблюдалось в сентябре 2019 г. у березы повислой в группе после 30 лет вблизи ТЭЦ-2, а минимальное – в 1,10–1,26 раза в мае 2019 г. в группе до 20 лет на этой же территории.

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о наличии достоверных различий между выборками значений количества пигментов березы повислой в контроле и вблизи промышленных предприятий ($F_{\text{факт}}(1, 16) = 23,14 \div 421,78$; $F_{\text{крит}}(1, 16) = 4,49$ при $p \leq 0,05$).

В целом если сравнивать условия произрастания древесных растений на двух исследуемых территориях, то за исследуемый период у березы повислой в большинстве вариантов наблюдалось более низкое содержание пигментов фотосинтеза по сравнению с контрольной территорией в пробах, отобранных вблизи ОАО «ГЗЛиН». С учетом отсутствия превышений тяжелых металлов ПДК/ОДК на данной территории, можно предположить, что негативное влияние на состояние растительности оказывают выбросы в атмосферный воздух, содержащие в своем составе такие летучие органические соединения, как о-ксилол и бутилацетат.

Выводы. По результатам эколого-геохимической оценки условий произрастания растительности на территории г. Гомеля можно отметить техногенное загрязнение тяжелыми металлами почв промышленных зон на западе и севере г. Гомеля, имеющее точечный характер с единичными случаями превышения ПДК/ОДК, что может привести к негативному влиянию на древесную растительность. В восточной и южной частях города содержание исследуемых элементов пониженное, при этом местами растения могут испытывать недостаток микроэлементов (Cu, Mn, Ni, Cr).

При исследовании содержания фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей вблизи ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2, получено, что представители возрастной категории до 20 лет характеризовались тенденцией повышенного количества хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с группой после 30 лет в мае и сентябре, тогда как в июле происходило снижение их количества. Кроме того, представители группы до 20 лет характеризовались повышенным количеством пигментов в мае по сравнению с сентябрем, а груп-

пы после 30 лет, наоборот, в сентябре по сравнению с маем. В целом в большинстве вариантов наблюдалось более низкое содержание пигментов фотосинтеза по сравнению с контрольной территорией в пробах, отобранных вблизи ОАО «ГЗЛН». С учетом отсутствия превышений тяжелых металлов ПДК/ОДК на данной территории, можно предположить, что негативное влияние на состояние растительности оказывают выбросы в атмосферный воздух, содержащие в своем составе такие летучие органические соединения, как о-ксилол и бутилацетат. Полученные результаты подтверждают возможность использования содержания фотосинтетических пигментов отдельных древесных растений для индикации загрязнения атмосферного воздуха.

Список использованных источников

1. Неверова, О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера. – 2009. – № 1. – С. 82–92.
2. Ларионова, Н. Л. Устойчивость растений к загрязнению почвы углеводородами и эффект фиторемедиации: автореф. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Н. Л. Ларионова; Казан. гос. ун-т им. В. И. Ульянова-Ленина. – Казань, 2005. – 24 с.
3. Терлеева, П. С. Индикаторная роль рудеральных растений в оценке антропогенной загрязненности урбанизированных территорий: автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / П. С. Терлеева; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2011. – 18 с.
4. Турмухаметова, Н. В. Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth. и *Tilia cordata* Mill. в условиях городской среды: автореф. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Н. В. Турмухаметова; Марийский гос. ун-т. – Новосибирск, 2005. – 20 с.
5. Нефедова, Т. А. *Betula pendula* Roth. как объект биологического мониторинга городской среды: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Т. А. Нефедова; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2003. – 132 л.
6. Zhoomar, P. The geochemistry of technogenic landscapes: theory and practice / P. Zhoomar, A. Karpichenka, M. Chartko // Methodology of landscape research: Dissertations Commission of Cultural Landscape. – Sosnowiec, 2008. – N 9. – P. 170–190.
7. Lichenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry / H. K. Lichenthaler, C. Buschmann. – New York: John Wiley and Sons, 2001. – F 4.3.1–F 4.3.8.
8. Петухова, Н. Н. Кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н. Н. Петухова, В. А. Кузнецов // Докл. Акад. наук Беларуси. – 1992. – Т. 26, № 5. – С. 461–465.
9. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск: Минсктиппроект, 2004. – 260 с.
10. Карпиченко, А. А. Геохимическая оценка почв и растительности г. Молодечно / А. А. Карпиченко, Н. К. Черток, А. С. Семенюк // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. – 2018. – № 1. – С. 21–29.
11. Урболандшафты г. Пинска: классификация, эколого-геохимическая оценка, способы оптимизации / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Вестн. Бел. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География. – 2015. – № 3. – С. 70–75.
12. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. – Минск, 2004.
13. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров / П. Духовский [и др.] // Физиология растений. – 2003. – № 2. – С. 165–173.
14. Shashurin, M. M. Analysis of adaptive capacities of plants in zone of technogenic impact / M. M. Shashurin, A. N. Zhuravskaya // Rus. J. of Ecology. – 2007. – N 2. – P. 85–89.
15. Корнилов, А. Л. Биохимические показатели и содержание тяжелых металлов в растениях береговой линии водоемов г. Тюмени в условиях антропогенного загрязнения: автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / А. Л. Корнилов; Тюмен. гос. ун-т. – Тюмень, 2014. – 16 с.
16. Савинцева, Л. С. Экологический анализ адаптивных механизмов растений в урбанизированной среде: автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Л. С. Савинцева; Вят. гос. с.-х. акад. – Петрозаводск, 2015. – 23 с.
17. Двоеглазова, А. А. Эколого-биологические особенности древесных и травянистых растений в насаждениях урбаноэкосистемы крупного промышленного центра (на примере г. Ижевска): автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / А. А. Двоеглазова; Ижевская гос. с.-х. акад. – Уфа, 2009. – 21 с.
18. Photosynthetic response of maize plants against cadmium and paraquat impact / Chaneva G. [et. al] // Water, Air and Soil Pollut. – 2010. – N 1–4. – P. 287–293.
19. Гулиев, Р. Б. Оценка содержания хлорофилла в растениях, подвергнутых антропогенному воздействию, спектрометрическим методом / Р. Б. Гулиев, Б. М. Азизов, А. А. Аббасзаде // Оптика и спектроскопия. – 2009. – № 3. – С. 514–517.
20. Заплатин, Б. П. Биотестирование атмосферных загрязнений по содержанию хлорофилла и активности полифенолоксидазы / Б. П. Заплатин // Изв. ПГПУ. – 2008. – № 10. – С. 82–87.
21. Effects of cadmium stress on photosynthetic leaf activity *Lemna minor* / Zhang Jian-ping [et al.] // J. Agro-Environ. Sci. – 2007. – N 6. – P. 2027–2032.
22. Effect of Pb, Zn and their interaction on chlorophyll content and antioxidant protective system in *Houttuynia cordata* / Li Zheng-Zheng [et al.] // Acta ecol. sin. – 2007. – N 12. – P. 5441–5446.
23. Shi-sheng Ki. Effect of copper on the photosynthesis and oxidative metabolism of *Amaranthus tricolor* seedlings / Ki Shi-sheng // Agr. Sci. China. – 2007. – N 10. – P. 1182–1192.
24. Терек, О. І. Фотосинтетичні пігменти рослин *Carex hirta* L. за умов нафтового забруднення ґрунту / О. І. Терек, Н. М. Джур, О. М. Цвілінюк // Физиол. и биохимия культ. р-ний. – 2008. – № 3. – С. 238–244.
25. Влияние тяжелых металлов на фотосинтетический аппарат и антиоксидантный статус элодеи / М. Г. Малева [и др.] // Физиология растений. – 2012. – № 2. – С. 216–224.

Поступила 28.05.2020

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ**CLIMATIC RESOURCES****КЛИМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ**

УДК 551.583

В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: m.a.hitrykau@gmail.com***ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УВЛАЖНЕНИЯ
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В 1955–2019 гг.**

Аннотация. На основе среднесуточных данных по количеству осадков и приземной температуре воздуха, а также месячным значениям числа ясных дней и среднего балла общей облачности за период 1961–2019 гг. оценены изменения влажностного режима территории Беларуси и изменения засушливости климата. Рассматриваются пространственно-временные изменения количества осадков за год и отдельные сезоны, экстремальности выпадения осадков, степени покрытия облаками и гидротермического коэффициента по Г. Т. Селянинову (ГТК). С помощью метода спектрального сингулярного анализа исследована временная структура временных рядов значений количества осадков, облачности и ГТК за период 1955–2019 гг. Установлено, что в условиях современного потепления климата (1991–2019 гг.) среднее количество осадков на территории Беларуси выросло до 650 мм, что на 2–2,5 % выше, чем в предшествующий период (1961–1990 гг.). Наибольший прирост количества осадков отмечался в зимне-весенний период (прирост 8–10 %), а летом происходило сокращение количества осадков. Темпы прироста количества осадков в 5–6 раз ниже темпов повышения средней температуры. Экстремальность выпадения осадков выросла; наибольший прирост наблюдается в 1991–2019 гг. для числа случаев сильных ливней (числа дней с осадками более 10 и 20 мм/день). Период 1991–2019 гг. характеризовался повышением степени покрытия облаками, которое наиболее наглядно иллюстрируется уменьшением числа ясных дней. Изменения значений ГТК показывают, что усиление засушливости климата наблюдается на всей территории Беларуси. Среднее значение ГТК для периода 1991–2019 гг. составило 1,33, что на 0,11 ниже, чем для предыдущего периода. В настоящее время для трети территории Беларуси, преимущественно Полесья и прилегающих регионов, характерно недостаточное увлажнение (средние значения ГТК ниже 1,3).

Ключевые слова: изменения климата, осадки, общая облачность, число ясных дней, ГТК по Г. Т. Селянинову, пространственное распределение, засушливость климата

V. F. Loginov, M. A. Khitrykau*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: m.a.hitrykau@gmail.com***CHANGES IN HUMIDIFICATION CHARACTERISTICS ON THE TERRITORY OF BELARUS IN 1955–2019**

Abstract. This paper investigates the changes in humidification characteristics and aridity of climate in Belarus during the period from 1961 to 2019 on the base of average daily values of rainfall, air temperature and monthly values of number of clear days and average cloudiness. The parameters analyzed included yearly and seasonal precipitation, extremity of precipitation, total cloud cover and hydrothermic coefficient by G. T. Selyaninov (HTC). Temporal structure of precipitation, cloud cover and HTC data series for 1955–2019 was analyzed using Spectral Singular Analysis (SSA). Average yearly precipitation amount in Belarus in 1991–2019 increased to 650 mm, which is 2–2.5 % higher than average amount for 1961–1990. The most significant increase in precipitation amount has been observed in winter and spring months (8–10 % in average); in summer total precipitation amount has decreased. Precipitation growth rate appeared to be 5–6 times lower than temperature growth rate. Extremity of precipitation has increased; most significant increase has been observed in number of heavy rains in 1991–2019 (total precipitation amount of 10 and 20 mm/day). Total cloud cover on the territory of Belarus has increased in 1991–2019. Changes in number of clear days illustrate this better than actual characteristics of cloudiness. Changes in HTC values show that aridity of climate increases in all regions of Belarus. Average HTC value for the territory of Belarus in 1991–2019 is 1.33, which is lower than average for 1961–1990 by 0.11. By this time, about a third of the country, predominantly Polesie and surrounding regions, has insufficient water supply (average HTC values are below 1.3).

Keywords: climate change, precipitation, total cloud cover, number of clear days, HTC by G. T. Selyaninov, spatial distribution, aridity of climate

У. Ф. Логінаў, М. А. Хітрыкаў*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: m.a.hitrykau@gmail.com***ЗМЯНЕННЕ ХАРАКТАРЫСТЫК УВІЛЬГАТНЕННЯ НА ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ ў 1955–2019 гг.**

Анатацыя. На падставе сярэднясутачных дадзеных па колькасці ападкаў і прыземнай тэмпературы паветра, а таксама месячным значэнням колькасці ясных дзён і сярэдняга бала агульнай воблачнасці за перыяд 1961–2019 гг. ацэнены змяненні рэжыму ўвільгатнення тэрыторыі Беларусі і засушлівасці клімату. Разгледжваюцца прасторава-

часавыя змяненні колькасці ападкаў за год і асобныя сезоны, экстрэмальнасць выпадзення ападкаў, ступені пакрыцця аблокамі і гідратэрмічнага каэфіцыенту па Г. Т. Селянінаву (ГТК). З дапамогай метаду сігулярнага спектральнага аналізу даследавана структура часавых радоў значэнняў колькасці ападкаў, воблачнасці і ГТК за перыяд 1955–2019 гг. Выяўлена, што ва ўмовах сучаснага пацяплення клімату (1991–2019 гг.) сярэдняя колькасць ападкаў у Беларусі вырасла да 650 мм, што на 2–2,5 % вышэй, чым у папярэдні перыяд (1961–1990 гг.). Найбольшы прырост колькасці ападкаў быў адзначаны ў зімне-вясенні перыяд (прырост 8–10 %), а летам адбывалася змяншэнне колькасці ападкаў. Тэмпы прыросту колькасці ападкаў былі ў 5–6 разоў меншыя за тэмпы павышэння сярэдняй тэмпературы. Экстрэмальнасць выпадзення ападкаў павялічылася; найбольшы прырост быў уласцівы колькасці выпадкаў моцных ліўняў у 1991–2019 гг. (колькасці дзён з ападкамі больш за 10 і 20 мм/дзень). Перыяд 1991–2019 гг. таксама характарызаваўся павялічваннем ступені пакрыцця аблокамі, якое найбольш выразна ілюструе змяншэнне колькасці ясных дзён. Змяненні значэнняў ГТК паказваюць, што ўзмацненне засушлівасці клімату назіраецца на ўсёй тэрыторыі Беларусі. Сярэдняе значэнне ГТК за перыяд 1991–2019 гг. склала 1,33, што на 0,11 менш, чым для папярэдняга перыяду. На сёняшні дзень каля 1/3 тэрыторыі Беларусі, пераважна Палессе і сумежныя рэгіёны, характарызуецца недастатковым увільгатненнем (сярэднія значэнні ГТК менш за 1,3).

Ключавыя словы: змены клімату, ападкаў, агульная воблачнасць, колькасць ясных дзён, ГТК па Г. Т. Селянінаву, прасторавае размеркаванне, засушлівасць клімату

Введение. Положительный эффект современных изменений климата проявляется прежде всего в повышении теплообеспеченности территории страны. По сравнению с предыдущим (1961–1990 гг.) в последнее тридцатилетие (1991–2019 гг.) средние значения сумм активных температур выше 10 °C выросли на 350–450 °C [1], что соответствует их повышению на 15–18 %. В течение периода 1991–2019 гг. среднегодовые значения температуры в абсолютном большинстве случаев превышали норму на 1–1,5 °C и более [2]. Повышение теплообеспеченности благоприятно сказывается на развитии сельского хозяйства, позволяет расширить видовой и сортовой состав выращиваемых культур (в частности, ввести более урожайные поздние сорта), способствует сокращению отопительного сезона и расходов топлива и тем самым облегчает нагрузку на коммунальное хозяйство. Отрицательный аспект современных изменений климата связан с тем, что одновременно с ростом температур в Беларуси растет засушливость климата. Среднее количество осадков за период 1991–2019 гг. превышает аналогичное значение за период 1961–1990 гг., однако относительная величина прироста незначительна: 2–2,5 %. Темпы прироста температуры оказались несоразмерно больше темпов прироста количества осадков. В результате общие влагозапасы территории Беларуси сокращаются.

Данные последних исследований показывают, что усиление засушливости становится главной проблемой изменений климата на территории Беларуси. Повторяемость и продолжительность засушливых периодов за время современного потепления климата растет [3], что в совокупности с повышением средних температур приближает климат Беларуси к климату лесостепей и степей [4]. Изменяется также и режим выпадения осадков: число дней с ливнями и само количество ливневых осадков в период современного потепления климата увеличилось [1, 5, 6]. Главный негативный аспект подобных изменений связан с тем, что ливневые осадки не способствуют пополнению запасов почвенной влаги, так как большая часть выпавшей влаги расходуется на поверхностный сток. Наиболее наглядной характеристикой совокупных влагозапасов территории является параметр TWS (Terrestrial Water Storage), который рассчитывается на основании данных спутниковых наблюдений за изменением гравитационного поля Земли в рамках проекта GRACE [7]. Он включает в себя информацию о грунтовой, поверхностной и атмосферной влаге; наблюдения охватывают период с 2002 г. Согласно данным наблюдений, для территории Беларуси характерна отрицательная тенденция изменений значений TWS, которая существенно усилилась в 2010-е годы [8]. Прогноз изменения климата Беларуси в ближайшем будущем предусматривает дальнейшее усиление засушливости [9, 10]. Наибольшую проблему это представляет для сельского хозяйства страны. Данные наблюдений [8] показывают, что на обрабатываемых землях Беларуси негативные эффекты изменений климата в виде усиления засушливости преобладают над положительными эффектами в форме повышения теплообеспеченности, что ставит под вопрос дальнейшее успешное развитие сельского хозяйства.

В этой связи анализ пространственно-временных изменений характеристик увлажнения территории является важнейшей задачей для развития климатозависимых отраслей экономики. В качестве показателей увлажнения были рассмотрены среднегодовое количество осадков,

сезонные осадки, а также осадки за теплый, и холодный периоды года, число дней с осадками более 5, 10 и 20 мм/день и количество осадков в дни зимних оттепелей. В качестве интегрального показателя степени увлажненности территории использовался гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову (ГТК) [11]. Кроме того, были проанализированы изменения облачности и числа ясных дней за весь год и теплый, и холодный периоды, которые позволяют получить более полное представление об изменении атмосферной циркуляции и режима выпадения осадков. Оценивались изменения средних значений параметров на метеорологических станциях, а также особенности пространственных изменений («сдвигов») изогий.

Методы и использованные данные. Информационной базой для исследования стали данные суточного разрешения по количеству осадков и приземной температуре, а также данные месячного разрешения по величине облачности и числу ясных дней на 48 метеорологических станциях Беларуси за период с 1961 по 2019 г., предоставленные Республиканским гидрометцентром. Для анализа использовались данные с продолжительными рядами наблюдений. Станции Мстиславль, Дрогичин, Любань, Щучин, Толочин, Колодищи и Самохваловичи были исключены из анализа в силу малой продолжительности периода наблюдений.

Особенности временной структуры изменений количества осадков, облачности и ГТК были изучены с помощью метода сингулярного спектрального анализа (Singular Spectrum Analysis), также известного как «метод гусеницы» [12]. Он основан на получении выборки для скользящих отрезков заданной длины из исходного временного ряда. Этот метод позволяет разложить исходный временной ряд на элементарные составляющие и определить цикличность их изменений. В данной работе с помощью метода сингулярного спектрального анализа исследованы ряды средних значений годового количества осадков, количества осадков за холодный период года, среднегодовой облачности и ГТК по территории Беларуси за период 1955–2019 гг. Количество осадков в холодный период года рассматривалось отдельно, так как оно теснее всего связано с изменениями величины облачности и интенсивностью циклогенеза в Северной Атлантике [3, 4]. Для реализации анализа на основе «метода гусеницы» использовались средства системы математического моделирования *MatLab* [13] и языка программирования *Python* [14, 15]. Они позволяют выделить 9 и 3 элементарных составляющих временных рядов соответственно.

С целью оценки масштабов климатических изменений за весь период современного потепления в настоящей работе в качестве основных сравнительных периодов рассматриваются период 1961–1990 гг., который раньше использовался для вычисления значений климатических норм [16], и период 1991–2019 гг., являющийся репрезентативным для характеристики современного потепления климата.

Результаты и их обсуждение

Количество осадков. Характерной чертой пространственного распределения осадков является его высокая неоднородность, что обусловлено влиянием большого числа естественных и антропогенных факторов: атмосферной циркуляции, особенности подстилающей поверхности, степень урбанизации территории и др. В связи с этим распределение количества осадков характеризуется большим числом локальных максимумов и минимумов (рис. 1). Это наиболее выразительно проявляется в характере распределения годового количества осадков (рис. 1, а, б).

В течение периода, предшествовавшего современному потеплению климата, наименьшее среднегодовое количество осадков отмечается на станции Брагин, а наибольшее – на станции Лынтупы. Разность между ними превышает 240 мм. Среднее по территории страны количество осадков составляет 637 мм; его величина увеличивается при продвижении с юго-востока на северо-запад. На отдельных станциях, например в Житковичах, формируются локальные максимумы осадков (рис. 1, а), но в целом зависимость от степени континентальности климата прослеживается достаточно четко. В течение периода современного потепления климата среднее по республике годовое количество осадков увеличивается до 652 мм (прирост 15 мм).

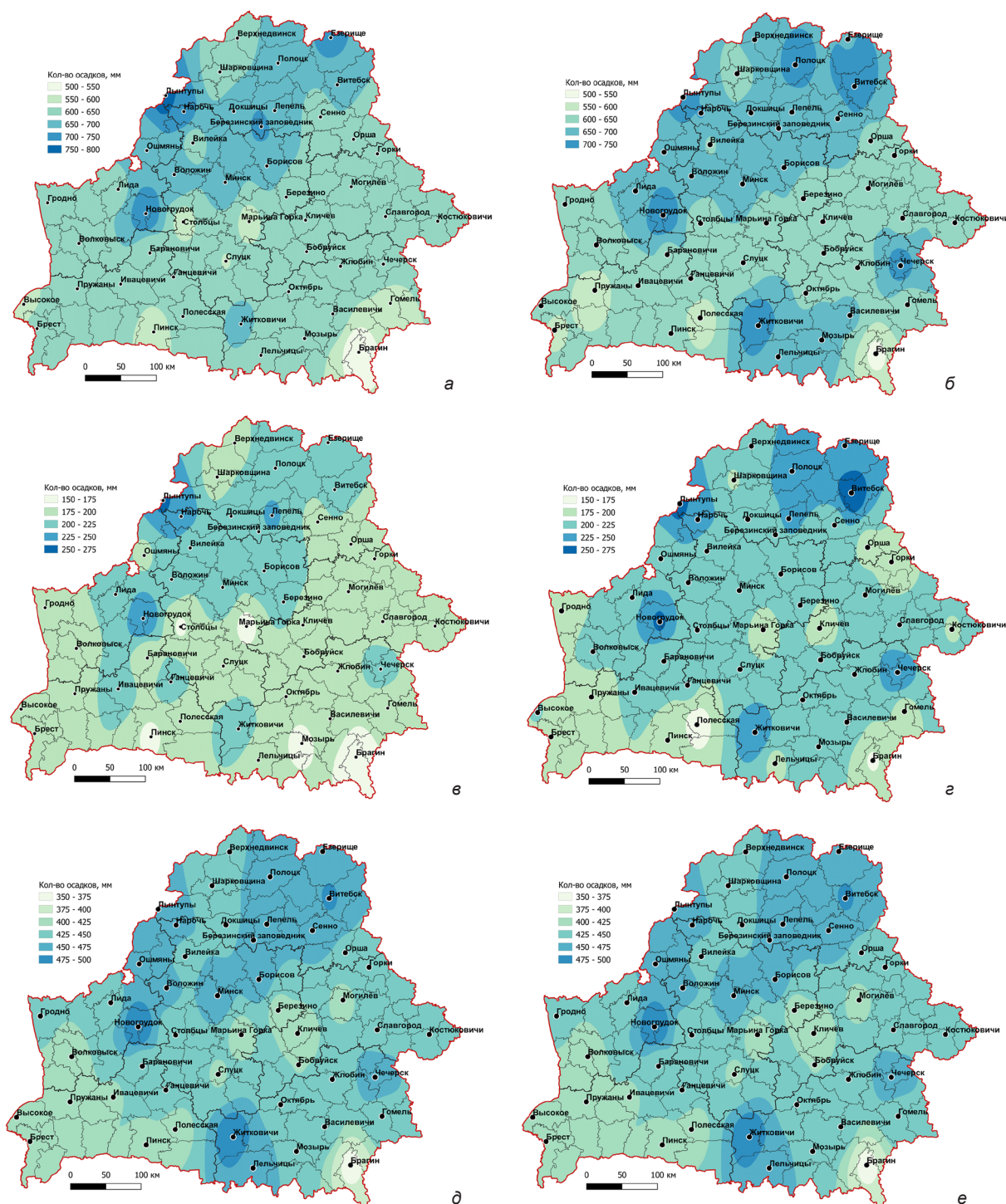


Рис. 1. Среднее количество осадков за год (а, б), холодный (в, г) и теплый (д, е) периоды года в периоды 1961–1990 гг. (а, в, д) и 1991–2019 гг. (б, г, е)

Брагин остается станцией с наименьшим среднегодовым количеством осадков, а станцией с наибольшим среднегодовым количеством осадков становится Новогрудок. Разность между ними составляет 200 мм. При этом на многих других станциях юго-восточной Беларуси годовое количество осадков существенно возрастает и становится сопоставимым с северо-западной Беларусью. Поступление атмосферной влаги на юго-западную и западную части Беларуси сокращается. Подобные перемены связаны с изменением путей циклонов в период современного

потепления климата, а также повышением повторяемости и продолжительности засушливых периодов, связанных с блокирующими антициклонами [3, 4, 17]. Кроме того, в теплый период года важную роль сыграли изменения местных факторов осадкообразования: испарение и конвекция [3, 17]. Высокая пятнистость пространственного распределения величины годового количества осадков не позволяет сделать системных выводов о «сдвиге» изогий на территории Беларуси.

Пространственное распределение количества осадков за холодный период года отличается меньшей пространственной неоднородностью, что объясняется большими масштабами циклогенеза в это время. На протяжении всего рассматриваемого периода (1961–2019 гг.) разность между максимальным и минимальным среднегодовым количеством осадков сохраняется на уровне 100 мм, при этом среднее количество осадков возрастает от 199 мм в 1961–1990 гг. до 210 мм в 1991–2019 гг. Прирост количества осадков хорошо просматривается на картах (рис. 1, в, г): в период до начала современного потепления климата изогия значений >200 мм охватывала около 1/3 всей территории Беларуси, а в настоящее время она охватывает почти 3/4 территории страны. Это свидетельствует о ее сдвиге на 200–250 км на юго-восток. Увеличение количества осадков в холодный период года связано в первую очередь с усилением циклонической активности в период современного потепления климата [3, 4].

В теплый период года важным фактором, определяющим общее количество осадков, являются местные процессы осадкообразования. В связи с этим пространственное распределение осадков в этот период отличается высокой пространственной неоднородностью. Размер и положение локальных экстремумов менялись на протяжении рассматриваемого периода: период 1961–1990 гг. характеризовался большим числом мелких локальных экстремумов и расположением области максимальных значений осадков на севере и северо-западе Беларуси, где в рельефе преобладают возвышенности. Области минимальных значений осадков были приурочены к низменностям юга Беларуси. В 1991–2019 гг. число локальных экстремумов осадков сократилось, однако их пространственные масштабы увеличились. Сформировались три больших максимума осадков на северо-западе, северо-востоке и юге (окрестности станции Житковичи) Беларуси. Наибольшая область минимальных значений осадков образовалась на юго-западе страны (рис. 1, д, е). Прирост количества осадков за 1991–2019 гг. относительно периода 1961–1990 гг. составил всего 4 мм. При этом важно отметить, что этот прирост обеспечивался за счет повышения количества осадков весной и осенью. Повторяемость и продолжительность засушливых периодов с конца 1990-х до начала 2010-х годов оказались наиболее существенными в летний период.

Главной особенностью пространственного распределения количества осадков за зимний период является относительно низкая пространственная неоднородность. Число локальных экстремумов осадков невелико и их площадь очень мала. Причина этого заключается в том, что при сокращении рассматриваемого периода года сокращается и количество факторов, влияющих на количество осадков. Разность между максимальным и минимальным количеством осадков за сезон на территории страны достаточно велика и составляет 70 мм (в период 1991–2019 гг. возрастает до 75 мм), что связано с неустойчивостью погоды в зимний период в Беларуси, усилившейся в период современного потепления климата. Среднее количество осадков в зимний период в 1991–2019 гг. возросло на 9 мм относительно периода 1961–1990 гг. и составило 125 мм. В период до начала современного потепления климата области с количеством осадков более 125 мм представляли собой отдельные изолированные экстремумы, сосредоточенные преимущественно в северо-западной части страны. В 1991–2019 гг. изогия >125 мм продвинулась на 100–150 км на юг и юго-восток, образовав сплошную зону на северо-западе страны и крупные отдельные экстремумы на юго-востоке (рис. 2, а, б).

Наиболее выразительные изменения характера выпадения осадков произошли в весенний период. Во-первых, в 1991–2019 гг. разность между максимальным и минимальным количеством осадков за сезон сократилась до 45 против 75 мм, характерных для периода 1961–1990 гг. Во-вторых, среднее количество осадков в период современного потепления климата выросло

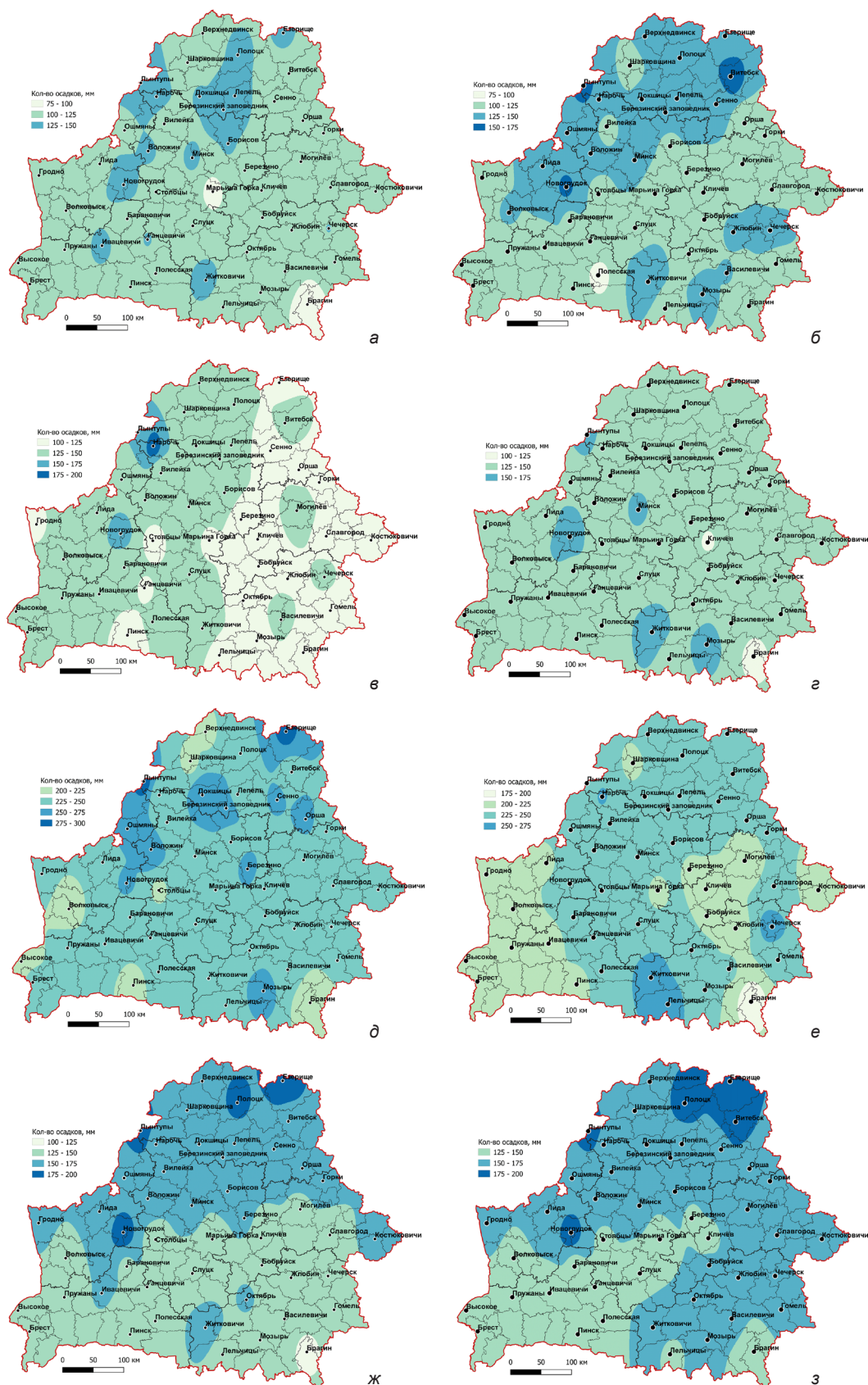


Рис. 2. Среднее количество осадков за календарные зиму (а, б), весну (в, г), лето (д, е) и осень (ж, з) в периоды 1961–1990 гг. (а, в, д, ж) и 1991–2019 гг. (б, г, е, з)

на 13 мм и составило 141 мм. Изогиета >125 мм продвинулась более чем на 300 км на запад – область со средним количеством осадков >125 мм занимает практически всю территорию Беларуси (рис. 2, в, г). Это позволяет говорить о том, что характер выпадения осадков в Беларуси в весенний период стал существенно равномернее. Причина этого заключается в повышении циклонической активности в холодный период года (март) и более раннего начала активных конвекционных процессов местного осадкообразования, характерных для летнего периода, из-за смещения сроков начала климатического лета на более ранний срок [3, 17, 18].

Усиление засушливости, отмечающееся в современный период климата, наиболее выразительно проявляется в летний период, что связано с повышением средних температур и продолжительности засушливых периодов по причине более частых случаев блокирующих антициклонов и снижения циклонической активности в целом [3, 4]. Среднее количество осадков за летний период снизилось с 240 мм в 1961–1990 гг. до 229 мм в 1991–2019 гг. Изогиета значений осадков <225 мм продвинулась на 70–100 км на восток; сформировались большие области пониженных значений осадков на западе Беларуси, а также в центральной части Могилевской и Гомельской областей (рис. 2, д, е). Разность между максимальным и минимальным количеством осадков за сезон на протяжении рассматриваемого периода сохранялась на уровне 75–80 мм.

Характер изменений количества осадков в осенний период существенно отличается в западной и восточной Беларуси. На протяжении всего рассматриваемого периода в западной части Беларуси не происходило значимых изменений, а в восточной Беларуси в 1991–2019 гг. произошло смещение изогиеты >150 мм на ~ 200 км (рис. 2, ж, з). Наиболее вероятной причиной этого является смещение на восток преобладающей траектории циклонов в период современного потепления климата. Вследствие этих изменений среднее количество осадков в осенний период выросло на 4 мм и составило 157 мм, а разность между максимальным и минимальным количеством осадков за сезон сократилась на 10 мм.

Разложение временных рядов средних по территории Беларуси значений количества годовых осадков и осадков за холодный период года с помощью метода спектрального сингулярного анализа показало, что в структуре выделенных элементарных компонент преобладают короткопериодные колебания продолжительностью около 2 лет. Их амплитуда модулируется долгопериодными колебаниями более низкой частоты. Согласно анализу в системе *MatLab*, в структуре сглаженных реконструированных временных рядов среднегодового количества осадков обнаруживается квазидвадцатидвухлетняя цикличность (рис. 3, а, б), которая становится менее выраженной после 1990 г. В структуре сглаженного временного ряда количества осадков в холодный период года четко прослеживается квазиодиннадцатилетний цикл, однако в 1991–2019 гг. он существенно ослабевает, и в структуре временного ряда начинает проявляться квазипятилетний цикл (рис. 3, в, г). Средствами анализа языка Python в изменениях количества осадков в холодный период года обнаруживается квазишестидесятилетняя цикличность в главной элементарной компоненте (рис. 3, д). Необходимо отметить, что ни одна из выделенных элементарных компонент временного ряда среднегодового количества осадков не объясняет более 3 % всей дисперсии ряда за 1955–2019 гг., а в холодный период года это значение падает до 2 %.

Экстремальность выпадения осадков. Во многих работах говорится о том, что усиление экстремальности выпадения осадков является одной из характерных черт изменений климата в период современного потепления [5, 6]. На территории Беларуси одновременно с увеличением числа и силы ливней общее число дней с осадками сокращается, а поскольку при ливневых осадках большая часть выпавшей влаги расходуется на поверхностный сток, то количество влаги, поступающей в почву, снижается, что является одной из причин формирования более частых почвенных засух.

Для анализа изменений экстремальности выпадения осадков на территории Беларуси нами рассмотрены изменения числа дней с количеством осадков более 5, 10 и 20 мм/день за период 1991–2019 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг. Полученные результаты приведены на рис. 4.

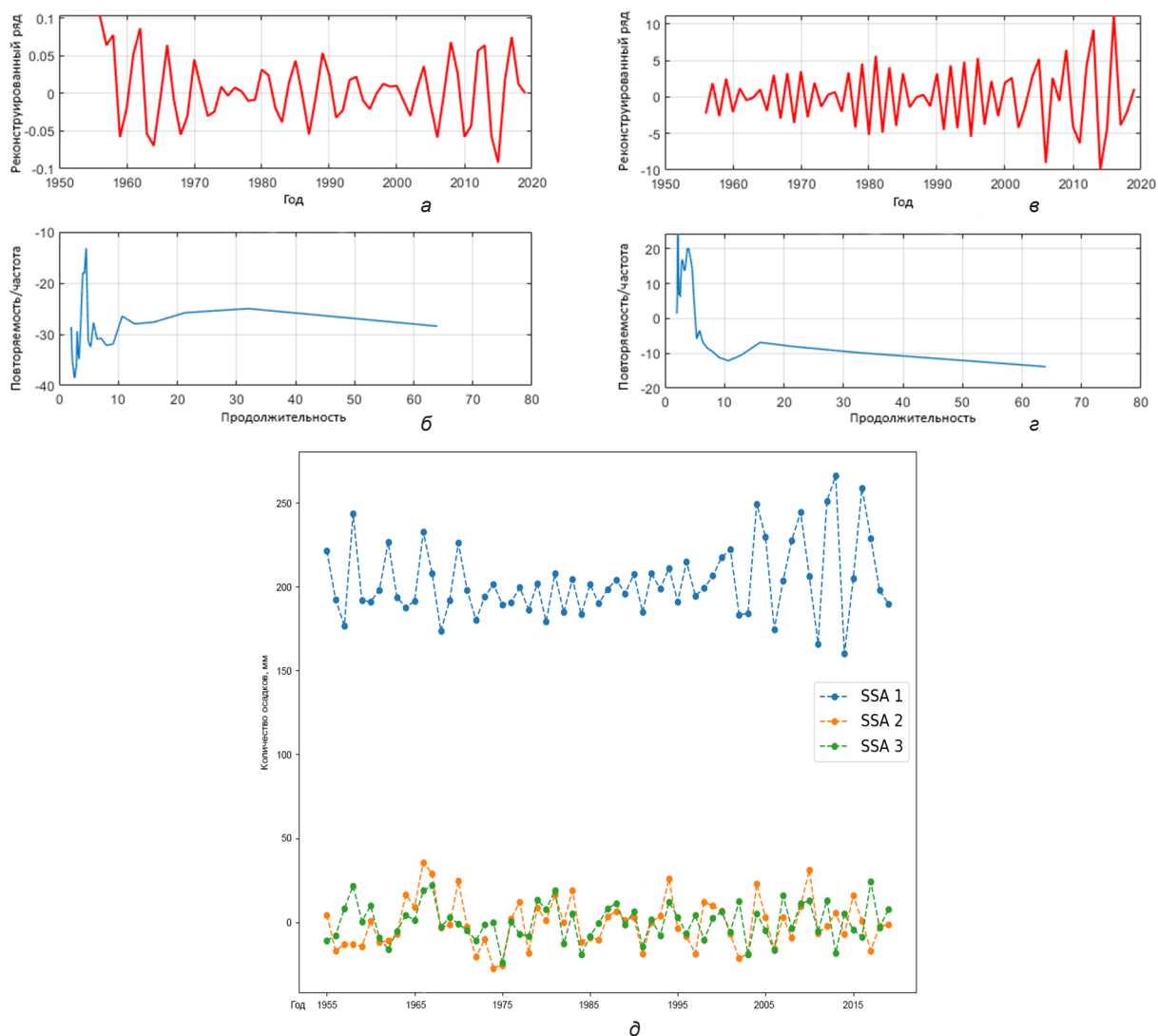


Рис. 3. Реконструированные временные ряды (а, в) и периодограммы колебаний значений количества осадков (б, г) за год (а, б) и холодный период года (в, г) по данным анализа с помощью «метода гусеницы» в системе *MatLab*, а также главные элементарные компоненты временного ряда значений осадков в холодный период года по данным анализа с помощью средств языка программирования *Python* (д)

Число дней с осадками более 5 мм/день в период с 1961 по 2019 г. меняется незначительно: в 1991–2019 гг. их среднее число выросло на 2,8 % относительно периода 1961–1990 гг. и составило 40,6 дней. Что же касается характера пространственного распределения, то оно также не претерпело существенных изменений. Исключением является только юго-восточная часть Беларуси, где произошло наибольшее усиление экстремальности выпадения осадков (рис. 4, а, б).

За рассматриваемый период среднее число дней с осадками более 10 мм/день выросло от 14,6 до 15,7 дней (прирост составил 7,5 %); наибольший прирост числа дней отмечался в юго-восточной и восточной Беларуси, а также на востоке Брестской области (рис. 4, в, г). На остальной части территории республики изменения менее значительны.

Наиболее ярким индикатором усиления экстремальности выпадения осадков на территории Беларуси служит изменения числа дней с осадками более 20 мм/день. В течение периода 1991–2019 гг. число таких дней возросло до 4 в среднем по республике, что на 0,7 дня выше, чем среднее значение для периода 1961–1990 гг. Таким образом, за период современного потепления число дней с осадками более 20 мм/день выросло более чем на 20 %. Пространственное распределение изменений числа дней с осадками более 20 мм/день характеризуется тем,

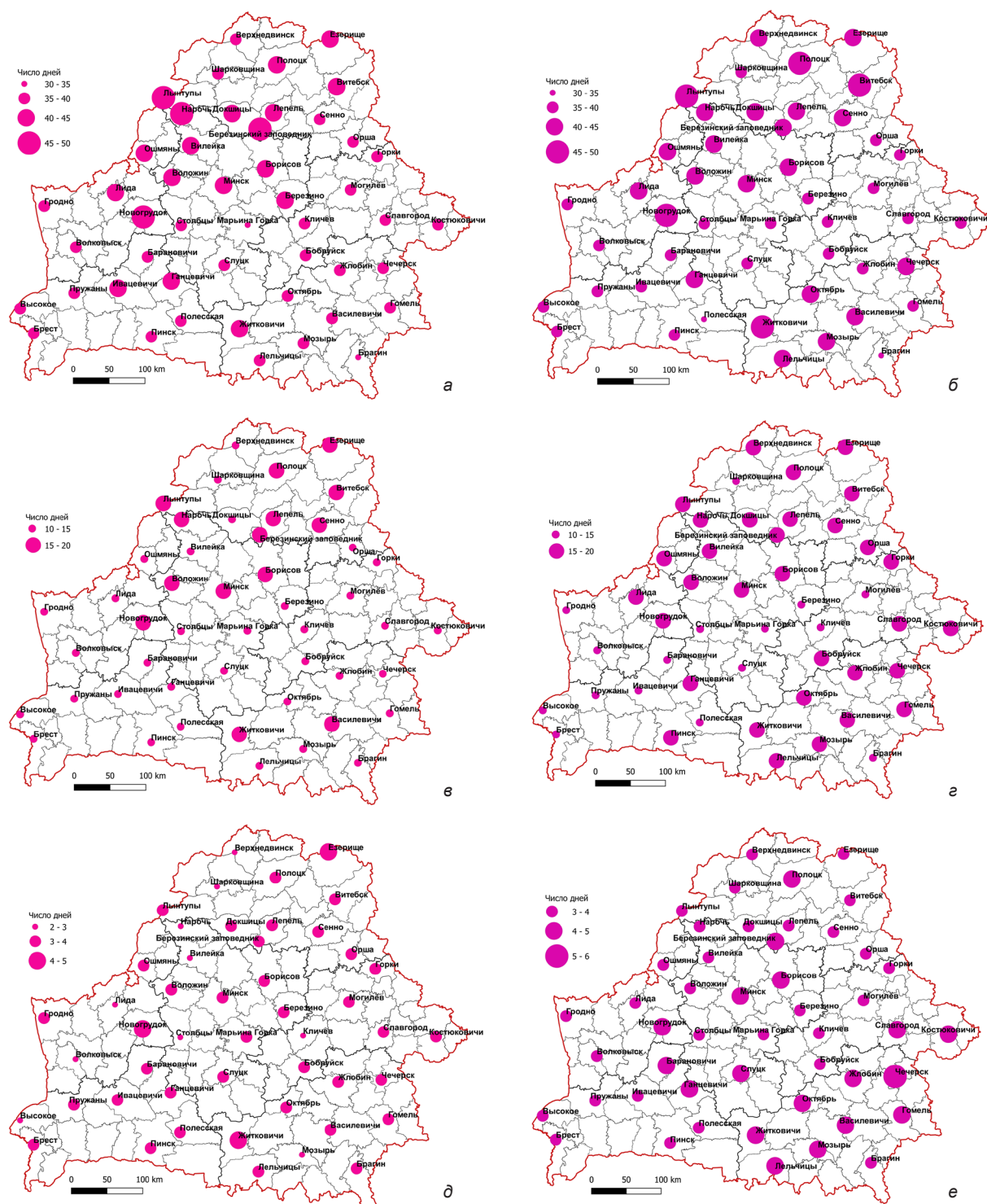


Рис. 4. Число дней с осадками более 5 мм/день (а, б), 10 (в, г) и 20 мм/день (д, е) в периоды 1961–1990 гг. (а, в, д) и 1991–2019 гг. (б, г, е)

что существенный прирост числа дней произошел практически на большей части территории Беларуси. Выпадение более 20 мм осадков в течение одного дня в Беларуси связано с усилением конвекции и формированием мощных кучево-дождевых облаков, что возможно только в летний период. Значительное повышение летних температур на территории страны в последние десятилетия привело к усилению летних конвекционных процессов, которое обеспечило усиление экстремальности выпадения осадков.

Повышение экстремальности выпадения осадков делает актуальной проблему удержания влаги, поступающей при ливневых осадках. Результаты полевых экспериментов показывают, что осуществление этой задачи возможно внедрением лесонасаждений [19] и иными мерами агролесоводства.

Количество осадков в дни зимних оттепелей. Электронные базы данных Республиканского гидрометцентра располагают сведениями о числе дней с жидкими, смешанными и твердыми осадками, однако информация о том, какое количество осадков поступило в виде дождя, снега, мокрого снега и др. в них отсутствует. В связи с этим в настоящей работе в качестве характеристики количества жидких и смешанных осадков в холодный период года принят показатель количества осадков за дни зимних оттепелей. Полученные результаты приведены на рис. 5.

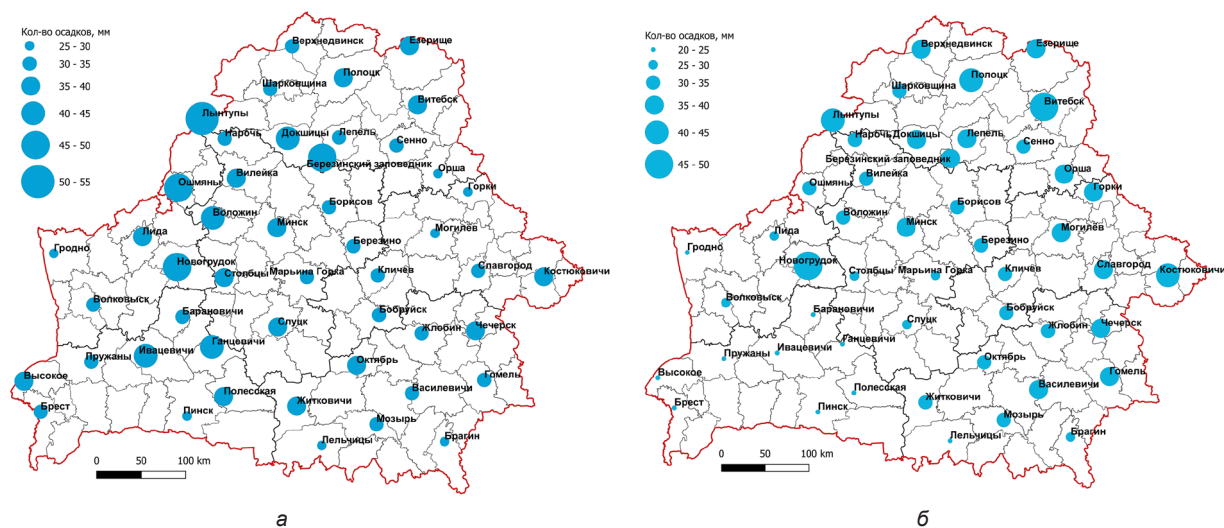


Рис. 5. Среднее количество осадков, выпадающих в дни зимних оттепелей за периоды 1961–1990 гг. (а) и 1991–2019 гг. (б)

Как видно из рис. 5, в период современного потепления климата произошло существенное изменение характера выпадения осадков в дни зимних оттепелей. Во-первых, среднее по республике значение количества осадков в период оттепелей уменьшилось с 35,3 мм в 1961–1990 гг. до 32,4 мм в 1991–2019 гг. (снижение составило 8 %). Во-вторых, область максимальных значений осадков сместилась с северо-западной Беларуси и западной части Белорусской гряды на восточную половину страны. В настоящий период наименьшее число осадков в дни зимних оттепелей отмечается в юго-западной Беларуси. Причины подобных изменений, вероятно, связаны со смещением преобладающих траекторий циклонов в холодный период года на восток и соответственно ростом продолжительности оттепелей в указанном регионе. Кроме того, произошло сокращение зимнего периода, что оказалось наиболее заметно в юго-западной части Беларуси.

Облачность. Колебания степени покрытия облаками является важнейшим индикатором изменений климата. Они наглядно иллюстрируют изменения атмосферной циркуляции на глобальном, региональном и местном уровнях, а также тесно связаны с характеристиками увлажненности рассматриваемой территории. Повышение количества осадков обычно напрямую связано с увеличением общей облачности, хотя число дней с осадками при этом может не претерпевать существенных изменений [1].

Полученные результаты (рис. 6) показывают, что средний балл облачности в период современного потепления климата вырос во все периоды года, хотя в абсолютном выражении этот прирост мал. Так, среднегодовой балл облачности в 1991–2019 гг. составил 6,9, что на 0,1 выше среднего балла облачности для предшествующего периода (рис. 6, а, б). Пространственное распределение среднего балла облачности по территории Беларуси также не претерпело

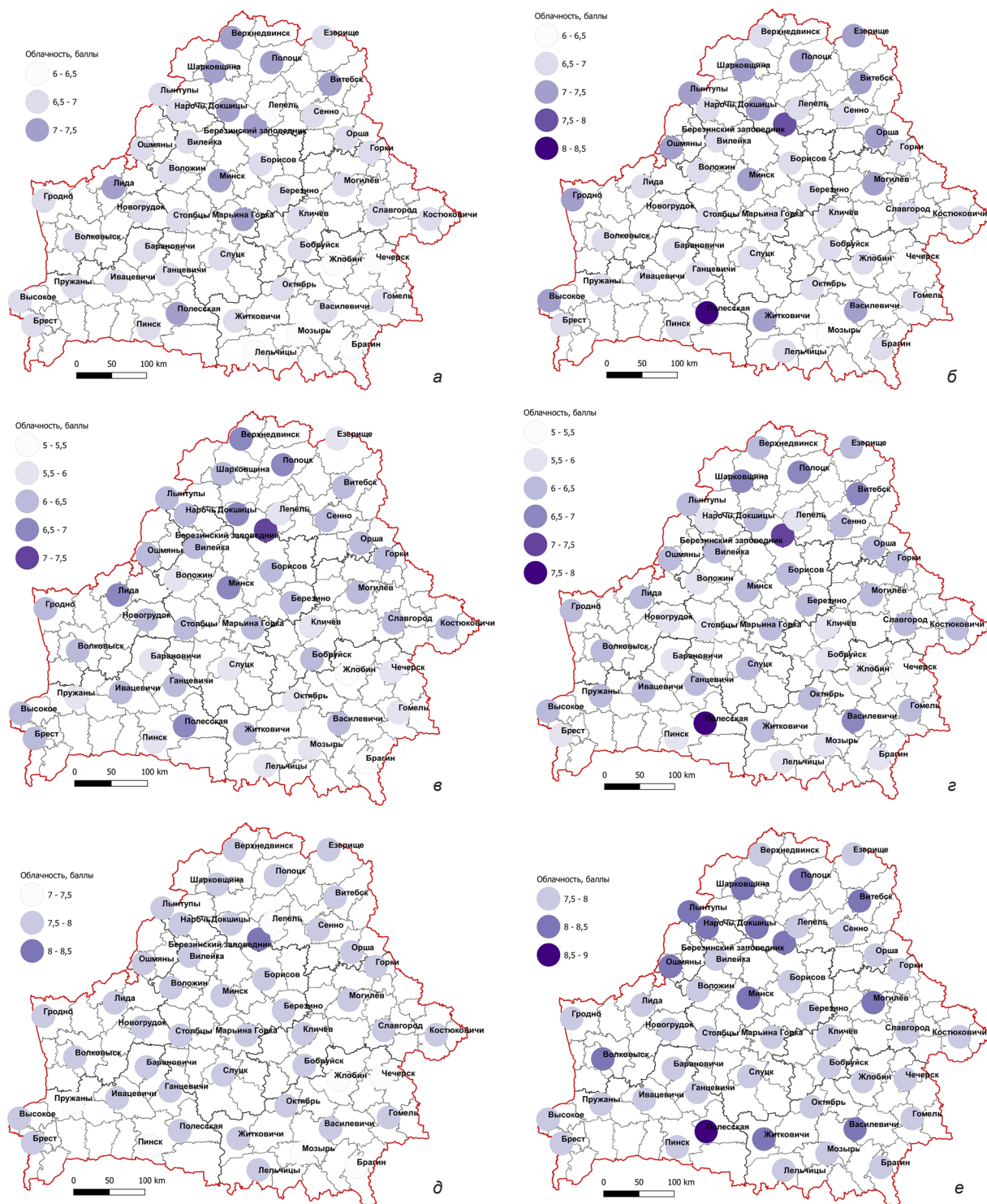


Рис. 6. Средний балл общей облачности за год (а, б), холодный (в, г) и теплый (д, е) периоды года в периоды 1961–1990 гг. (а, в, д) и 1991–2019 гг. (б, г, е)

существенного изменения. Наибольший прирост облачности фиксировался в северной части Беларуси, а также на отдельных станциях на юго-востоке и западе страны. Эти изменения являются следствиями изменения характера атмосферной циркуляции в указанных регионах.

Теплый период года характеризовался малозаметными изменениями общей облачности (рис. 6, в, г). Среднее значение облачности оставалось на уровне 6,2 баллов, и его пространственное распределение не претерпело существенных изменений; незначительный при-

рост облачности отмечался только на севере и юго-востоке Беларуси на отдельных станциях. Прирост общей облачности на юго-востоке страны связан с увеличением роли местных факторов облакообразования (испарение и конвекция), а повышение облачности в северной части Беларуси, вероятнее всего, связано с повышением циклонической активности в переходные сезоны и смещением преобладающей траектории циклонов на северо-восток.

Наиболее заметные изменения общей облачности наблюдаются в холодный период года. Средний балл облачности в период современного потепления климата вырос на 0,2 и составил 7,9 (прирост менее 3 %). Облачность существенно выросла в северной и восточной части страны, в то время как в западной Беларуси средние значения преимущественно остались на том же уровне. Подобные изменения согласуются с утверждением, что в период современного потепления климата из-за повышения температуры поверхности океана циклоническая активность возросла [3, 17], а изменения характера пространственного распределения облачности объясняются смещением преобладающих траекторий циклонов.

Исследование временной изменчивости средних по территории Беларуси значений облачности за период 1955–2019 гг. с помощью метода сингулярного спектрального анализа показало результаты, схожие с разложением временного ряда значений количества осадков. Ни одна из выделенных элементарных компонент не объясняла более 3 % всей дисперсии временного ряда. Цикличность обнаруживается только в структуре реконструированного временного ряда при анализе с помощью системы *MatLab*. Как и для среднегодового количества осадков, в изменениях облачного покрова выделяется квазидвадцатидвухлетний цикл.

Число ясных дней. Число ясных дней выступает в качестве дополнительного показателя при оценке изменений степени покрытия неба облаками. По своей сути, изменения этого показателя противоположны изменениям общего балла облачности и, как следствие, с увеличением количества осадков будет связано снижение числа ясных дней.

Согласно полученным результатам, период современного потепления климата характеризуется существенным снижением числа ясных дней: в 1991–2019 гг. в среднем по республике отмечалось 20,4 ясных дня, в то время как в 1961–1990 гг. в год в среднем отмечалось 26,4 ясных дня (рис. 7, а, б). Таким образом, за период современного потепления климата число ясных дней за год снизилось на 23 %. Снижение числа ясных дней отмечалось по всей территории Беларуси, и только в окрестностях Белорусской гряды снижение оказалось меньшим. Отчасти это связано с тем, что этот регион всегда характеризовался наиболее низкими значениями числа ясных дней, поскольку служил некоторой орографической преградой на пути движения воздушных масс с запада.

В теплый период года было отмечено наибольшее в абсолютном выражении снижение числа ясных дней: среднее значение за 1991–2019 гг. составило 14 дней против 17,7 в 1961–1990 гг. Снижение числа ясных дней фиксировалось по всей территории Беларуси, однако наиболее существенным оно было в юго-восточной части страны. Это связано прежде всего с усилением местных процессов облако- и осадкообразования вследствие более значительного повышения средних температур, испарения и конвекционных процессов.

Снижение числа ясных дней в холодный период года составило 2,3 дня, и в настоящее время среднее по республике число ясных дней составляет 6,4 дня. В целом снижение числа ясных дней в холодный период года происходило равномерно по всей территории Беларуси. Главной причиной снижения числа ясных дней в холодный период года является усиление циклонической активности.

Таким образом, число ясных дней является более наглядным показателем изменения характера атмосферной циркуляции, чем изменения балла общей облачности. Последние оценки носят качественный характер и в значительной мере субъективны.

Гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову. Наиболее наглядной характеристикой режима увлажнения территории являются комплексные показатели тепло- и влагообеспеченности. В метеорологической литературе стран СНГ для этих целей чаще всего используется гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову, представляющий собой соотношение

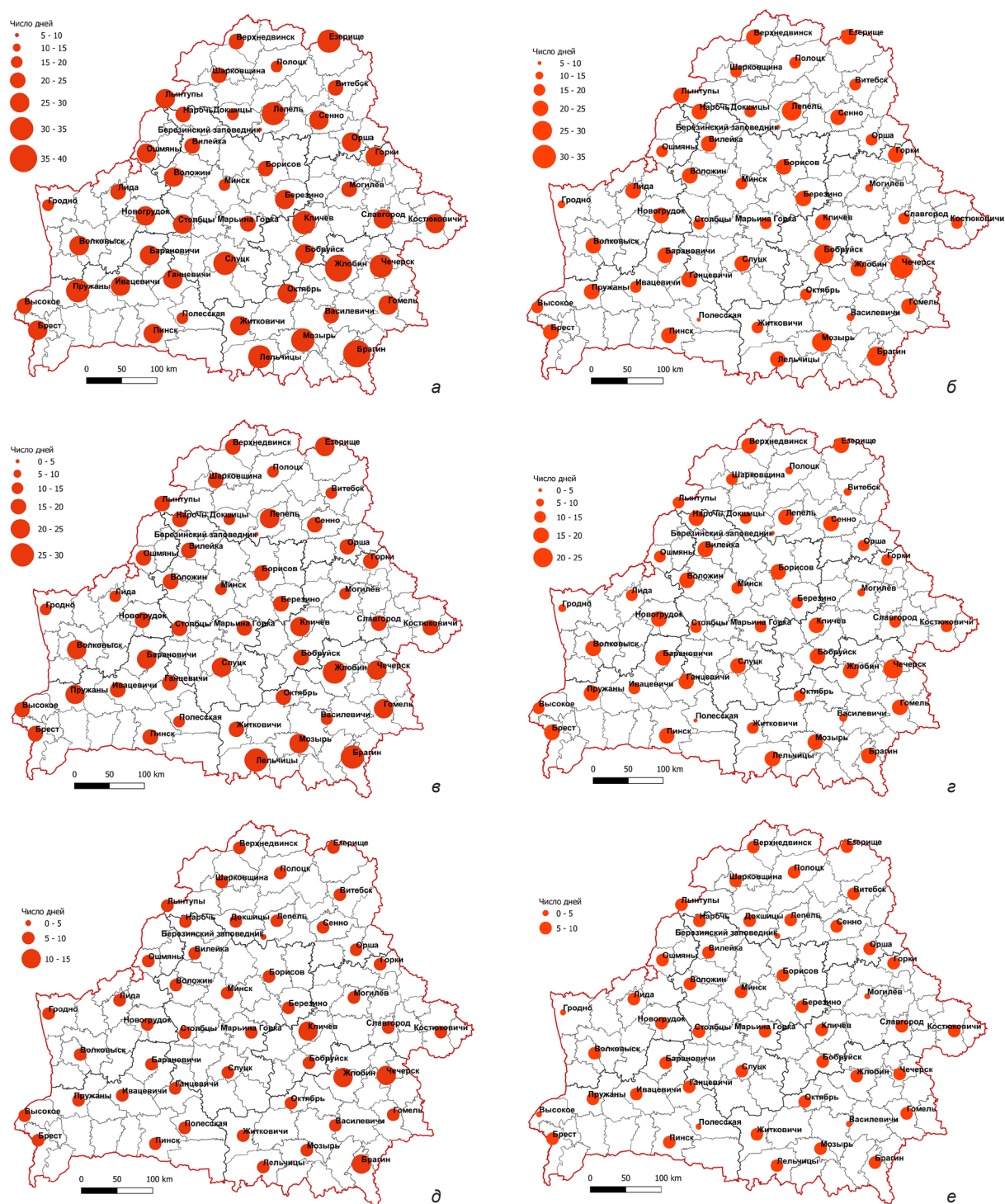


Рис. 7. Число ясных дней за год (а, б), холодный (в, г) и теплый (д, е) периоды года в периоды 1961–1990 гг. (а, в, д) и 1991–2019 гг. (б, г, е)

увеличенной в 10 раз суммы осадков за период со средними температурами выше 10 °С к сумме активных температур выше 10 °С [11]. Значения ГТК=1 принято в качестве границы влажной и засушливой зон; значения ГТК, находящиеся в пределах 1,3–1,6, считаются показателем достаточного увлажнения. В рамках данной работы нами было проведено сравнение средних значений ГТК за периоды 1961–1990 гг. (рис. 8, а) и 1991–2019 гг. (рис. 8, б).

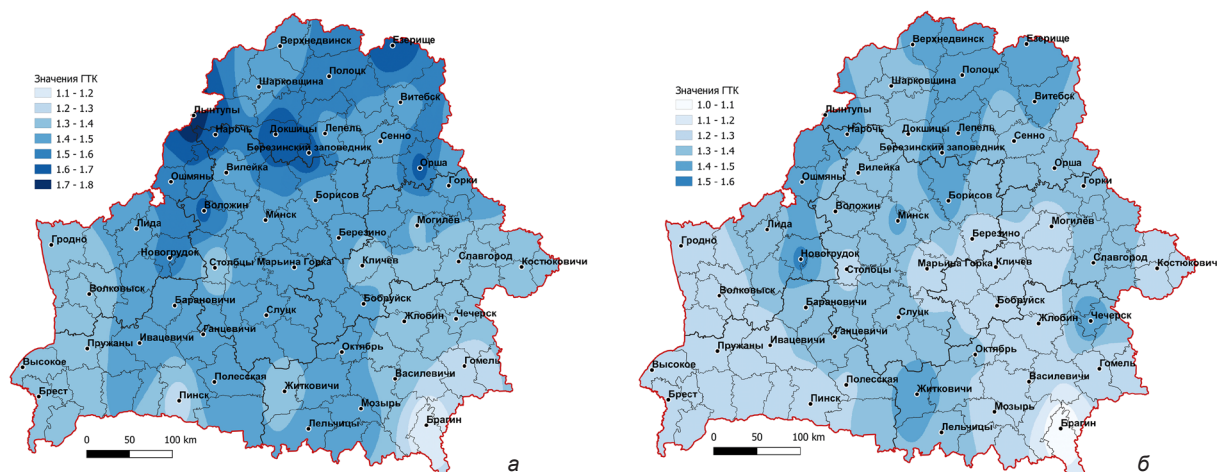


Рис. 8. Среднее значение ГТК по Г. Т. Селянину за периоды 1961–1990 гг. (а) и 1991–2019 гг. (б)

Как видно из рис. 8, засушливость климата в Беларуси в период современного потепления климата существенно усилилось. Среднее значение ГТК по территории страны уменьшилось на 0,11 и теперь составляет 1,33. Снижение максимального значения составило 0,26. Интересно отметить, что максимумы и минимумы значений ГТК на территории Беларуси совпадают с экстремумами для показателя годового количества осадков. До начала периода современного потепления климата область недостаточного увлажнения занимала только 6 административных районов на юго-востоке Беларуси, а в настоящее время она охватывает практически все Полесье и Предполесье за исключением территорий, прилегающих к станции Житковичи. Таким образом, площадь засушливой зоны в Беларуси достигла трети страны. Изолиния значений ГТК, равных 1,3, отступила на 50 км на запад и почти 200 км на север. Кроме того, образовалась новая область пониженных значений ГТК на западе и юго-западе Беларуси, где отступление изолинии ГТК=1,3 на север было еще большим. Причина такого усиления засушливости состоит в том, что темпы прироста количества осадков в 5–6 раз ниже темпов повышения средней температуры. Единственной метеорологической станцией в Беларуси, где в период современного потепления климата отмечался прирост средних значений ГТК, является станция Житковичи; здесь прирост значений ГТК составил 0,06.

Исследование временного ряда средних по республике значений ГТК за период с 1955 по 2019 г. показало, что все выделенные элементарные компоненты находятся на уровне шумов: они объясняют не более 2,7 % всей дисперсии исходного временного ряда. Выраженных многолетних циклов в изменении реконструированного временного ряда значений ГТК и элементарных компонент также не прослеживается.

Заключение. В период современного потепления климата среднее количество осадков на территории Беларуси увеличилось на 2–2, 5%, однако темпы повышения количества осадков в 5–6 раз ниже, чем темпы повышения средней температуры, что приводит к усилению засушливости климата. Наиболее существенный прирост количества осадков в Беларуси наблюдается в зимне-весенний период; летом отмечается сокращение количества осадков. Увеличение количества осадков в зимне-весенний период связано с изменениями атмосферной циркуляции, а снижение количества осадков в летний период обусловлено усилением антициклонической активности и действием местных факторов осадкообразования.

Экстремальность выпадения осадков в период современного потепления климата существенно выросла: по сравнению с периодом 1961–1990 гг. число дней с осадками более 10 мм/день выросло на 7 %, а число дней с осадками более 20 мм/день – на 20 %. Рост числа дней

с ливневыми осадками не способствует эффективному пополнению запасов почвенной влаги и создает неблагоприятные условия для роста и развития растений.

Количество осадков в дни зимних оттепелей в период 1991–2019 гг. выросло в восточной Беларуси, в то время как в центральной и западной частях страны оно либо сохранилось на уровне, аналогичному периоду 1961–2019 гг., либо даже снизилось. Причина заключается в том, что устойчивость и продолжительность периода отрицательных температур в Беларуси уменьшилась.

В абсолютном выражении средний балл облачности на территории Беларуси в период современного потепления климата несущественно изменился в сторону повышения. Максимальный прирост отмечался в холодный период года и составил менее 3 % в относительном выражении. Наиболее наглядным показателем, характеризующим изменения степени покрытия облаками в Беларуси, оказалось число ясных дней. В среднем за год оно снизилось на 23 %, причем снижение числа дней в теплый и холодный периоды года было сопоставимым. Причина заключается в изменениях циркуляции атмосферы, а также увеличении роли местных факторов облако- и осадкообразования.

Масштабы усиления засушливости климата в Беларуси ярко выражены в изменениях средних значений ГТК по Г. Т. Селянинову. Если в период 1961–1990 гг. среднее значение ГТК составляло 1,44, то в период современного потепления климата оно снизилось до 1,33. В настоящее время около трети территории Беларуси находится в зоне недостаточного увлажнения.

Разложение временных рядов значений количества осадков, облачности и ГТК с помощью метода сингулярного спектрального анализа показало, что в структуре сглаженных временных рядов среднегодового количества осадков и среднего балла облачности за год прослеживается квазидвадцатидвухлетняя цикличность, а в структуре рядов среднего количества осадков за холодный период года прослеживаются квазиодиннадцатилетний и квазишестидесятилетний циклы. В период современного потепления климата (1991–2019 гг.) они становятся менее выраженными. В то же время ни одна из выделенных элементарных компонент не объясняет более 3 % всей дисперсии временных рядов.

Список использованных источников

1. Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси: отчет о НИР (заключ.) / Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды; рук. В. И. Мельник. – Минск, 2016. – 101 с. – № ГР 20163200.
2. Лысенко, С. А. Особенности современного изменения климата в Республике / С. А. Лысенко, И. В. Буяков // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 17–27.
3. Логинов, В. Ф. Изменения климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 218 с.
4. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
5. Логинов, В. Ф. Изменения климата в Беларуси и их последствия для ключевых секторов экономики (сельское, лесное и водное хозяйство) / В. Ф. Логинов. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2010. – 152 с.
6. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси: учеб. пособие / В. Ф. Логинов [и др.]. – М., 2016. – 58 с.
7. GRACE Tellus. Gravity recovery & climate experiment, Jet Propulsion Laboratory, NASA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/jpl_global_mascons/
8. Глобальные и региональные изменения климата и их связь с биопродуктивностью наземных экосистем / С. А. Лысенко [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 20–31.
9. Логинов, В. Ф. Пространственно-временные изменения биоклиматического потенциала территории Беларуси / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков. // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2017. – №1. – С. 42–57.
10. Хитриков, М. А. Прогноз изменений биоклиматического потенциала территории Беларуси / М. А. Хитриков // XV Междунар. науч. конф.: Молодежь в науке – 2018: сб. материалов Междунар. конф. молодых ученых, Минск, 29 октября–1 ноября 2018 г. / НАН Беларуси. – Минск: Беларус. навука, 2019. – С. 180–191.
11. Селянинов, Г. Т. К вопросу о классификации сельскохозяйственных культур по климатическому признаку / Г. Т. Селянинов // Тр. по с.-х. метеорологии / Всесоюз. акад. сел. хоз-ва, Ин-т земледелия, Отд. с.-х. метеорологии; под ред. А. В. Вознесенского. – Л., 1930. – Вып. 21. – С. 130–171.
12. Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница»–SSA: анализ временных рядов: учеб. пособие / Н. Э. Голяндина. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. – 76 с.

13. MATLAB [Electronic resource] // MATLAB – MathWorks. – Mode of access: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
14. Python programming language [Electronic resource] // Python. – Mode of access: <https://www.python.org>
15. pyts [Electronic resource] // pyts. – Mode of access: <https://pyts.readthedocs.io/en/stable/#>
16. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм: ВМО – № 1203 [Электронный ресурс] / Всемир. метеорол. орг. – Женева : ВМО, 2017. – Режим доступа: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168
17. *Логинов, В. Ф.* Современные изменения регионального и глобального климата / В. Ф. Логинов С. А. Лысенко. – Минск: Беларус. навука, 2019. – 314 с.
18. *Табальчук, Т. Г.* Анализ пространственно-временных изменений температуры воздуха на территории Беларуси / Т. Г. Табальчук // Природопользование: сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования; гл. ред. А. К. Карабанов. – Минск, 2016. – Вып. 30. – С. 24–32.
19. *Молчанов, А. А.* Гидрологическая роль леса / А. А. Молчанов. – М.: АН СССР, 1960. – 487 с.

Поступила 10.08.2020

**В. В. Божкова¹, Л. М. Болотко¹, А. М. Людчик¹, Н. С. Метельская²,
С. Д. Умрейко¹, А. П. Чайковский²**

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

²Институт физики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: n.miatelskaya@dragon.bas-net.by.

ПРИЧИНЫ «СТРАННОГО» ПОВЕДЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В АПРЕЛЕ 2019 г.

Аннотация. Анализируется необычное поведение приземного озона в городах Беларуси в апреле 2019 г.: в первой и третьей декадах месяца амплитуда суточного хода озона была высокая и резко уменьшилась во второй декаде. В качестве возможных причин рассматриваются изменение аэрозольной обстановки, меняющиеся метеорологические условия и уровни антропогенного загрязнения воздуха в городах. Результаты анализа указывают на то, что основной причиной «странного» поведения приземного озона явилось уменьшение вертикальной устойчивости атмосферы, которое привело к более интенсивному рассеянию загрязнений и снижению их концентраций в приземном воздухе. Это способствовало торможению процессов генерации и разрушения приземного озона.

Ключевые слова: приземный озон, аэрозольная оптическая толщина, метеорологические условия, антропогенные загрязнения

V. V. Bozhkova¹, L. M. Bolotsko¹, A. M. Liudchik¹, N. S. Miatelskaya², S. D. Umreiko¹, A. P. Chaikovsky²

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

²Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: n.miatelskaya@dragon.bas-net.by

ORIGINS OF “UNUSUAL” SURFACE OZONE BEHAVIOR IN APRIL 2019

Abstract. The unusual behavior of surface ozone revealed in April'19 over some Belarusian cities has been analyzed. Here, the first and third decades of the month were featured by a high amplitude of the diurnal ozone course, yet, in the second decade, its sharp decrease was observed. Among possible reasons for this occurrence, one has treated changes in aerosol amount, varying meteorological conditions and levels of anthropogenic air pollution in cities. The results of the analysis indicate that the main cause of the strange behavior of surface ozone was a decrease in the vertical stability of the atmosphere leading to a more intense dispersion of pollutants and, thus, to a decrease in their concentrations in surface air. This contributed to the inhibition of the processes of surface ozone generation and destruction.

Keywords: surface ozone, aerosol optical thickness, meteorological conditions, anthropogenic pollution

В. В. Бажкова¹, Л. М. Балацько¹, А. М. Людчык¹, Н. С. Мяцельская², С. Дз. Умрэйка¹, А. П. Чайкоўскі²

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

²Інстытут фізікі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: n.miatelskaya@dragon.bas-net.by

ПРЫЧЫНЫ “НЕЗВЫЧАЙНЫХ” ПАВОДЗІНАЎ ПРЫЗЕМНАГА АЗОНУ Ў КРАСАВІКУ 2019 г.

Анатацыя. Аналізуюцца незвычайныя паводзіны прыземнага азону ў гарадах Беларусі ў красавіку 2019 г. Паводле назіранняў, у першай і трэцяй дэкадах месяца амплітуда сутачнага ходу азону была даволі высокая, але ў другой дэкадзе яна рэзка зменшылася. У якасці магчымых прычын разглядаюцца змяненне колькасці аэразоляў, нестабільныя метэаралагічныя ўмовы і ўзроўні антрапагеннага забруджвання паветра ў гарадах. Вынікі аналізу сведчаць пра тое, што асноўнай прычынай дзіўных паводзінаў прыземнага азону з'явілася памяншэнне вертыкальнай устойлівасці атмасферы, якое прывяло да больш інтэнсіўнага рассейвання забруджвання і зніжэння іх канцэнтрацый у прыземным паветры. Гэта, у сваю чаргу, паспрыяла запавольванню працэсаў генерацыі і разбурэння прыземнага азону.

Ключавыя словы: прыземны озон, аэрозольная аптычная таўшчыня, метэаралагічныя ўмовы, антрапагеннае забруджванне

Введение. В апреле 2019 г. наблюдения за приземным озоном на территории Беларуси показали весьма необычные результаты: в первой и третьей декадах месяца наблюдались высокие дневные концентрации озона и низкие ночные, однако во второй декаде максимальные дневные концентрации заметно снизились и повысились минимальные ночные (рис. 1, цифры у городов обозначают номера пунктов, где проводились измерения).

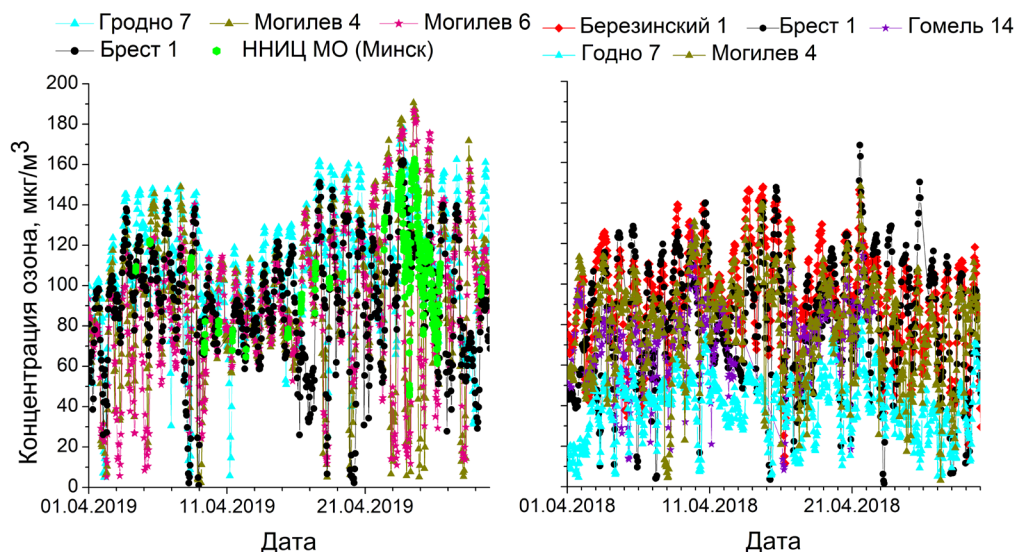


Рис. 1. Концентрация приземного озона, зарегистрированная в апреле 2019 г. в городах Беларуси. Для сравнения приведены данные наблюдений за апрель 2018 г.

В этот период также существенно изменялась оптическая толщина атмосферных аэрозолей вследствие переноса пыли из Северной Африки или пожаров в Беларуси и близких к ней регионов. Результаты измерений аэрозольной оптической толщины на длине волны 380 нм на минской станции AERONET [1] показаны на рис. 2. Выбранная длина волны излучения приблизительно соответствует спектральной области солнечного фотохимически активного излучения в приземном слое атмосферы, приводящего к фотолизу загрязнителей атмосферы и последующей генерации озона. В связи с этим можно предположить, что «странное» поведение приземного озона непосредственно обусловлено произошедшими в течение месяца изменениями в оптической толщине атмосферы, например, за счет изменения уровня фотохимически активного солнечного излучения у поверхности земли.

Аэрозольные частицы также способны принимать участие в химических процессах с участием озона и таким образом влиять на его концентрацию [2]. Концентрации твердых аэрозольных частиц у поверхности земли в апреле 2019 г., по данным пунктов мониторинга атмосферного воздуха «Гидрометеоцентра» в Минске, Бресте и Могилеве также снижаются во второй декаде месяца, как и аэрозольная оптическая толщина атмосферы (рис. 3). Это косвенно свидетельствует

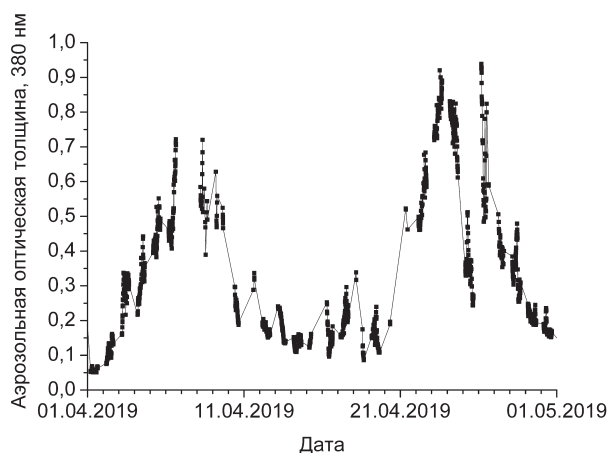


Рис. 2. Аэрозольная оптическая толщина на длине волны 380 нм в апреле 2019 г. над Минском

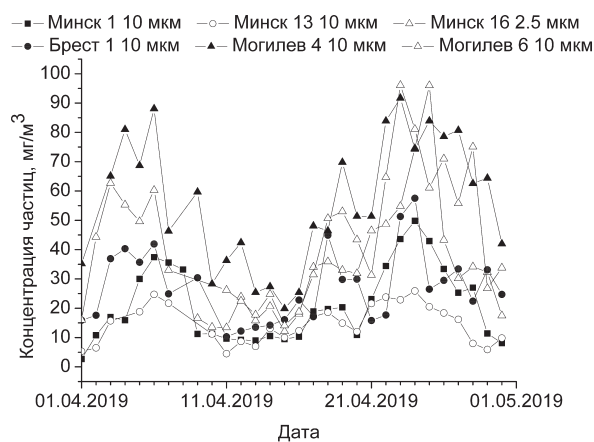
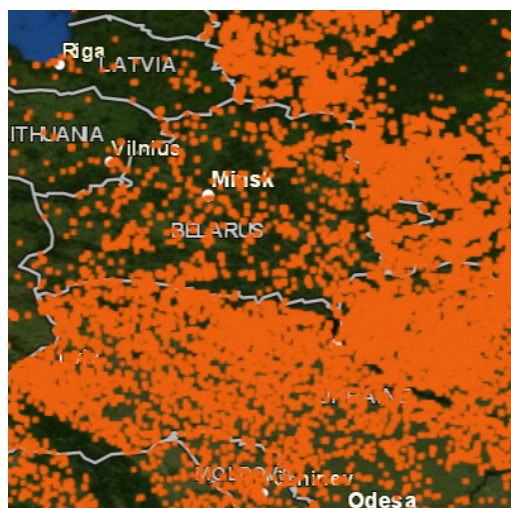
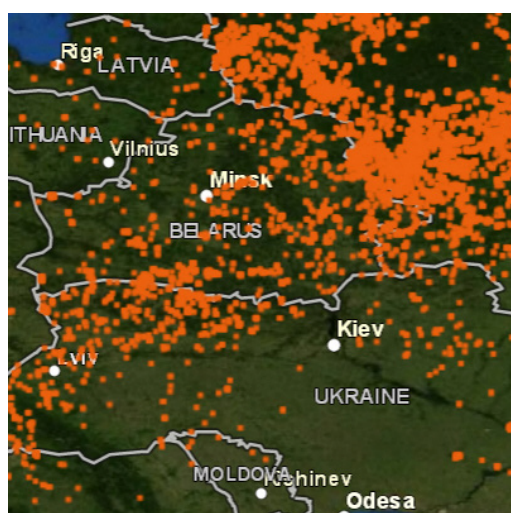
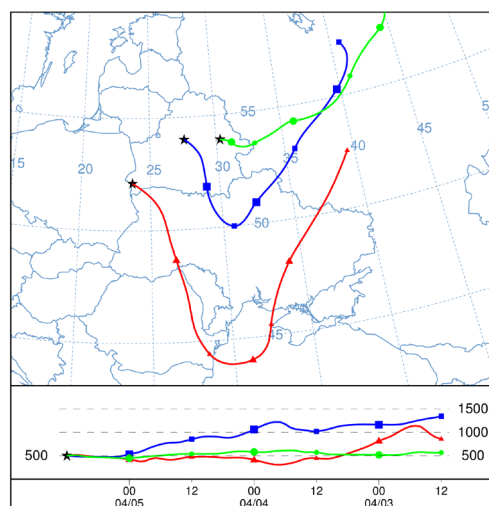


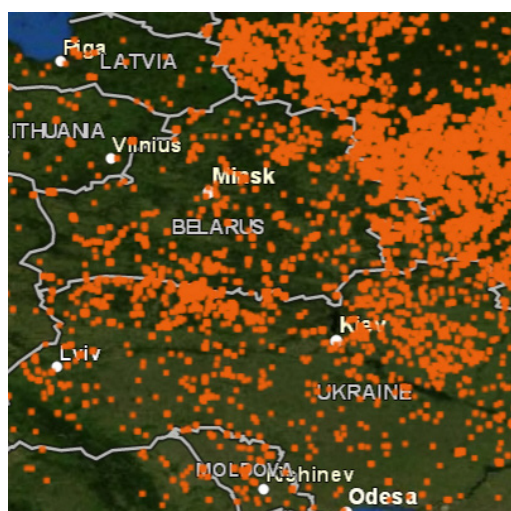
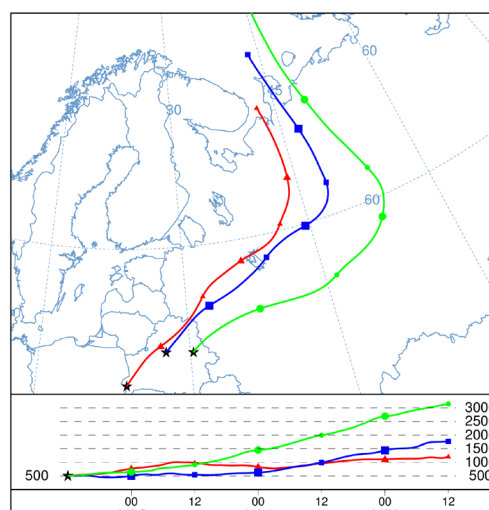
Рис. 3. Среднесуточные концентрации твердых частиц в апреле 2019 г. в приземном воздухе в Минске, Бресте и Могилеве. Указаны номера пунктов наблюдений и размеры регистрируемых частиц



2–9
апреля



11–18
апреля



21–28
апреля

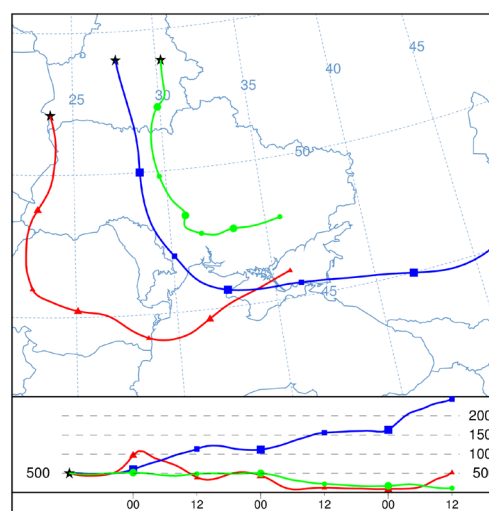


Рис. 4. Интенсивность пожаров в апреле 2019 г.

Рис. 5. Обратные траектории движения воздуха в апреле 2019 г. для Бреста, Минска и Могилева

о том, что оптическая толщина аэрозолей в течение месяца над всей территорией Беларуси изменялась приблизительно так же как и в Минске.

Активность пожаров [3] – возможных источников увеличения аэрозольной оптической толщины – на территории Беларуси и в прилегающих регионах демонстрирует рис. 4. Судить о роли пожаров и переноса африканской пыли можно только с учетом направления движения воздуха в планетарном слое атмосферы. Данные о расчетах обратных траекторий [4] движения воздуха в приземном слое атмосферы в первой, второй и третьей декадах апреля приведены на рис. 5.

Безусловно, на концентрацию приземного озона (по крайней мере на ее региональную составляющую [5]) влияет природа воздушной массы, находящейся над территорией страны. На формирование наблюдаемой концентрации приземного озона оказывают влияние также метеорологические условия в месте наблюдений [6–8]. А также следует указать на роль прекурсоров озона естественного и антропогенного происхождения, способствующих или препятствующих генерации озона в приземном слое атмосферы в зависимости от абсолютных значений и соотношения их концентраций [9–12]. При этом весьма маловероятно, что используемые для анализа концентрации антропогенных загрязнений в областных городах, являющихся их интенсивным источником, существенно меняются с приходом разных воздушных масс.

Таким образом, существует совокупность возможных причин происходящего в апреле 2019 г. поведения приземного озона. Цель данной работы – ответить на три вопроса: в чем причина увеличения аэрозольной оптической толщины в первой и третьей декадах апреля и ее снижения во второй; являлось ли увеличение аэрозольного загрязнения причиной столь странного поведения приземного озона; что явилось причиной изменений концентрации приземного озона в течение месяца.

Далее последовательно обсуждаются все доступные хотя бы для приближенного анализа гипотезы о возможных причинах событий и их состоятельность. Здесь также следует отметить, что формально вопрос о природе существенного изменения аэрозольной оптической толщины в течение месяца никак не связан с вопросом о влиянии аэрозолей на приземный озон.

Для анализа можно было бы ограничиться только г. Минском, поскольку именно здесь измерялась оптическая толщина аэрозолей. Однако в Минске в апреле не проводились измерения концентрации приземного озона за исключением непродолжительных измерений в Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы (НИЦ МО), но имеются данные о погоде и других загрязнителях атмосферы. Поэтому были рассмотрены также Брест и Могилев, где в апреле пункты мониторинга атмосферного воздуха регистрировали всю совокупность загрязнений: твердые частицы, CO, NO₂, NO, летучие органические соединения (ЛОС – бензол, толуол, ксилол) и приземной озон.

Пожары. Данные о пожарах показывают, что в первой декаде месяца их интенсивность была велика на юго-востоке в ближайших к Беларуси регионах, однако заметно снизилась в третьей декаде. Напомним, что в эти декады воздух в пограничном слое перемещался в Беларусь именно с юго-востока (рис. 5). В течение второй декады воздух двигался с северо-востока, где интенсивность пожаров была невелика.

Аэрозольные оптические толщины в первой и третьей декадах были велики, а интенсивность пожаров вдоль траектории переноса воздуха в третьей декаде заметно уменьшилась, хотя оценить количественно это уменьшение по рисункам не удается. Поэтому можно заключить, что роль пожаров незначительна в формировании аэрозольной оптической толщины над Беларусью в рассматриваемый период, несмотря на то, что уменьшение интенсивности пожаров в северо-восточном направлении коррелирует с уменьшением оптической толщины во второй декаде месяца. А повышение пожароопасности на территории Беларуси в третьей декаде месяца (см. далее) коррелирует с увеличением аэрозольного загрязнения. По крайней мере, это так происходило в апреле 2019 г. Безусловно, дымы от пожаров вносят вклад в содержание аэрозолей над местом наблюдений, однако этот вклад, скорее всего, не является определяющим. Следовательно, именно приход воздушных масс из африканского региона, содержащих много сахарной пыли, обусловил увеличение количества аэрозолей над Беларусью.

Возможно, другие характеристики состояния атмосферы, непосредственно влияющие на озон, зависели от аэрозолей. Поэтому имеет смысл исследовать все доступные сведения о состоянии и составе атмосферы в этот период.

Погода. По данным Белгидромета среднемесячная температура воздуха в апреле 2019 г. была на 0,5–2,5 град. выше климатической нормы. Таким теплым апрель бывает в среднем один раз в 10 лет. Преобладание антициклональных процессов обусловило недобор осадков. Дожди отмечались редко и были небольшими. Из-за высоких температур и дефицита осадков в начале третьей декады по югу страны, а в последней пятидневке на большей части территории республики наблюдалась высокая пожароопасность (4-й класс горения лесов). Более детальные сведения о погоде приведены в табл. 1 и на рис. 6, 7.

Т а б л и ц а 1. Периоды антициклонов и преимущественное направление ветра в апреле 2019 г.

Период	1–7	10–20	22–26	28–30
Направление ветра	Юго-восточный	Северо-восточный	Юго-восточный	Восточный

Так, дневные и ночные температуры воздуха растут с начала апреля, но резко опускаются во второй декаде месяца. В третьей декаде рост температур с незначительными вариациями продолжает тенденции, характерные для первой. Существенное снижение атмосферного давления в конце первой, начале третьей декады и в конце месяца соответствует периодам смены воздушных масс над территорией страны.

Особых изменений в скорости ветра в течение месяца в трех городах не произошло. Однако в Могилеве во второй декаде скорость была заметно выше, чем в Бресте и Минске, и редко падала до нуля в ночное время. Преимущественное направление ветра в первой и третьей декадах – юго-восточное (менее 180 град.), во второй – северо-восточное (менее 60 град.).

Относительная влажность воздуха (рис. 7) не претерпела за месяц существенных изменений, а небольшое ее увеличение в дневное время во второй декаде (на графике относительной

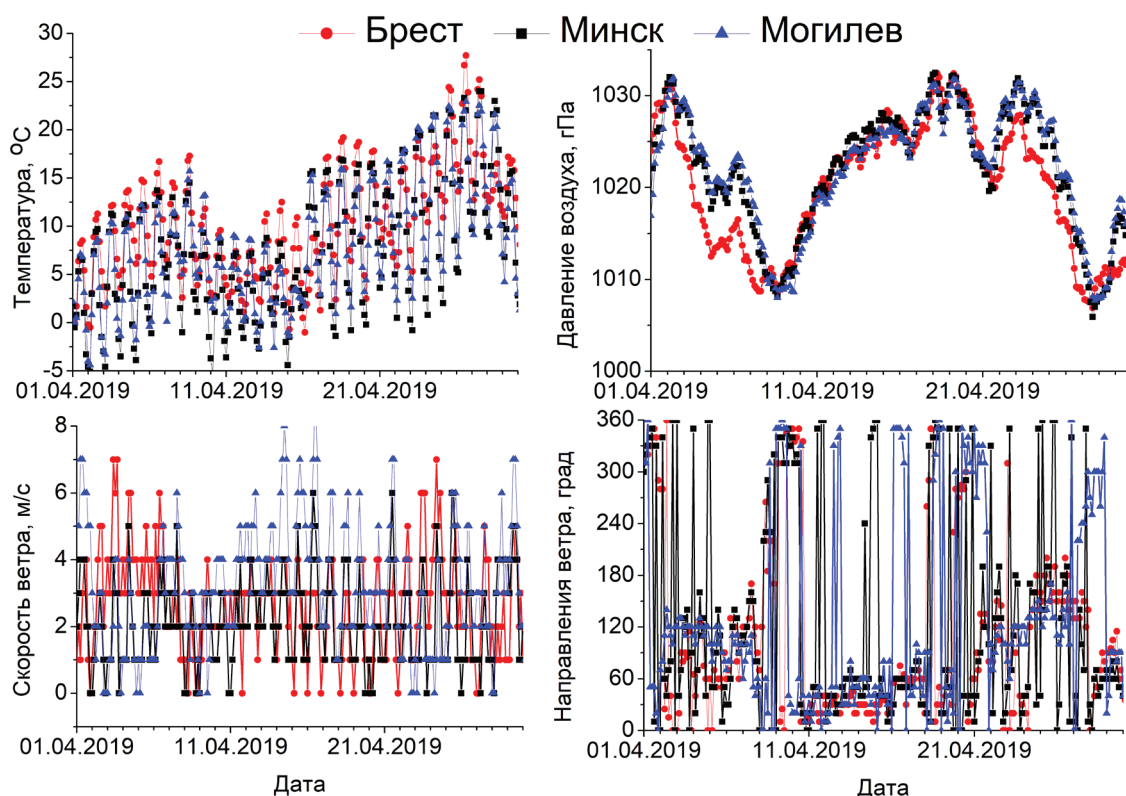


Рис. 6. Температура воздуха, давление, скорость и направление ветра в Бресте, Минске и Могилеве. Апрель 2019 г.

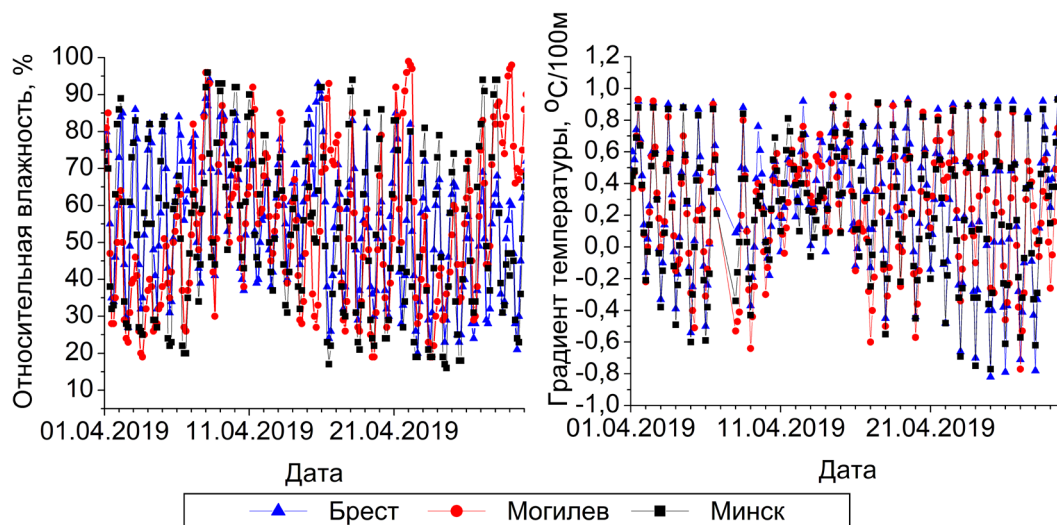


Рис. 7. Относительная влажность воздуха и вертикальный градиент температуры в планетарном пограничном слое в Бресте, Минске и Могилеве. Апрель 2019 г.

влажности дневному времени отвечают нижние точки ее суточного хода) соответствует снижению дневных температур.

Заметные изменения в течение месяца произошли с вертикальным градиентом температуры, определяющим вертикальную устойчивость атмосферы в планетарном пограничном слое. Отметим, что вертикальный градиент температуры определялся по прогнозным расчетам [9] в двух слоях (0–925 и 925–850 гПа) и для характеристики устойчивости выбиралось минимальное значение, оказывающее определяющее влияние на эффективность термической конвекции. Чем выше градиент температуры, тем сильнее конвекция и тем менее устойчива атмосфера. Как видно из графика на рис. 7, вертикальная устойчивость в дневное время практически не менялась в течение апреля и была приблизительно одинакова во всех рассматриваемых городах. Однако в ночное время во второй декаде апреля она была заметно ниже по сравнению с первой и третьей декадами месяца. Пониженная устойчивость атмосферы могла способствовать вертикальному обмену и притоку озона из верхних слоев атмосферы. Это может служить объяснением повышенных ночных концентраций озона во второй декаде, однако одинаковая устойчивость в дневное время не объясняет снижение дневных концентраций в этот период времени.

Загрязнители. Данные о концентрациях загрязнителей атмосферы, зарегистрированных на пунктах мониторинга атмосферного воздуха в Бресте, Могилеве и Минске в апреле 2019 г., представлены на рис. 8. На пункте 4 г. Могилева измерения летучих органических соединений в апреле 2019 г. не проводились. Как видно, во второй декаде месяца происходило снижение концентраций всех загрязнителей во всех городах, и это могло существенно повлиять на изменения в поведении приземного озона. Особое значение имеет снижение концентрации диоксида азота, поскольку фотолиз солнечным излучением именно этого соединения является источником атомарного кислорода и последующего образования озона.

Результаты, обсуждение и анализ данных наблюдений. Снижение максимальных дневных концентраций озона во второй декаде апреля никак нельзя объяснить увеличением солнечной радиации из-за уменьшения оптической толщины аэрозолей. Солнечное излучение является единственной причиной генерации озона у поверхности земли, поскольку этот процесс включает в себя фотохимические реакции. Неопровержимым доказательством сказанного является повсеместное уменьшение концентрации озона в ночное время. В первой и третьей декадах из-за аэрозолей радиация уменьшалась, а дневные концентрации увеличивались, хотя нужно было ожидать обратного эффекта. Следовательно, изменение уровня приземного сол-

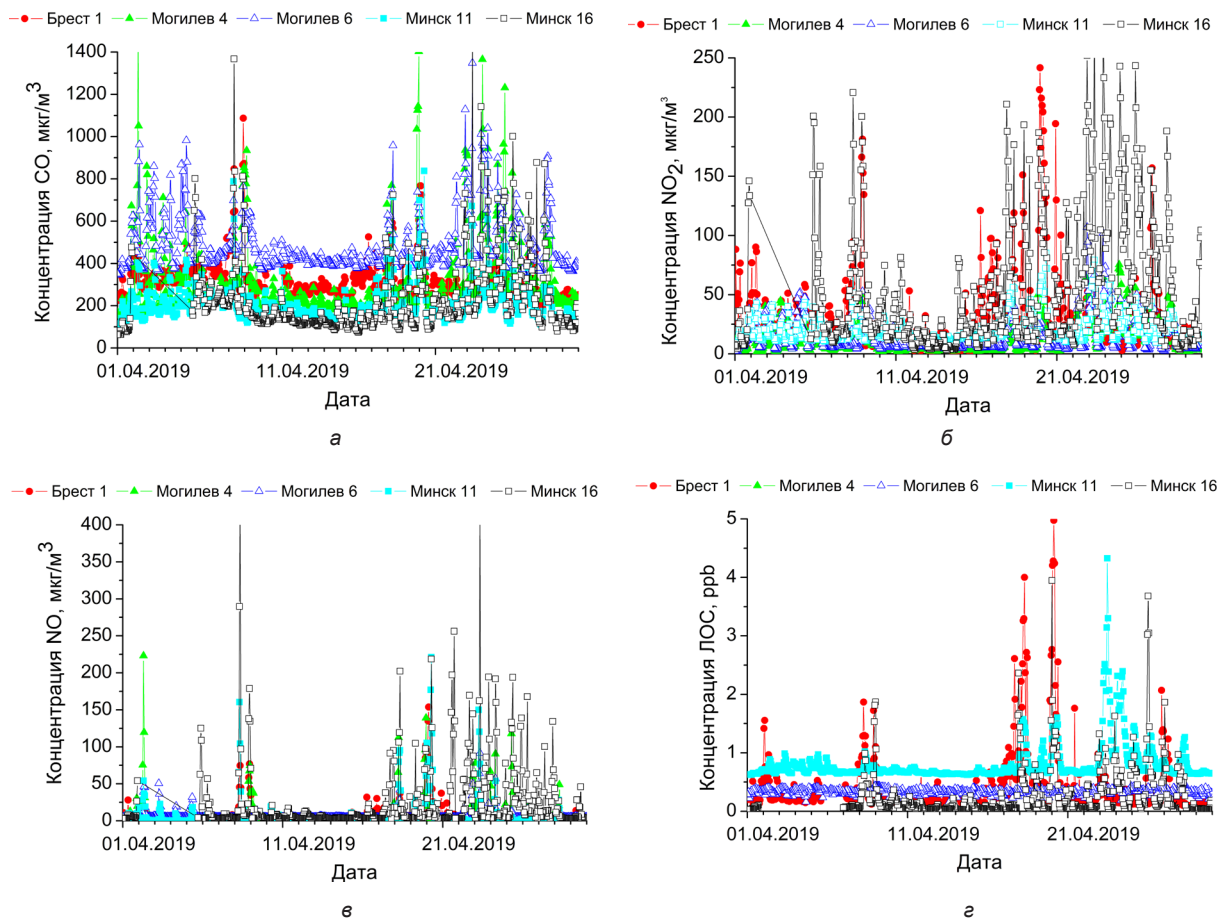


Рис. 8. Концентрации CO (а), NO₂ (б), NO (в) и ЛОС (г) в Бресте, Могилеве и Минске. Апрель 2019 г.

нечного излучения в течение месяца не является причиной «странного» поведения приземного озона.

Вероятнее всего, что основной причиной явилось снижение загрязненности городского воздуха во второй декаде месяца. Поскольку одновременное повсеместное снижение интенсивности источников антропогенных загрязнений просто невероятно, единственной причиной уменьшения концентраций загрязнений в городах являются метеорологические факторы, способные понизить уровень загрязнения воздуха: скорость ветра и интенсивность вертикального перемешивания атмосферы. Скорость ветра в течение месяца существенно не менялась, следовательно, главным фактором, оказавшим влияние на приземный озон во второй декаде апреля, является снижение вертикальной устойчивости атмосферы, способствующее очищению приземного воздуха от антропогенных прекурсоров озона. Определенную роль сыграло также уменьшение температуры воздуха во второй декаде, приводящее к замедлению химических реакций производства и уничтожения озона.

Наземные измерения содержания озона возможны в ограниченном количестве географических точек. Для получения целостной картины пространственно-временного распределения приземного содержания озона привлекается моделирование. В настоящее время разработано несколько десятков глобальных химико-транспортных моделей (моделей переноса атмосферных примесей с учетом химических превращений). Одна из наиболее известных химико-транспортных моделей – GEOS-Chem [13, 14]. В модели используются базы данных поступления химических компонентов и аэрозолей в атмосферу и метеорологические данные. Результатом моделирования является пространственно-временное распределение концентраций атмосферных примесей.

Расчетная сетка модели GEOS-Chem «привязана» к сетке метеорологических полей системы GEOS (Goddard Earth Observing System) [15]. Данные GEOS доступны с 1985 г. по настоящее время. Современные метеоданные представлены с горизонтальным разрешением $0,25^\circ$ по широте и $0,3125^\circ$ по долготу. Данные могут быть усреднены на сетки с более крупными ячейками в целях сокращения вычислительных затрат. Атмосфера по вертикали разбивается на 72 слоя. Для оптимизации расчетов GEOS-Chem позволяет соединять слои в стратосфере, уменьшая таким образом их общее число с 72 до 47.

Ядром химического механизма модели являются взаимные превращения озона, оксидов азота и углеводородов, взаимодействие которых играет ключевую роль в химии тропосферы. При этом учитываются химические реакции в газовой и жидкой фазах, а также кинетические процессы формирования и эволюции аэрозолей. Базы данных поступления компонентов в атмосферу используются как глобальные, так и региональные. Источники газообразных загрязнителей в GEOS-Chem разделены на четыре основные категории: антропогенные источники, сжигание биотоплива, микробиологические процессы, горение биомассы. Отдельно рассматриваются источники аэрозольного загрязнения.

Нами проведены расчеты среднесуточной объемной концентрации (объемной доли) озона, усредненной по приземному слою атмосферы (приблизительно до 100 м по вертикали) и по ячейкам $2^\circ \times 2,5^\circ$. Расчеты выполнялись по версии v12-01 (одна из наиболее полных и современных) модели GEOS-Chem. Используются базы данных поступления химических компонентов и аэрозолей в атмосферу модуля HEMCO (Harvard-NASA Emissions Component) [16], адаптированные для модели GEOS-Chem, в том числе глобальные базы данных антропогенных выбросов CEDS (Community Emissions Data System) [17], POET [18], AEIC (Aircraft Emissions Inventory Code) [19], TZOMPA [20], XIAO [21], BIOFUEL [22], BOND [23], выбросов в результате горения биомассы GFED (Global Fire Emissions Database) [24]. Поступление в атмосферу пыли, морской соли, оксидов азота из почвы и в результате вспышек молний, биогенных летучих органических соединений рассчитываются в модели в зависимости от метеорологических условий.

Проведено сравнение результатов моделирования для ячеек, включающих города Брест, Минск и Могилев, с измерениями в Бресте и Могилеве. Большие размеры ячеек расчетной сетки предполагают, что средние по ячейке результаты, скорее всего, соответствуют сельской местности. Видно, что несмотря на большие размеры ячеек сетки, рассчитанные среднесуточные объемные концентрации озона близки к результатам наблюдений в городах. Моделирование с более высоким пространственно-временным разрешением, планируемое в следующих работах, позволит уточнить оценки качества модели и перспективы ее применения в Беларуси для пространственной детализации поля приземного озона.

Заключение. Анализ результатов наблюдений за приземным озоном, аэрозолями, погодой и концентрациями антропогенных загрязнений позволяет сделать вывод, что основной причиной резкого уменьшения амплитуды суточного хода приземного озона в городах Беларуси во второй декаде апреля 2019 г. явилось повсеместное снижение концентраций прекурсоров озона. В свою очередь причиной указанного снижения оказалось уменьшение вертикальной устойчивости атмосферы в этот период, способствовавшее рассеянию антропогенных загрязнений в атмосфере и снижению их концентраций в приземном слое воздуха. Изменение интенсивности солнечного излучения, вызванное сложной аэрозольной обстановкой, не играло определяющей роли, а вопрос о влиянии аэрозолей на химию приземного озона требует дальнейшего изучения.

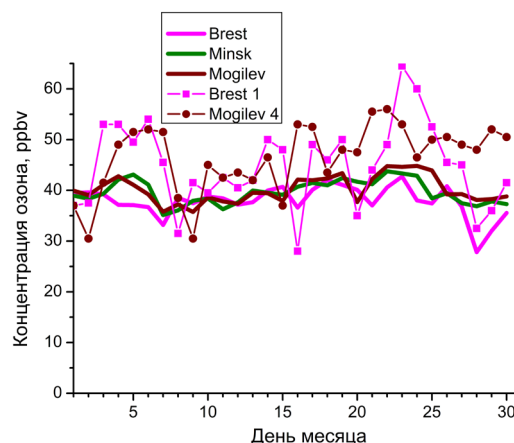


Рис. 9. Сравнение модельных среднесуточных объемных концентраций озона для ячеек, включающих Брест, Минск и Могилев, с результатами наблюдений в Бресте и Могилеве. Апрель 2019 г.

В работах [25, 26] были определены коэффициенты уравнения регрессии, аппроксимирующие зависимость концентрации приземного озона от метеоусловий и концентраций некоторых антропогенных загрязнений, а в [27] показаны примеры расчета концентрации озона в различных городах и в разные годы и их сравнение с результатами наблюдений. Здесь уместно привести аналогичное сравнение с наблюдениями в апреле 2019 г. в Бресте и Могилеве – городах, где имеется полная информация об используемых объясняющих переменных уравнения регрессии (рис. 10).

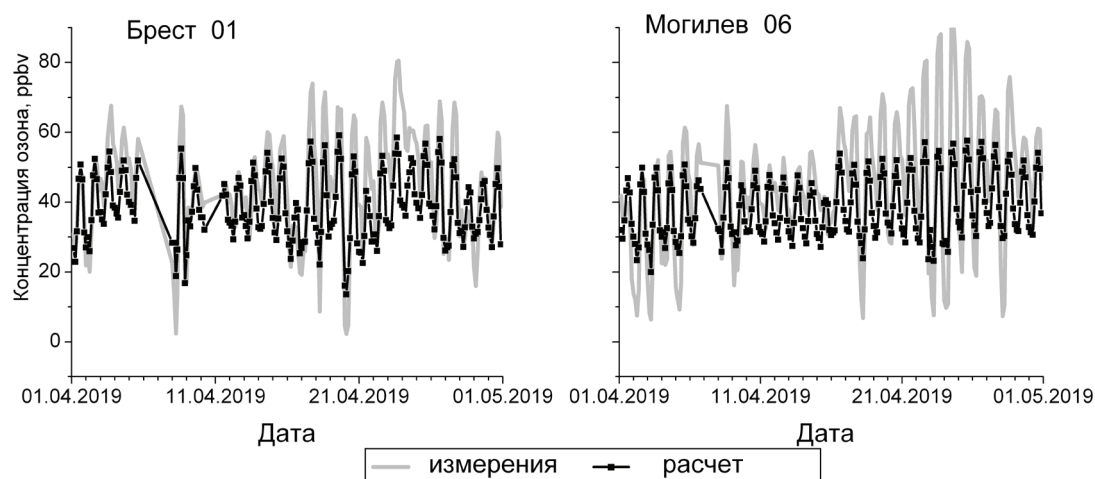


Рис. 10. Сравнение результатов наблюдений в Бресте (пункт 01) и Могилеве (пункт 06) с расчетами по уравнению регрессии [25, 26]. Апрель 2019 г.

Как видно из рис. 10, расчеты вполне удовлетворительно согласуются с данными наблюдений во второй декаде месяца. Однако, хотя расчеты и показывают некоторое увеличение амплитуды суточного хода озона в первой и третьей декадах, увеличение явно не «дотягивает» до результатов наблюдений. Можно заключить, что полученное уравнение регрессии «чувствует» произошедшие изменения, влияющие на приземный озон, но этой чувствительности недостаточно для адекватного описания ситуации. Вероятные причины детально обсуждаются в работе [27], и одной из таких причин является возможное влияние аэрозольных частиц на химические процессы генерации и разрушения озона [2].

Список использованных источников

1. AERONET [Electronic resource]. – Mode of access: <https://aeronet.gsfc.nasa.gov>. – Date of access: 07.06.2019.
2. Marathe, S. A. Multiple Regression Analysis of Ground level Ozone and its Precursor Pollutants in Coastal Mega City of Mumbai, India / S. A. Marathe, S. Murthy, N. Gosawi, M. Herlekar // MOJ Eco Environ Sci. – 2017. – Vol. 2, N 6: 00041. DOI: 10.15406/mojes.2017.02.00041
3. FIRMS [Electronic resource]. – Mode of access: <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>. – Date of access: 13.06.2019.
4. HYSPLIT [Electronic resource]. – Mode of access: https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php. – Date of access: 11.08.2019.
5. Clapp, L. J. Analysis of the relationship between ambient levels of O_3 , NO_2 and NO as a function of NO_x in the UK / L. J. Clapp, M. E. Jenkin // Atmospheric Environment. – 2001. – Vol. 35. – P. 6391–6405.
6. The role of local urban traffic and meteorological conditions in air pollution: A data-based case study in Madrid, Spain / I. Laña [et al.] // Atmospheric Environment. – 2016. – Vol. 145. – P. 424–438. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.052>
7. Finardi, S. Systematic analysis of meteorological conditions causing severe urban air pollution episodes in the Central Po valley / S. Finardi, U. Pellegrini // In: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Proceedings of the 9th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch-Partenkirchen (Germany). – 2004. – P. 250–254.
8. Verma, S. S. Effect of Meteorological Conditions on Air Pollution of Surat City / S. S. Verma, B. Desai // Journal of International Environmental Application & Science. – 2008. – Vol. 3, N 5. – P. 358–367.
9. Суточный ход концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Беларуси / В. В. Божкова [и др.] // Природные ресурсы. – 2018. – № 2. – С. 79 – 87.

10. *Sillman, S.* Tropospheric ozone, smog and ozone-NO_x-VOC sensitivity / S. Sillman // *Treatise on Geochemistry*. – 2003. – Vol. 9. – P. 407–431. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/09053-8>
11. *Aveno, P.* Mechanism of smog photochemical formation in the urban area of Rome / In: Zerefos, C. S. (Ed.), *Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium*, Kos (Greece). – 2004. – P. 936–937.
12. Analysis of the Relationship between O₃, NO and NO₂ in Tianjin, China / S. Han [et al.] // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2011. – Vol. 11. – P. 128–139. doi: 10.4209/aaqr.2010.07
13. GEOS-Chem Model [Electronic resource]. – Mode of access: <http://acmg.seas.harvard.edu/geos>
14. Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation / I. Bey [et al.] // *J. Geophys. Res.* – 2001. – Vol. 106. – P. 23073–23096.
15. GEOS-5 system [Electronic resource]. – Mode of access: <http://gmao.gsfc.nasa.gov/systems/geos5/>
16. GEOS-Chem – HEMCO [Electronic resource]. – Mode of access: <http://wiki.seas.harvard.edu/geos-chem/index.php/HEMCO>
17. A Community Emissions Data System (CEDS) for Historical Emissions // Global Joint Change Research Institute [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.globalchange.umd.edu/ceds/>
18. POET, a database of surface emissions of ozone precursors [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.aero.jussieu.fr/projet/ACCENT/POET.php>
19. *Stettler, M. E. J.* Air quality and public health impacts of UK airports. Part I: Emissions / M. E. J. Stettler, S. Eastham, S. R. H. Barrett // *Atmos. Environ.* – 2011. – Vol. 45. – P. 5415–5424. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.07.012
20. Revisiting global fossil fuel and biofuel emissions of ethane / Z. A. Tzompa-Sosa [et al.] // *J. G. R. Atmosphere*. – 2017. – Vol. 122. – P. 2493–2512. doi.org/10.1002/2016JD025767
21. The global budget of ethane and regional constraints on U.S. sources / Y. Xiao [et al.] // *J. Geophys. Res.* – 2008. – Vol. 113. D21306, doi:10.1029/2007JD009415
22. *Yevich, R.* An assesment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world / R. Yevich, J. A. Logan // *Global Biogeochem. Cycles*. – 2003. – Vol. 17. – P. 1095. doi:10.1029/2002GB001952.
23. Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850–2000 / T. C. Bond [et al.] // *Global Biogeochem. Cycles*. – 2007. – Vol. 21. – GB2018. doi: 10.1029/2006GB002840
24. GFED – Global Fire Emissions Database [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.globalfiredata.org>
25. Статистическая оценка антропогенного воздействия на приземный озон / А. М. Людчик [и др.] // *Природные ресурсы*. – 2015. – № 1. – С. 95–105.
26. Климатическая норма приземного озона в чистой атмосфере Беларуси / В. В. Божкова [и др.] // *Природные ресурсы*. – 2019. – № 2. – С. 98–107.
27. *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. 80–91.

Поступила 16.07.2020

В. И. Мельник¹, И. В. Буяков¹, Н. Г. Пискунович¹, Т. Г. Шумская²*¹Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: v.melnik 2016@mail.ru, buyakov-ivan@mail.ru, phenosphere@gmail.com**²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения
и мониторингу окружающей среды, Минск, Беларусь,
e-mail: apm_agro@hmc.by***ОЦЕНКА ВЛАГОЗАПАСОВ И ПОВТОРЯЕМОСТИ ПОЧВЕННЫХ ЗАСУХ
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ
В ПЕРИОД СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА**

Аннотация. Оценены особенности современных изменений климата Белорусского Полесья за 1989–2018 гг. Дана оценка увлажнения территории Белорусского Полесья по основным критериям: осадкам, коэффициенту увлажнения ГТК Г. Т. Селянинова, запасам влаги. Оценены запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см на постоянных участках с различными по механическому составу дерново-подзолистыми типами почв Белорусского Полесья по данным пунктов государственной сети гидрометеорологических наблюдений. Показана продолжительность почвенных засух и повторяемость лет с почвенной засухой по декадам и месяцам. Приведена динамика числа случаев почвенных засух на территории Белорусского Полесья.

Ключевые слова: Белорусское Полесье, изменение климата, влажность почвы, почвенные засухи, коэффициент увлажнения Селянинова

V. I. Melnik¹, I. V. Buyakov¹, N. G. Piskunovich¹, T. G. Shumskaya²*¹Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: v.melnik 2016@mail.ru, buyakov-ivan@mail.ru, phenosphere@gmail.com**²Republican Center of Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring, Minsk, Belarus,
e-mail: apm_agro@hmc.by***ASSESSMENT OF MOISTURE RESERVES AND FREQUENCY OF SOIL DROUGHTS ON THE TERRITORY
OF BELARUSIAN POLESYE DURING THE PERIOD OF MODERN CLIMATE WARMING**

Abstract. The features of modern climate changes in Belarusian Polesia for 1989–2018 are estimated. An assessment of the moistening of the territory of Belarusian Polesia is given according to the main moistening criteria: precipitation, moisture coefficient of Selyaninov's GTK, moisture reserves. The reserves of productive moisture in the 0–20 cm layer on permanent sites with sod-podzolic soil types of different textures of Belarusian Polesia were estimated according to the data of the points of the state network of hydrometeorological observations. The duration of soil droughts and the recurrence of years with soil droughts for decades and months is estimated. The dynamics of the number of soil droughts on the territory of Belarusian Polesia is given.

Keywords: Belarusian Polesia, climate change, soil moisture, soil droughts, Selyaninov's moisture coefficient

В. І. Мельнік¹, І. В. Буякоў¹, Н. Г. Піскуновіч¹, Т. Р. Шумская²*¹Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: v.melnik 2016@mail.ru, buyakov-ivan@mail.ru, phenosphere@gmail.com**²Рэспубліканскі цэнтр па гідраметэаралогіі, кантролю радыёактыўнага забруджвання і маніторынгу
навакольнага асяроддзя, Мінск, Беларусь, e-mail: apm_agro@hmc.by***АЦЭНКА ЗАПАСАЎ ВІЛЬГАЦІ І ПАЎТАРАЛЬНАСЦІ ГЛЕБАВЫХ ЗАСУХ НА ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСКАГА ПАЛЕССЯ
ЗА ПЕРЫЯД СУЧАСНАГА ПАЦЯПЛЕННЯ КЛІМАТУ**

Анатацыя. Прыведзены асаблівасці сучасных змен клімату Беларускага Палесся за 1989–2018 гг. Дадзена ацэнка ўвільгатнення тэрыторыі Беларускага Палесся па асноўных крытэрыях: ападках, каэфіцыенту ўвільгатнення ГТК Селянінава, запасах вільгаці. Ацэнены запасы прадуктыўнай вільгаці ў пласце 0–20 см на пастаянных участках з рознымі па механічнаму саставу дзярнова-падзолістымі тыпамі глеб Беларускага Палесся па дадзеных пунктаў дзяржаўнай сеткі гідраметэаралагічных назіранняў. Паказана працягласць глебавых засух і паўтаральнасць гадоў з глебавай засухай па дэкадах і месяцах. Прыведзена дынаміка колькасці глебавых засух на тэрыторыі Беларускага Палесся.

Ключавыя словы: Беларускае Палессе, змяненне клімату, вільготнасць глебы, глебавыя засухі, каэфіцыент увільгатнення Селянінава

Введение. Современные климатические изменения в Беларуси синхронизированы с глобальными тенденциями, формируют новые климатические условия регионов и оказывают существенное влияние на климатозависимые сектора экономики. В условиях современного изменения климата становится актуальной проблема засух и засушливых явлений в Республике Беларусь, требующая принятия действенных мер к адаптации и смягчению ее последствий.

Особенно это касается территории Белорусского Полесья, где негативные последствия изменения климата (высокие температуры воздуха, увеличение повторяемости волн тепла, засух и др.) проявляются в большей мере. Отрицательное влияние засух на растениеводческую отрасль во многом обусловлено преобладанием в структуре сельскохозяйственных земель Полесского региона легких песчаных и рыхлых супесчаных (66,7 %) и осушенных мелкозалежных торфяных (12,5 %) почв, наиболее чувствительных к погодным условиям и климатическим изменениям. Изменения основных климатических показателей (температура воздуха, осадки, ветер, показатели увлажнения) за период современного потепления на территории Белорусского Полесья достаточно хорошо изучены [1–4], в то же время исследований по оценке запасов влаги в почве, почвенных засух проведено недостаточно. Исследования водного режима почв Беларуси, включая Белорусское Полесье, за период современного потепления не носят систематический характер и изложены в отдельных работах [5–7]. Поэтому сохраняет свою актуальность вопрос оценки количественных показателей содержания продуктивной влаги в почве и пространственно-временных особенностей повторяемости почвенных засух для выработки конкретных рекомендаций по использованию наиболее уязвимых к засухам почв.

Цель настоящего исследования – дать оценку изменения основных климатических показателей (температуры воздуха, осадков, ГТК Селянинова), запасов влаги и почвенных засух сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья за период потепления (1989–2018 гг.).

Материалы и методы исследований. Исходными данными для выполнения работы явились данные Государственного климатического кадастра, полученные в результате многолетних метеорологических наблюдений государственной сети гидрометеорологических наблюдений; запасы продуктивной влаги почвы в слое 0–20 см под сельскохозяйственными культурами на постоянных наблюдательных полевых участках государственной сети гидрометеорологических наблюдений Брестской и Гомельской областей за период 1989–2018 гг., определенные в соответствии с ТКП 17.10-09-2008 (02 120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила организации агрометеорологических наблюдений и работ». Анализ материалов, построение рисунков, таблиц выполнено с применением программного пакета MS Office Excel. Расчет значений ГТК по месяцам за период 1958–1988 гг. выполнен с использованием сеточного архива метеорологических данных, разработанного в Центре климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси [8].

Результаты и их обсуждение

Современные изменения климата Белорусского Полесья. В Полесском регионе, как и в целом на территории Беларуси, с конца 1980-х годов отмечаются изменения климата. Особенностью этих изменений, начиная с 1989 года, является рост температуры воздуха, высокая повторяемость теплых зим, раннее наступление весенних процессов, увеличение продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода, незначительное увеличение (в среднем на 3–4 %) годового количества осадков, увеличение повторяемости засух, волн тепла, высоких температур воздуха и др. [1–4].

Потепление климата в Белорусском Полесье, как и на всей территории Беларуси, наблюдается во все без исключения месяцы года. Оно наиболее выражено в зимне-весенний (март–апрель), а также в летний (июнь–август) периоды [1, 3]. Последние исследования показали наибольший рост температуры воздуха в весенний и летний периоды за последнее десятилетие (2009–2018 гг.) по сравнению с предыдущим десятилетием по всем областям и особенно в Гомельской области [9]. В Гомельской области отмечены самые высокие средние температуры за весенний (8,8 °C) и летний (19,5 °C) периоды за указанное десятилетие. Для сравнения: в Брестской области средняя температура в последнем десятилетии составила весной 8,6 °C, летом – 18,9 °C.

В рассматриваемый период на территории Полесского региона отмечается незначительный рост осадков. Примерно с 1990-х годов количество осадков в Гомельской области превышает

количество осадков в Брестской области. Как показали последние исследования, это увеличение вызвано изменениями атмосферной циркуляции, большей лесистостью территории восточной части Белорусского Полесья, что приводит к увеличению шероховатости поверхности [2]. Полесский регион отличается большей повторяемостью атмосферных и почвенных засух, что связано с более высоким температурным режимом, недостаточным увлажнением и более легкими по механическому составу почвами. За последнее тридцатилетие наиболее обширные и интенсивные засухи, нанесяшие наибольший ущерб сельскохозяйственному производству региона, отмечены в 1989-м, 1992, 1994, 1999, 2002, 2004, 2010, 2013, 2014, 2015, 2018-м гг. В Беларуси за последний период засушливые условия в 2014–2018 гг. наиболее сильно отразились на влагообеспеченности Брестской и Гомельской областей. Среднегодовое количество осадков в 2014 и 2015 гг. здесь было на 18 и 21 % ниже нормы соответственно (Гомельская область). Таких низких годовых значений количества осадков не наблюдалось с 1950–60-х годов (рис. 1).

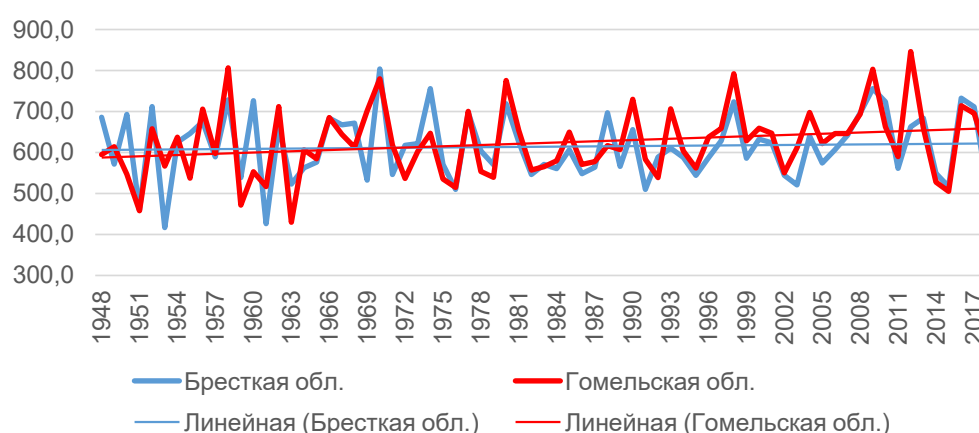


Рис. 1. Изменение годового количества осадков (мм) за 1948–2018 гг. по Брестской и Гомельской областям

Для Полесья снижение осадков в 2014–2015 гг. имело негативные последствия. В эти годы существенно ухудшились влагообеспеченность почв и условия произрастания сельскохозяйственных культур, произошло резкое снижение уровней грунтовых вод. В наибольшей степени это проявилось на мелиорируемых землях, являющихся особенно требовательными к поддержанию оптимальных уровней грунтовых вод [10]. Анализ выпадения атмосферных осадков по месяцам по территории Белорусского Полесья за указанный период потепления по сравнению с климатической нормой (1961–1990 гг.) показывает уменьшение осадков уже в апреле, что приводит в отдельные годы к ранним почвенным засухам (см. далее). По остальным месяцам наблюдается увеличение осадков в зимний период, а также в мае и июле, сентябре и октябре и существенное их уменьшение в июне, августе (рис. 2).

Как показали исследования, до 2000-го года годовое количество осадков превышало годовую испаряемость на всей территории Беларуси, причем в северных регионах это превышение доходило до 300 мм [10]. За период 2000–2019 гг. соотношение между осадками и испаряемостью поменялось кардинальным образом. В настоящее время отрицательный баланс (превышение испарения над осадками) наблюдается на всей территории Брестской и Гомельской областей, нулевой баланс — на юге Гродненской, Минской и Могилевской областей, а максимальное значение этого баланса в остальной части страны не превышает 150 мм (рис. 3).

Такое снижение водного баланса вызвано ростом температуры воздуха, а вместе с этим и увеличением влагоемкости атмосферы при отсутствии существенного роста годового количества атмосферных осадков [10].

Оценки увлажнения территории Белорусского Полесья. Для оценки засушливых явлений используются различные количественные критерии, учитывающие такие параметры, как макси-

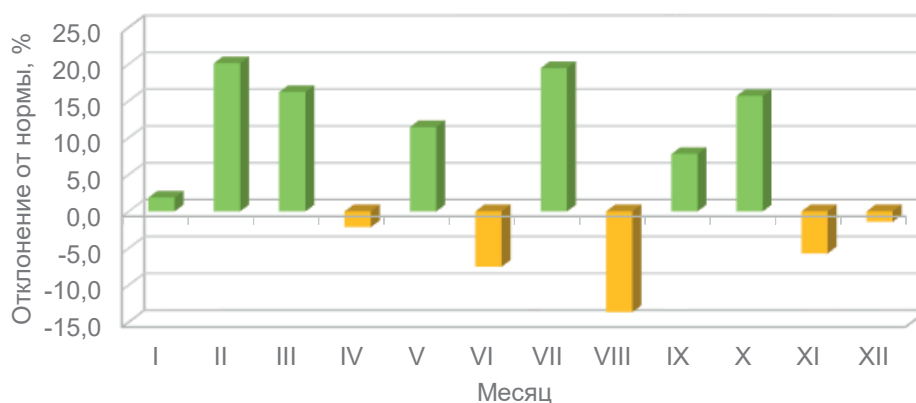


Рис. 2. Отклонение месячных сумм осадков за 1989–2018 гг. по Полесскому региону от климатической нормы

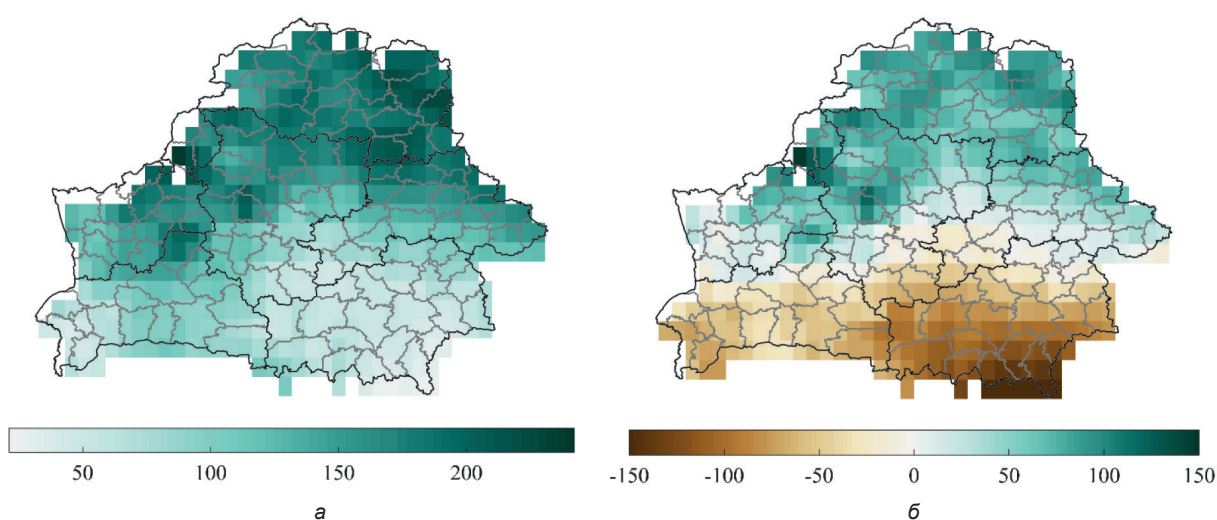


Рис. 3. Разница между среднегодовым количеством осадков и потенциальным испарением (испаряемостью) в периоды 1980–1999 гг. (а) и 2000–2019 гг. (б) (по С. А. Лысенко)

мальная температура воздуха, количество осадков, влажность воздуха, запасы влаги в почве, комплексные показатели увлажнения территории: ГТК Селянинова, показатель увлажнения Шашко, индекс засушливости Педя и др.; индексы засушливости, рекомендуемые ВМО: индекс Палмера PDSI (Palmer Drought Severity Index), стандартизованный индекс осадков (Standardized Precipitation Index, SPI), стандартизованный индекс «осадки – испарение» (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI) и др. В данной работе для оценки увлажнения территории наряду с количеством осадков использовался гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) и запасы продуктивной влаги в почве в слое 0–20 см.

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

Оценка увлажнения территории по ГТК. Анализ степени увлажнения территории Белорусского Полесья по гидротермическому коэффициенту Селянинова показывает уменьшение величин гидротермического коэффициента ГТК за период потепления. Это уменьшение, несмотря на незначительное увеличение осадков, связано в первую очередь с ростом температуры

и в целом говорит об увеличении засушливости территории в период активной вегетации растений (рис. 4, 5).

Оценка увлажнения территории Гомельской и Брестской областей по коэффициенту увлажнения ГТК в целом за период активной вегетации с суммами температур выше 10 °С и месяцам летнего периода показала следующее:

на большинстве станций наблюдается уменьшение ГТК за период активной вегетации с суммами температур выше 10 °С за период потепления (1989–2018 гг.) по сравнению с периодом до потепления (1958–1988 гг.). Следует отметить более высокие значения ГТК по территории Гомельской области за период потепления по сравнению с Брестской, что вызвано относительно большим количеством осадков в Гомельской области;

в июне уменьшение ГТК наблюдается на большинстве станций Полесского региона, которое вызвано снижением количества осадков по сравнению с климатической нормой за счет изменений глобальных циркуляционных процессов в атмосфере;

в июле практически на всех станциях Брестской и особенно Гомельской области (кроме станций Брест, Брагин) наблюдается рост ГТК, вызванный увеличением конвективных осадков;

в августе в связи с увеличением температуры и существенным уменьшением осадков на всех станциях наблюдается заметное снижение ГТК. Следует отметить, что на ряде станций в августе за период потепления средние значения ГТК составляли 0,9–1,0, что характеризует условия увлажнения территории как засушливые. В отдельные годы (1992, 2002, 2010, 2013, 2015) значения ГТК по некоторым станциям в августе не превышали 0,02–0,3, что характеризует условия увлажнения как сухие и очень сухие.

Оценка влагозапасов почв. В данной работе для оценки влагозапасов почв Белорусского Полесья были использованы запасы продуктивной влаги почвы в слое 0–20 см на постоянных наблюдательных полевых участках государственной сети гидрометеорологических наблюдений

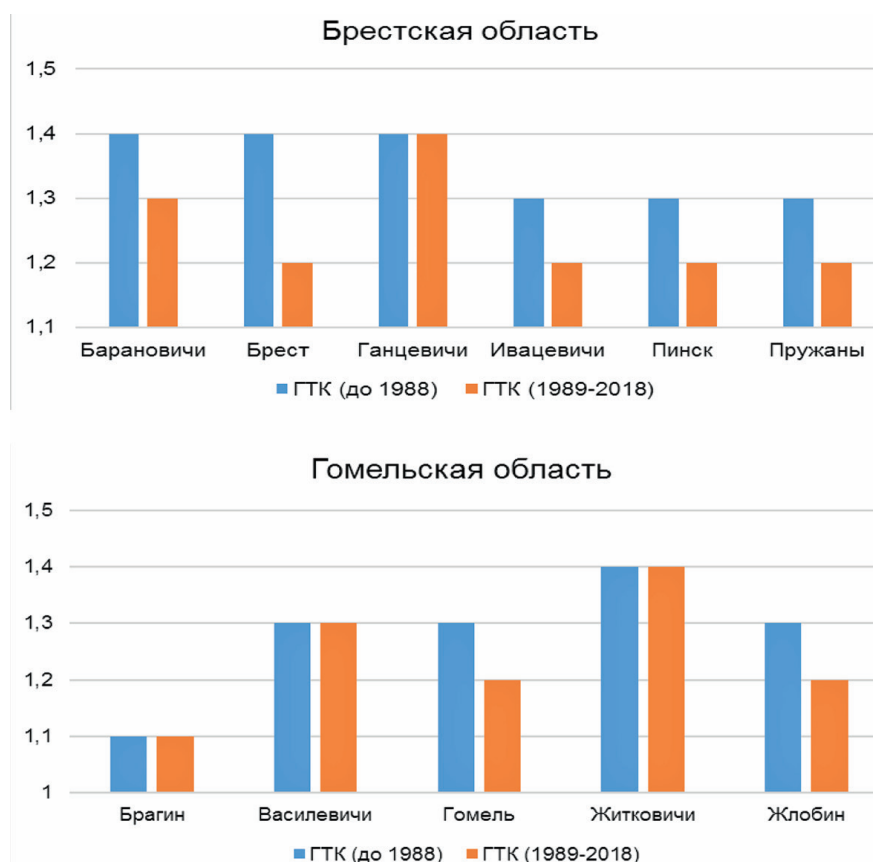


Рис. 4. Изменение ГТК за период с температурами выше 10 °С до потепления (1958–1988 гг.) и за период потепления (1989–2018 гг.) по станциям Брестской и Гомельской областей

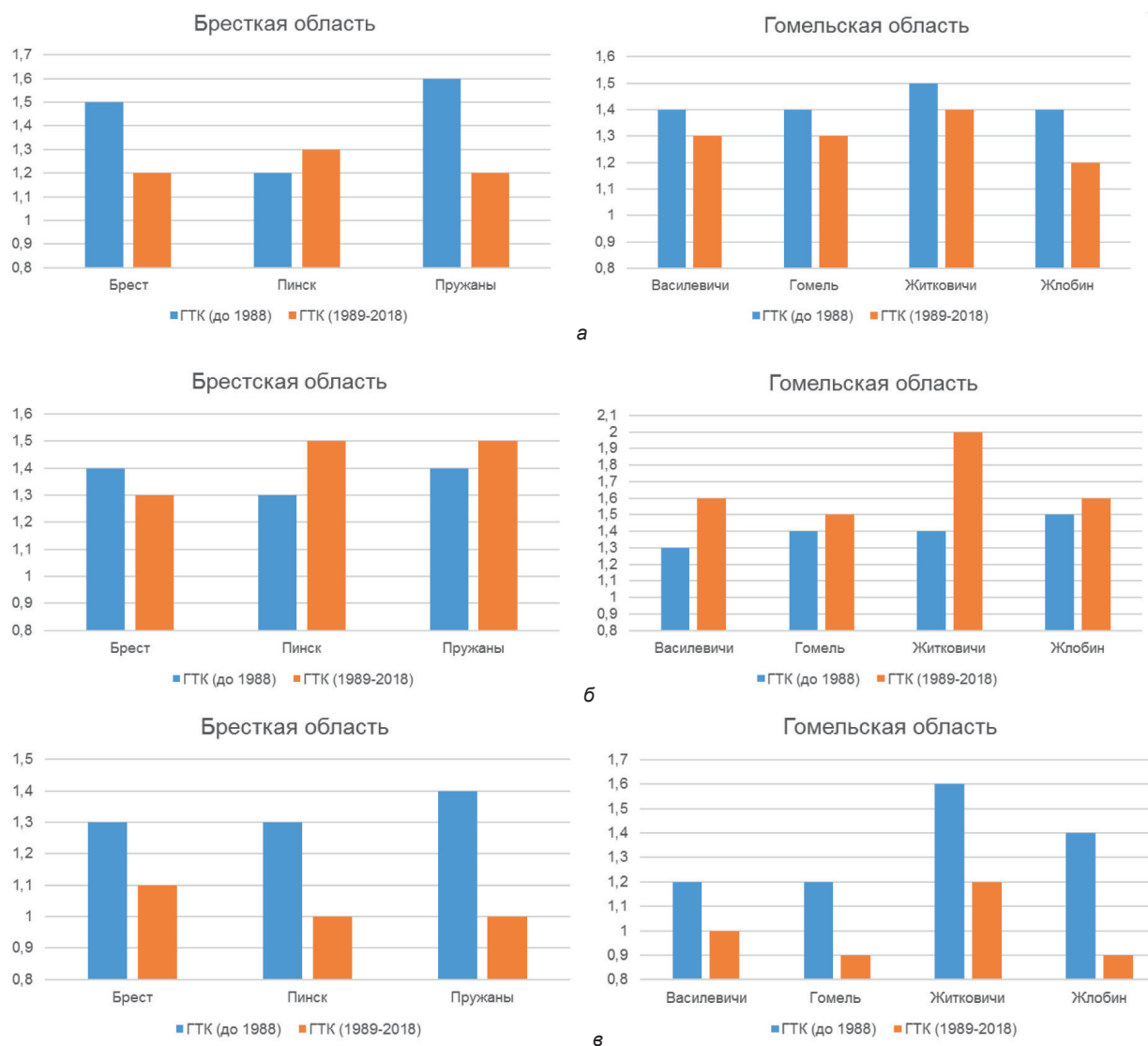


Рис. 5. Изменение увлажнения (ГТК) на территории Брестской и Гомельской областей по месяцам до потепления (1958–1988 гг.) и за период потепления (1989–2018 гг.), а – июнь, б – июль, в – август

Брестской и Гомельской областей за период 1989–2018 гг., определенные в соответствии с ТКП 17.10-09-2008 (02 120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила организации агрометеорологических наблюдений и работ». Началом почвенной засухи считались запасы продуктивной влаги 10 мм и менее в слое 0–20 см [11]. Как известно, на величину влагозапасов влияет ряд факторов (температура и количество выпадающих осадков, уровни грунтовых вод, механический состав почв, местоположение участка и др.). На территории Белорусского Полесья за период потепления в целом наблюдается тенденция снижения запасов влаги в верхнем слое почвы (рис. 6). Минимальные запасы влаги были отмечены в 2015-м и 2018-м годах вследствие высоких температур воздуха и дефицита осадков.

Запасы влаги в 2015–2016-х годах, особенно в Гомельской области, вследствие высоких температур воздуха и недостаточного количества осадков оказались рекордно низкими за весь период потепления. Данные запасов продуктивной влаги в слое 0–20 см на постоянных полевых участках и сведения о механическом составе почв полевых участков по станциям Брестской и Гомельской областей приведены в табл. 1. Как видно из содержания табл. 1 на начало вегетационного периода (1-я декада апреля) на территории Белорусского Полесья влагозапасы

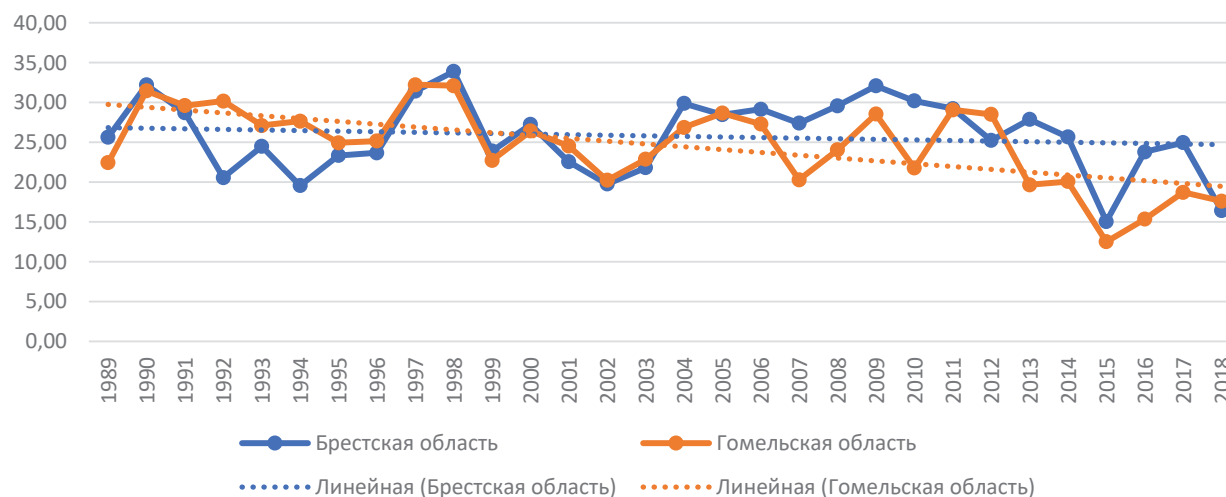


Рис. 6. Изменение средних запасов продуктивной влаги (мм) в слое 0–20 см по Брестской и Гомельской областям за (май–август) за период потепления (1989–2018 гг.)

в верхнем пахотном горизонте достаточны и составляют от 30–54 мм в Брестской области и до 34–49 мм в Гомельской. В дальнейшем вследствие расхода почвенной влаги растениями и увеличения испарения идет снижение влагозапасов до 16–27 мм, особенно в июне и августе. В эти месяцы повторяемость почвенной засухи на большинстве станций достигает 30–40 %. Следует отметить, что за период потепления на станциях Брест (1993), Полесская (1999, 2007), Лельчицы (2009), Мозырь (1993) начало почвенной засухи отмечено в третьей декаде апреля, а на станции Полесская даже во второй декаде апреля (1994), чего раньше не наблюдалось. Уменьшение запасов влаги в апреле обусловлено более ранними весенними процессами, ростом температуры воздуха и снижением количества осадков. Наибольшая повторяемость почвенных засух отмечается на участках с песчаными и рыхлыми супесчаными почвами, подстилаемых песками: Брест, Дрогичин, Полесская, Пружаны, Гомель, Октябрь, Мозырь, Василевичи. Наименьшая повторяемость почвенных засух отмечена на станциях Житковичи и Пинск (рис. 7).

Результаты исследований показали, что за период потепления повторяемость почвенных засух в целом по Брестской области (наличие засухи хотя бы в одном районе) выше, чем в Гомельской в большинстве месяцев вегетационного периода (табл. 2). Наибольшая повторяемость почвенных засух по областям наблюдается в июне (Брестская – 87 %, Гомельская – 77 %) и августе (80 % в обеих областях). В целом, как видно из табл. 2, почвенные засухи в Белорусском Полесье наблюдаются практически ежегодно, в Гомельской области за период потепления только в 1997 г. не наблюдались почвенные засухи.

Если проанализировать в целом динамику среднего числа случаев (числа декад) с почвенными засухами по областям за период потепления можно отметить две особенности.

1. Наблюдается положительный тренд роста количества случаев почвенных засух в обеих областях, что является следствием увеличения засушливости территории. Особенно существенный рост почвенных засух наблюдался за период 2015–2018 гг.

2. Наблюдается цикличность числа почвенных засух на территории Белорусского Полесья с периодом 9–12 лет, которая может быть вызвана цикличностью глобальных процессов в атмосфере в связи с изменением климата. Изменения глобальных процессов в атмосфере, как показывают исследования, обусловлены влиянием ряда факторов: космических, антропогенных, изменением температуры воды Мирового океана и др. [12]. Исходя из цикличности числа почвенных засух, можно с осторожным оптимизмом прогнозировать уменьшение почвенных засух в вегетационный период в 2019–2022 гг. и их максимальный рост примерно к 2025–2026 гг. (рис. 8).

Т а б л и ц а 1. Средние запасы продуктивной влаги в почве в слое 0–20 см по метеостанциям Брестской и Гомельской областей на постоянных полевых участках за 1989–2018 гг.

Область	Станция	Март			Апрель			Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь			Ноябрь		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Брестская	Барановичи				54	50	46	39	35	30	25	24	28	28	30	32	27	23	26	28	32	33	36	39	42	43	53	47
	Брест				35	33	27	29	26	21	18	20	18	20	19	20	20	20	20	22	23	24	26	27	28	33	36	34
	Высокое				45	45	39	36	34	28	25	25	24	23	23	24	24	24	23	27	29	29	32	32	35	42	41	43
	Ганцевичи				42	40	36	35	33	30	27	25	29	29	29	27	25	25	25	27	28	30	34	35	36	41	38	46
	Дрогичин				34	33	28	27	28	28	25	24	27	27	28	26	23	21	20	25	25	23	25	27	28	34	35	36
	Ивацевичи				46	43	39	35	31	26	23	22	24	28	27	26	27	26	27	30	28	31	35	37	38	40	43	45
	Пинск				54	52	48	44	41	38	34	31	31	31	30	30	28	26	27	29	30	33	35	39	41	46	48	48
	Полесская				30	27	26	24	22	17	18	16	21	20	21	21	21	20	19	19	22	24	26	28	30	31	32	34
	Пружаны				41	38	34	30	28	26	20	16	19	19	24	24	25	24	22	28	29	29	31	32	33	35	38	44
	Василевичи				35	35	31	29	30	27	24	24	22	22	24	25	19	16	17	23	21	21	23	30	35	36	36	35
Гомельская	Гомель				42	39	36	30	32	29	26	27	25	22	21	19	17	18	19	22	20	22	28	32	34	41	44	38
	Житковичи				40	38	35	31	31	35	26	25	26	27	27	28	20	23	23	26	28	26	32	33	34	40	42	42
	Жлобин				49	50	44	40	38	33	31	28	28	25	30	27	24	26	26	28	28	31	35	36	36	46	48	41
	Лельчицы				35	33	29	27	28	25	22	22	23	23	26	26	21	22	23	25	30	28	28	31	30	35	29	32
	Мозырь				35	36	30	29	29	27	24	24	26	26	23	24	19	23	26	28	26	26	29	29	28	26	31	36
	Октябрь				34	31	30	27	27	24	21	20	20	20	20	19	17	16	16	21	21	21	27	27	29	36	33	32

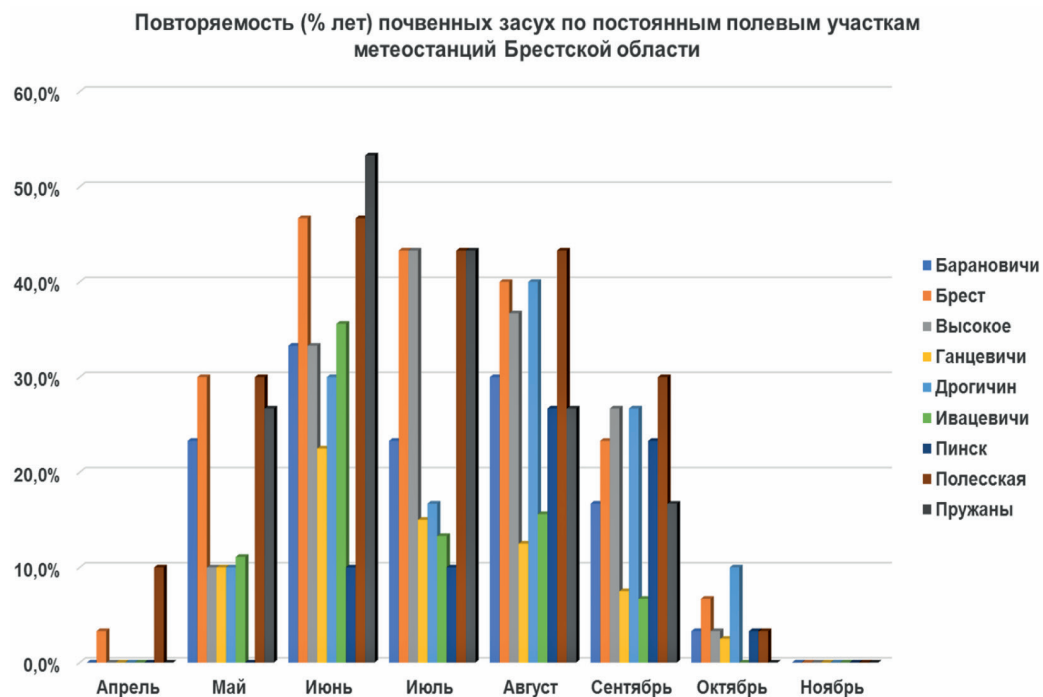


Рис. 7. Повторяемость почвенных засух в слое 0–20 см по месяцам на постоянных полевых участках по данным пунктов наблюдений Брестской и Гомельской областей

Т а б л и ц а 2. Повторяемость (%) почвенных засух по областям

Область	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Апрель–октябрь
Брестская	13	57	87	70	80	47	20	100
Гомельская	7	43	77	70	80	40	13	97

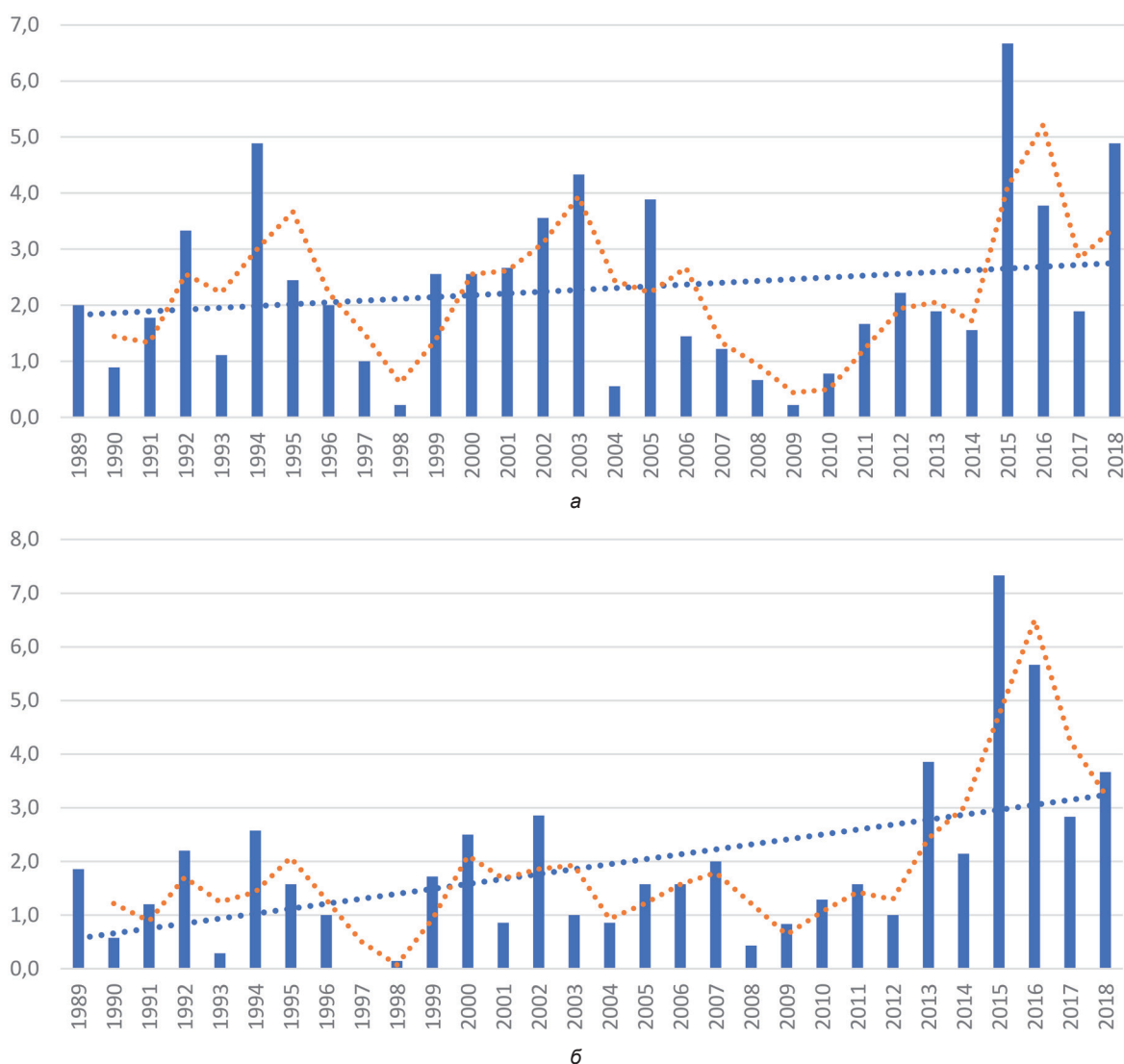


Рис. 8. Изменение среднего числа случаев с почвенными засухами (суммарное количество декад с почвенными засухами в каждом году, деленное на количество станций) по Брестской (а) и Гомельской (б) областям за май–октябрь 1989–2018 гг. ... – линия 3-летних скользящих средних

Заключение. На большинстве станций Белорусского Полесья наблюдается уменьшение ГТК за период активной вегетации с суммами температур выше 10 °С за период потепления (1989–2018 гг.) по сравнению с периодом до потепления (1958–1988 гг.), что характеризует ухудшение условий увлажнения. Более высокие значения ГТК на территории Гомельской области вызваны большим количеством осадков по сравнению с Брестской.

В июне уменьшение ГТК наблюдается на большинстве станций Полесского региона, которое вызвано снижением количества осадков по сравнению с климатической нормой за счет изменений глобальных циркуляционных процессов в атмосфере. В июле практически на всех станциях Брестской и особенно Гомельской области (кроме станций Брест, Брагин) наблюдается рост ГТК, вызванный увеличением конвективных осадков. В августе в связи с увеличением температуры и существенным уменьшением осадков на всех станциях наблюдается заметное снижение ГТК. На ряде станций в августе средние значения ГТК составляют 0,9–1,0, что характеризует условия увлажнения территории как засушливые.

На территории Белорусского Полесья за период потепления в целом наблюдается тенденция снижения запасов влаги в верхнем слое почвы. Наблюдается положительный тренд роста

количества случаев почвенных засух в обеих областях, что является следствием увеличения засушливости территории. На территории Белорусского Полесья почвенные засухи наблюдаются практически ежегодно, в Гомельской области за период потепления только в 1997 г. почвенных засух не происходило. За период потепления наблюдается цикличность числа почвенных засух на территории Белорусского Полесья с периодом 9–12 лет, которая может быть вызвана цикличностью глобальных процессов в атмосфере в связи с изменением климата.

Список использованных источников

1. Мельник, В. И. Современные изменения климата на мелиорированных торфяных почвах Белорусского Полесья / В. И. Мельник, Е. В. Комаровская, С. М. Кравцова // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: зб. навук. працаў VIII Міжнарод. навук. канф., Брэст, 12–14 верасня 2018 г.; Палескі аграр.-экалагіч. ін-т НАН Беларусі; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд) і інш. – Брэст: Альтэрнатыва, 2018. – Вып. 11. – С. 74–77.
2. Логинов, В. Ф. Особенности изменения осадков в Белорусском Полесье в современный период / В. Ф. Логинов, В. И. Мельник // Природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 108–116.
3. Данилович, И. С. Современные изменения климата Белорусского Полесья: причины, следствия, прогнозы / И. С. Данилович, В. И. Мельник, Б. Гейер // Журн. Бел. гос. ун-та. Сер. География. Геология. – 2020. – № 1. – С. 3–13.
4. Авраменко, Н. М. Климатические изменения на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства за период инструментальных наблюдений / Н. М. Авраменко // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф. 14–17 сентября 2016 г. – Минск: Беларус. навука, 2016. – Т. 1. – С. 318–322.
5. Романова, Т. А. Водный режим почв Беларуси / Т. А. Романова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 144 с.
6. Вихров, В. И. Пространственная корреляция показателей почвенных засух на территории Беларуси / В. И. Вихров // Мелиорация. – 2016. – № 2 (76). – С. 40–45.
7. Шпендик, Н. Н. Запасы продуктивной влаги в минеральных почвах Беларуси: оценка и прогноз / Н. Н. Шпендик; автореф. дис. ... канд. географ. наук. – Минск, 2008. – 22 с.
8. Лысенко, С. А. Сеточный архив метеорологических данных Республики Беларусь и возможности его применения для исследования пространственно-временных особенностей изменений климата / С. А. Лысенко, В. Д. Чернышев, В. В. Коляда // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 17–27.
9. Мельник, В. И. Основные результаты мониторинга изменения климата на территории Республики Беларусь / В. И. Мельник // Фитосанитарная ситуация в Беларуси в условиях изменения климата; Институт защиты растений; под ред. С. В. Сороки, Е. А. Якимович. – Минск: Колорград, 2019. – С. 5–13.
10. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник: 2-е изд. доп. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
11. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23 января 2007 года № 75. «О реализации закона Республики Беларусь «О гидрометеорологической деятельности».
12. Логинов, В. Ф. Космические факторы климатических изменений / В. Ф. Логинов. – Минск: Беларус. навука, 2020. – 168 с.

Поступила 01.09.2020

ISSN 1810-9810 (Print)

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

УДК 504.064-034 (47+57)

В. Д. Чернюк, Т. И. Кухарчик*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru, tkukharchyk@gmail.com***ПОЛИМЕРНЫЕ ОТХОДЫ, ПОТЕНЦИАЛЬНО СОДЕРЖАЩИЕ
БРОМИРОВАННЫЕ АНТИПИРЕНЫ: ОБЪЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ,
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА В БЕЛАРУСИ**

Аннотация. Полимерные отходы электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО), являясь ценным вторичным ресурсом, требуют особого подхода к обращению в связи с возможностью содержания в них бромированных антипиренов, включая полибромдифениловые эфиры (ПБДЭ). ПБДЭ относятся к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) и регулируются Стокгольмской конвенцией о СОЗ. В соответствии с международными обязательствами необходимо выявление загрязненных отходов и предотвращение их вторичной переработки. Приведены результаты оценки объемов образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси с учетом типов оборудования, используемого городским и сельским населением. Общий объем образования полимерных отходов ЭЭО по состоянию на 2018 г. оценивается в 9,3 тыс. т, из которых примерно 2,3 тыс. т могут содержать ПБДЭ. Показано, что около 25 % общего их объема приходится на долю г. Минска, 25 % – на долю крупных городов. На большей части территории Беларуси (в 67 % административных районов) объемы образования относительно невелики и варьируют от 10 до 50 т; их вклад составляет 18,3 %. Установлено, что вторичной переработкой охвачено в среднем 23 % образующихся отходов пластика ЭЭО с диапазоном по административным областям от 10 % (в Гродненской) до 31 % (в Гомельской). Необходимо нормативное техническое обеспечение регулирования обращения с полимерными отходами ЭЭО для предотвращения циркуляции опасных веществ вследствие вторичной переработки.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители, полибромдифениловые эфиры, отходы ЭЭО, вторичная переработка

V. D. Chernyuk, T. I. Kukharchyk*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru, tkukharchyk@gmail.com***PLASTIC WASTES POTENTIALLY CONTAINING BROMINATED FLAME RETARDANTS:
VOLUMES, SPATIAL DISTRIBUTION AND RECYCLING IN BELARUS**

Abstract. Plastic waste of electronic and electrical equipment (EEE), being a valuable secondary resource, requires a special approach to management due to the possibility of containing brominated flame retardants, including polybromodiphenyl ethers (PBDE). PBDEs are persistent organic pollutants (POPs) and have been listed under the Stockholm Convention on POPs. In accordance with international obligations it is necessary to identify contaminated waste and prevent its recycling. In the article the results of assessing the volume of plastic waste of EEE in Belarus formation by urban and rural population, taking into account the types of equipment, is presented. The total volume of EEE waste in 2018 is estimated at 9.3 thousand tons, of which approximately 2.3 thousand tons may contain PBDEs. It is shown that about 25 % of their total volume is formed in Minsk, 25 % – in large cities. Within the most of the territory of Belarus (in 67 % of administrative districts), the volume of plastic waste of EEE is relatively small and varies from 10 to 50 tons; their contribution is 18.3 %. It was found that only 23 % of the generated plastic waste of EEE with a range in administrative areas from 10% (in Grodno) to 31% (in Gomel) is recycled. Technical guidelines are needed to manage of plastic waste of EEE to prevent the circulation of hazardous substances.

Keywords: persistent organic pollutants, polybromodiphenyl ethers, EEE waste, recycling

У. Д. Чарнюк, Т. І. Кухарчык

*Институт прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru, tkukharchyk@gmail.com*

ПАЛІМЕРНЫЯ АДХОДЫ, ЯКІЯ ПАТЭНЦЫЯЛЬНА ЎТРЫМЛІВАЮЦЬ БРАМІРАВАНЫЯ АНТЫПІРЭНЫ: АБ'ЁМЫ ЎТВАРЭННЯ, ТЭРЫТАРЫЯЛЬНАЕ РАЗМЕРКАВАННЕ, ДРУГАСНАЯ ПЕРАПРАЦОЎКА Ў БЕЛАРУСІ

Анатацыя. Палімерныя адходы электроннага і электратэхнічнага абсталявання (ЭЭА), з'яўляючыся каштоўным другасным рэсурсам, патрабуюць асаблівага падыходу да звароту ў сувязі з магчымасцю ўтрымання ў іх браміраваных антыпірэнаў, уключаючы полібромдыфенілавыя эфіры (ПБДЭ). ПБДЭ адносяцца да стойкіх арганічных забруджвальнікаў (САЗ) і, у адпаведнасці з міжнароднымі абавязкамі, прынятымі на Стасгольмскай канвенцыі аб САЗ, неабходна выяўленне забруджаных адходаў і прадухіленне іх паўторнага выкарыстання. Прыведзены вынікі ацэнкі аб'ёмаў утварэння палімерных адходаў ЭЭА на тэрыторыі Беларусі з улікам тыпаў абсталявання, якое выкарыстоўваецца гарадскім і сельскім насельніцтвам. Агульны аб'ём утварэння палімерных адходаў ЭЭА па стане на 2018 г. ацэньваецца ў 9,3 тыс. т, з якіх прыкладна 2,3 тыс. т могуць утрымліваць ПБДЭ. Паказана, што каля 25 % агульнага іх аб'ёму прыпадае на долю г. Мінска, 25 % – на долю буйных гарадоў. На большай частцы тэрыторыі Беларусі (у 67 % адміністрацыйных раёнаў) аб'ёмы ўтварэння адносна невялікія і знаходзяцца ў дыяпазоне ад 10 да 50 т; іх уклад складае 18,3 %. Устаноўлена, што другаснай перапрацоўкай ахоплена ў сярэднім 23 % утвораных адходаў пластыку ЭЭА з дыяпазонам па адміністрацыйных абласцях ад 10 % (у Гродзенскай) да 31 % (у Гомельскай). Неабходна нарматыўнае тэхнічнае забеспячэнне рэгулявання абыходжання з палімернымі адходамі ЭЭА для прадухілення цыркуляцыі небяспечных рэчываў з прычыны іх паўторнага выкарыстання.

Ключавыя словы: стойкія арганічныя забруджвальнікі, полібромдыфенілавыя эфіры, адходы ЭЭА, другасная перапрацоўка

Введение. Отходы электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО) и их переработка в настоящее время становятся глобальной проблемой в связи с быстрорастущими объемами их образования, а также необходимостью регулирования содержащихся в них опасных веществ. По данным [1, 2], в 2016 г. объем электронных отходов в глобальном масштабе составлял 44,7 млн т, в 2018 г. – 48,5 млн т. По одному из сценариев, прогнозируемых Университетом ООН в Вене, к 2050 г. объем отходов ЭЭО может достигнуть 120 млн т [3, 4].

В составе ЭЭО особое значение имеют полимерные отходы или отходы пластика, на долю которых приходится около 25 % (10–40 %) общего их объема [5]. Данная категория отходов является ценным материальным ресурсом, и их вторичная переработка становится неотъемлемым элементом зеленой или циркулярной экономики и рационального управления отходами. Однако проблема переработки заключается в том, что полимерные материалы ЭЭО могут содержать бромсодержащие антипирены, к которым относятся и полибромдифениловые эфиры (ПБДЭ). Экологические угрозы, возникающие при вторичной переработке загрязненных отходов, обусловлены рециркуляцией опасных веществ и их поступлением в товары повседневного спроса, детские игрушки, материалы, контактирующие с продуктами питания [6–8].

ПБДЭ признаны стойкими органическими загрязнителями (СОЗ) и включены в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ: две группы соединений (гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир, содержащиеся в к-октаБДЭ, а также тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир, содержащиеся в к-пентаБДЭ) – в 2009 г., декабромдифениловый эфир, содержащийся в к-декаБДЭ, – в 2017 г. Согласно Конвенции, все запасы ПБДЭ в составе отходов должны быть выявлены и удалены экологически безопасным способом. Предусмотрены конкретные исключения в отношении рециркуляции изделий, которые содержат или могут содержать пента- и октаБДЭ, а также в отношении производства и использования декаБДЭ [9]. Вторичная переработка полимерных изделий, содержащих декаБДЭ, запрещена.

Как известно, при первичном производстве полимерных материалов концентрация ПБДЭ может варьировать от 5 до 30 % [10, 11]. Выполненные к настоящему времени исследования в разных странах свидетельствуют о значительной вариабельности содержания ПБДЭ в готовых изделиях (от миллиграмм до грамм на килограмм массы пластика), что обусловлено вторичной переработкой отходов и возможностью многократной циркуляции опасных веществ [12]. Считается, что полимерные изделия практически любых электробытовых приборов, офисной и канцелярской техники могут содержать ПБДЭ.

Под эгидой Стокгольмской конвенции о СОЗ и Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением разработаны международные руко-

водства, в которых определены требования к процессам сбора, сортировки, сепарации и переработки отходов ЭЭО, содержащих или потенциально содержащих ПБДЭ [13, 14]. Одним из принципов, заложенных в данных документах, является выявление бромсодержащих отходов. Согласно [15], наиболее целесообразно применение экспресс-методов, позволяющих быстро и недорого получить данные для разделения отходов на две категории: не содержащие бром, подлежащие переработке, и бромсодержащие, в отношении которых должны использоваться методы экологически безопасного удаления. Однако, как и во многих других странах, их реализация в Беларуси в значительной степени осложняется отсутствием национальных законодательных документов и материально-технической базы.

В Беларуси с 1 марта 2018 г. вступил в силу технический регламент ТР ЕАЭС 037/2016, согласно которому, концентрация ПБДЭ в изделиях электроники и радиоэлектроники не должна превышать 0,1 %, что согласуется с нормами, принятыми в странах ЕС. Однако в отношении отходов ЭЭО не введены предельные значения ПБДЭ, не предусмотрено выявление бромсодержащих отходов. Следует отметить, что официальный учет отходов ЭЭО касается лишь той их части, которая поступает на переработку [16]. Согласно ранее выполненной предварительной оценке [17], объем пластика в используемых и имеющихся на хранении телевизорах и мониторах с электронно-лучевыми трубками, потенциально содержащих к-октаБДЭ, может составлять около 30 тыс. т.

Цель настоящей работы – оценить объемы ежегодного образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси, в том числе потенциально содержащих ПБДЭ, с учетом соотношения городского и сельского населения, а также выполнить анализ пространственного распределения таких отходов и их вторичной переработки.

Методика исследований. Для оценки образования полимерных отходов ЭЭО использовалась методика, рекомендованная Руководством по инвентаризации ПБДЭ, включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ [18]. Расчеты проводились по состоянию на 2018 г. За основу для расчетов принимались данные Национального статистического комитета по обеспеченности населения предметами длительного пользования [19]. Следует отметить, что официальной статистикой учитывается небольшой перечень оборудования без градации между городским и сельским населением: телевизоры без разделения на устройства с жидкокристаллическим (ЖК) дисплеем и устройства с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ), персональные компьютеры (ПК), холодильники/морозильники, стиральные машины, микроволновые печи и электропылесосы. Для уточнения данных об обеспеченности населения другими типами оборудования, а также для разделения его между городским и сельским населением использовались данные анкетирования [20]. Используемые для расчета данные по обеспеченности населения ЭЭО приведены в таблице.

Согласно Руководству [18], для вычислений необходимо два вида входных данных: запасы ЭЭО у потребителей и средний срок службы изделия. В свою очередь при расчете запасов ЭЭО учитывается средний вес устройства и численность населения страны:

$$\text{Отходы ЭЭО за год} = M_{\text{эео}}(\text{запасы})/L_{\text{сзео}},$$

где $M_{\text{эео}}(\text{запасы})$ = [количество устройств на одного человека]·[средний вес устройства]·[численность населения], (т) – запасы ЭЭО у потребителей; $L_{\text{сзео}}$ – средняя продолжительность срока службы устройства, лет.

Нами использовались данные производителей ЭЭО, характеризующие массу различных видов устройств. Для оценки объема образования полимерных отходов учитывалась доля пластика в составе различных видов ЭЭО, согласно данных, опубликованных в отчетах Швейцарии и Франции [21, 25], и в других справочных публикациях [22–24, 26].

Для анализа ситуации со сбором и переработкой отходов ЭЭО использованы данные Оператора вторичных материальных ресурсов [16], ОАО «БелВТИ».

Для картографирования применяли данные статистического комитета по регионам Беларуси [27]. Картографическое отображение ситуации осуществлялось с использованием программного обеспечения QGIS. Desktop.

Обеспеченность населения ЭЭО

Тип оборудования	По статистическим данным, ед./чел.	Уточненные данные, ед./чел.		
		среднее	городской	сельский
Крупная бытовая техника, прочая ¹	0,31 ²	0,33	0,35	0,31
Холодильник/морозильник	0,59	0,59	0,62	0,56
Стиральная машина	0,37	0,37	0,39	0,35
Мелкая бытовая техника ³	0,37 ⁴	0,84	0,87	0,8
Компьютерное и телекоммуникационное оборудование ⁵	0,41 ⁶	1,03	1,07	0,9
Копировальное оборудование ⁷	Н. д.	0,19	0,2	0,19
Мониторы, всего	0,41	0,41	0,43	0,39
В том числе с электронно-лучевой трубкой	Н. д.	0,02	0,03	0,01
Телевизоры, всего	0,66	0,66	0,7	0,62
В том числе с электронно-лучевой трубкой	Н. д.	0,19	0,18	0,2
Ноутбук	Н. д.	0,32	0,32	0,31

¹Микроволновая печь, посудомоечная машина.

²Официальной статистикой учитываются лишь микроволновые печи.

³Блендер, кухонный комбайн, мультиварка/пароварка, соковыжималка, хлебопечка, пылесос, электрический чайник.

⁴Официальной статистикой учитываются лишь электропылесосы.

⁵Акустическая система, блок бесперебойного питания, модем/роутер, планшет, системный блок (ПК), телефон стационарный.

⁶Официальной статистикой учитываются лишь ПК.

⁷Принтер, multifunctional устройство, сканер.

Результаты и их обсуждение

Объемы образования отходов. Выполненные расчеты показали, что по состоянию на 2018 г. в Беларуси образовалось около 9,3 тыс. т полимерных отходов ЭЭО, что составляет около 21 % от общего объема отходов ЭЭО за год. Наибольшая доля полимерных отходов приходится на крупное бытовое оборудование – 30 % от общего количества полимерных отходов: 19 % – холодильники/морозильники, 6 % – стиральные машины, 5 % – прочее крупное бытовое оборудование; 22 % всех полимерных отходов ЭЭО приходится на мелкую бытовую технику, 15 % – компьютерное и телекоммуникационное оборудование, 14 % – копировальное оборудование. На долю телевизоров и мониторов приходится 12 и 5 % от общего количества полимерных отходов за год соответственно. Из них 5 % полимерных отходов на телевизоры с ЭЛТ и 1 % на мониторы с ЭЛТ (рис. 1).

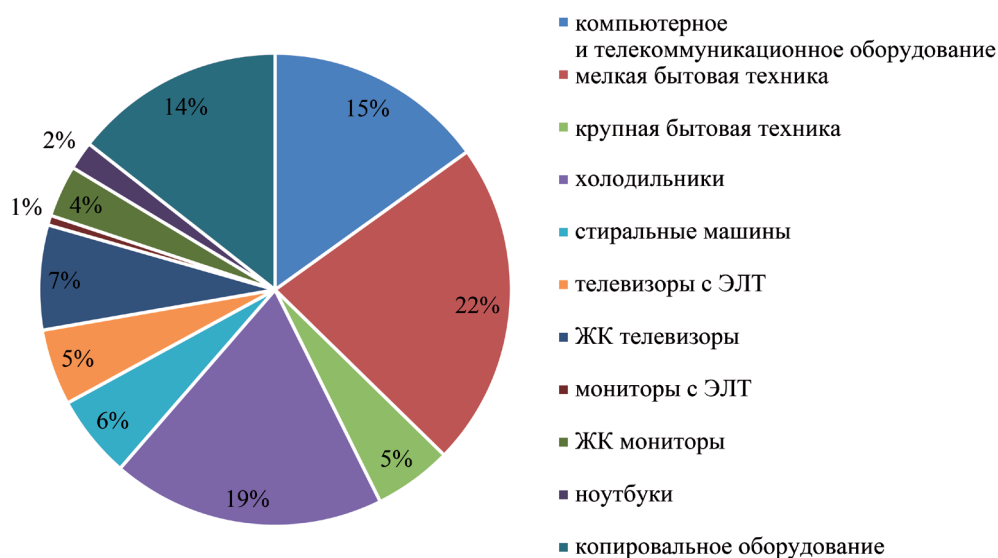


Рис 1. Структура полимерных отходов ЭЭО по категориям оборудования

Поскольку большинство компьютерного и телекоммуникационного оборудования, мелкой бытовой техники произведено в Китае, проанализированы исследования различных типов оборудования в Китае, а также и в других странах с точки зрения содержания ПБДЭ [28–31]. По данным [30], пластик, содержащий бромированные антипирены, составляет около 5,5 % от массы всех отходов ЭЭО, или 25 % от всего пластика, используемого в ЭЭО. Основываясь на этих пропорциях, определено ежегодное образование полимерных отходов, потенциально содержащих ПБДЭ, в Беларуси, которое составляет более 2,3 тыс. т. Установлено, что в Беларуси на одного жителя в среднем приходится 6,9 кг отходов ЭЭО, что сопоставимо с результатами исследования ООН (5–10 кг) [3].

Пространственный анализ. Наибольшие объемы отходов пластика ЭЭО образуются в г. Минске: 2,34 тыс. т или около 25 % общего их объема в стране (рис. 2). Всего вклад Минска и Минской области в суммарный объем отходов пластика ЭЭО составляет 37,3 %. На втором месте по объемам образования находится Гомельская область (14,8 % всех полимерных отходов), далее Брестская (13,6 %), Витебская (12,3 %), Могилевская (11,4 %) и Гродненская (10,7 %).

Пространственное распределение объемов образования полимерных отходов ЭЭО в разрезе административных районов представлено на рис. 3. Как было показано выше, четверть

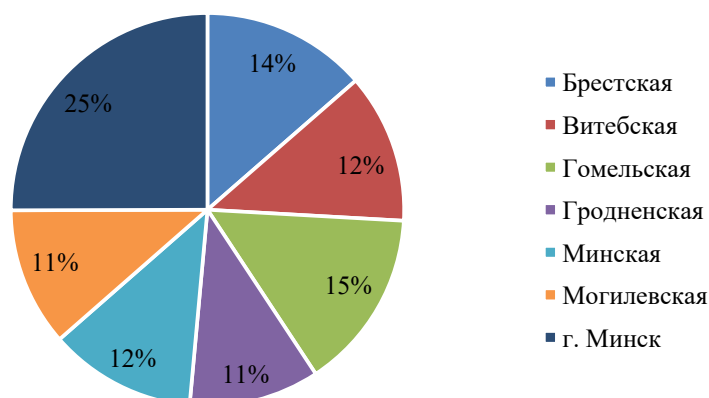


Рис. 2. Образование отходов ЭЭО в Беларуси по административным регионам (по состоянию на 2018 г.)

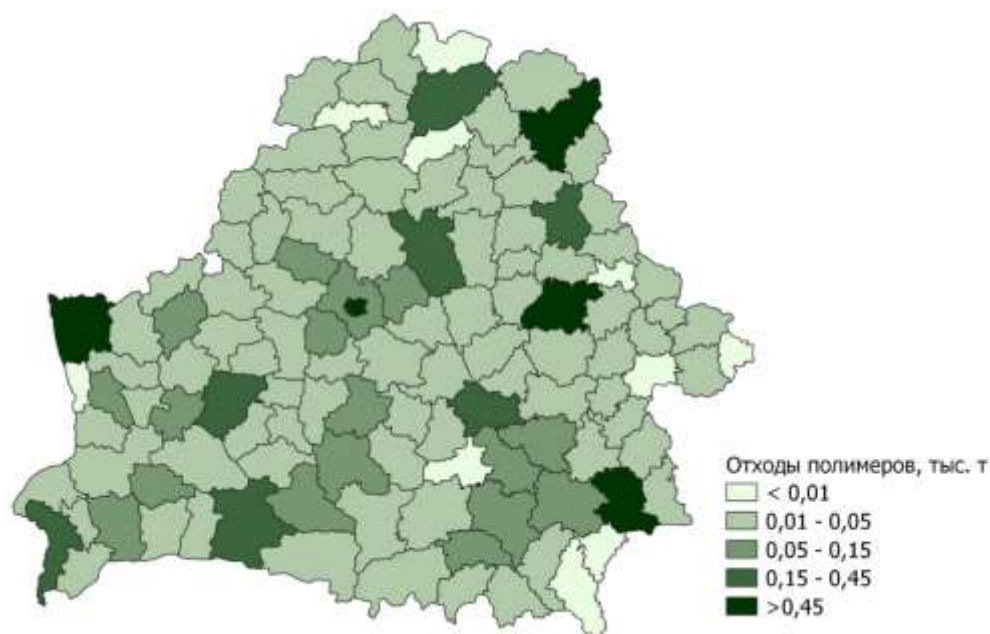


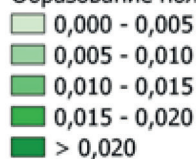
Рис. 3. Картограмма распределения объемов образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси, тыс. т (по состоянию на 2018 г.)

общего объема таких отходов приходится на долю Минска. Примерно столько же отходов (22 %) образуется в районах с крупными городами областного подчинения – Витебском, Могилевском, Гродненском и Гомельском. Около 17 % общего количества отходов пластика ЭЭО образуется в Оршанском, Пинском, Борисовском, Барановичском, Полоцком, Бобруйском и Брестском районах. В сумме на указанные 11 районов и г. Минск приходится 64 % общего объема полимерных отходов, тогда как на оставшиеся 107 районов – 36 %.

Согласно полученным данным, на большей части территории страны (67,8 % общего количества районов) объемы образования таких отходов варьируют от 10 до 50 т. На территории 14,4 % административных единиц образуется от 50 до 150 т отходов полимеров. Менее 10 т в год образуется в 8,5 % всех районов Беларуси.

На картосхеме ниже показаны объемы образования отходов городским и сельским населением (рис. 4).

Образование полимерных отходов (А), тыс. т



Образование полимерных отходов (Б), тыс. т

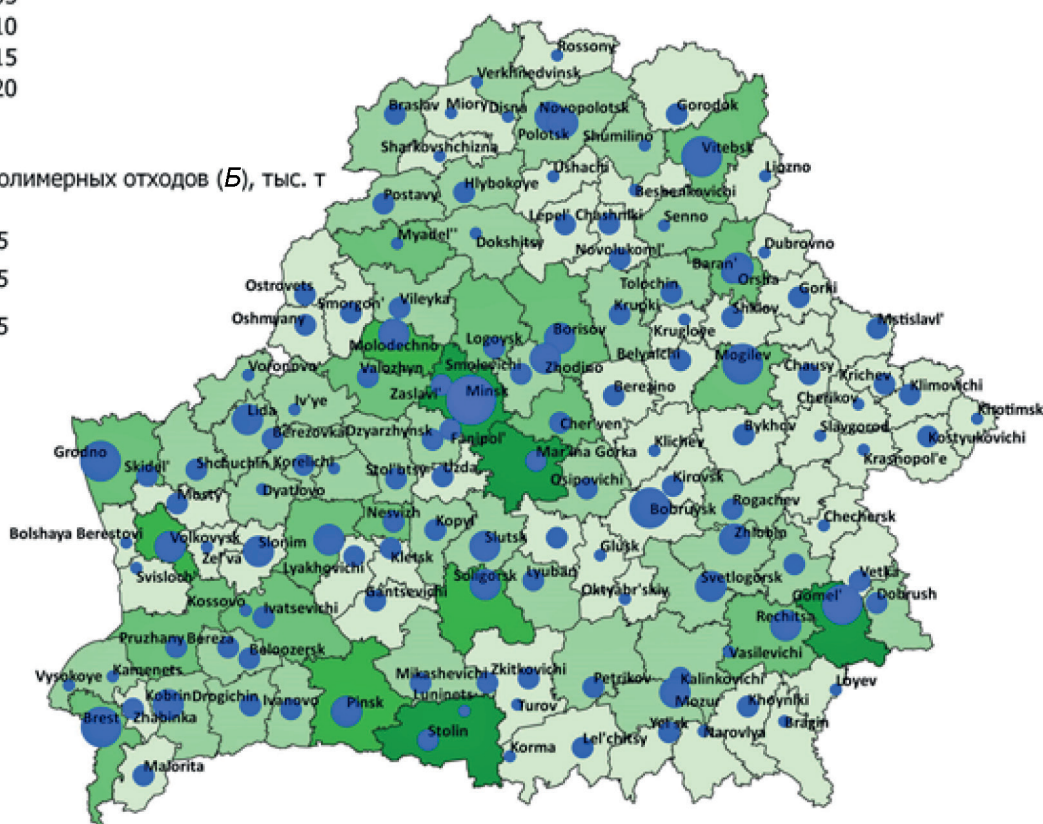
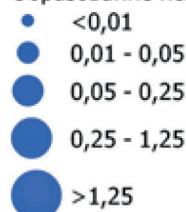


Рис. 4. Картосхема объемов образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси:
А – городским и Б – сельским населением, тыс. т (по состоянию на 2018 г.)

Основная часть отходов образуется в городах, на долю которых приходится от 74 до 86 % общего объема отходов. Объемы образования полимерных отходов ЭЭО сельским населением относительно невелики и варьируют в пределах от 0,7 (в Наровлянском) до 65 т (в Минском), составляя в среднем для административных районов 7 т. Менее 5 т отходов образуется в 79 районах, значительная часть которых расположена в восточной части и на юго-востоке страны. Более 20 т образуется в 4 районах (Минский, Гомельский, Пуховичский и Столинский). В 19 административных районах объемы образования отходов пластика ЭЭО варьируют от 10 до 20 т.

Наибольшие объемы образования характерны для крупных городов и промышленных центров. Объемы образования отходов полимерных материалов в городских поселках, являющихся районными центрами, колеблются в интервале 0,004–0,014 тыс. т. Для малых городов (с насе-

лением до 50 тыс. жителей), таких как Слоним, Волковыск, Пружаны, Островец и др., данный интервал составляет 0,002–0,058 тыс. т, для средних городов (с населением 50–100 тыс. жителей) – 0,063–0,112 тыс. т, для больших городов (с населением 100–250 тыс. жителей) – 0,12–0,257 тыс. т, для крупных городов (с населением 250 тыс.–1 млн жителей) – 0,41–0,632 тыс. т.

Ранжированный ряд городов (с населением более 50 тыс. чел.) по объемам образования отходов представлен на рис. 5. Всего на долю указанных городов приходится 78 % общего объема отходов пластика ЭЭО.

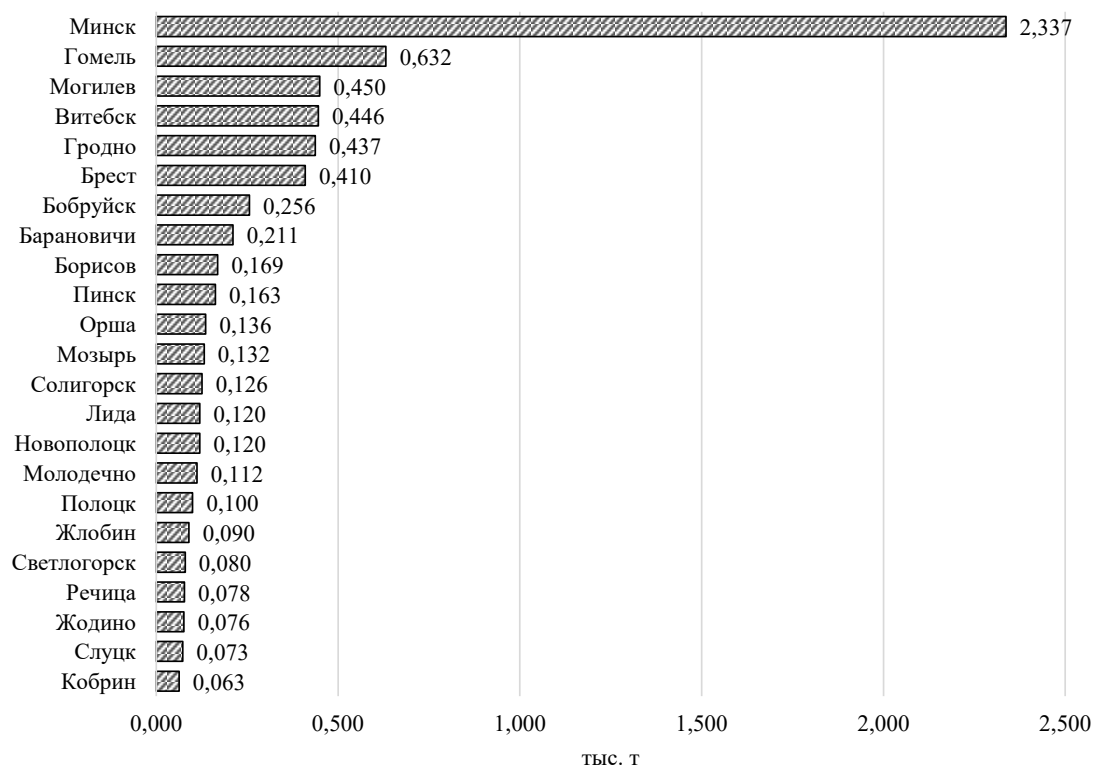


Рис. 5. Ранжирование городов Беларуси с населением более 50 тыс. жителей по объему образования полимерных отходов ЭЭО (по состоянию на 2018 г.)

Вторичная переработка. В последние годы значительное внимание уделяется вопросам вторичной переработки отходов ЭЭО. В Беларуси сбор отходов ЭЭО начат с 2013 г. и характеризуется положительной тенденцией (рис. 6). По данным Оператора ВМР, в 2014 г. было собрано 2,4 тыс. т отходов ЭЭО, в 2018 г. – уже в 6,2 раза больше (14,39 тыс. т), что составило около 33 % от всех ЭЭО образующихся за год.

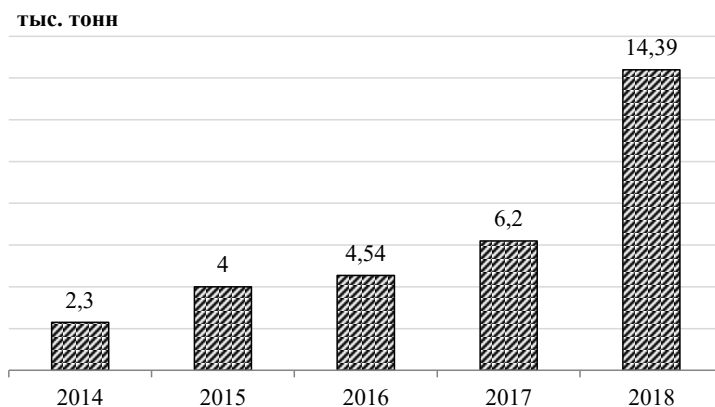


Рис. 6. Динамика сбора отходов ЭЭО в Беларуси (по данным Оператора вторичных материальных ресурсов), тыс. т

Следует отметить, что приведенные данные касаются общей массы ЭЭО. Используя данные ОАО «БелВТИ», был получен коэффициент для выделения доли полимерных материалов из приведенных выше данных Оператора ВМР. Установлено, что всего за 2018 г. на территории Беларуси было собрано около 1,8 тыс. т полимерных отходов, входящих в состав ЭЭО, что составило порядка 20 % от общего объема образовавшихся полимерных отходов ЭЭО. Наибольшие объемы сбора полимерных материалов в 2018 г. характерны для Гомельской области, которые составили 1,38 тыс. т или 25,4 % к объему их образования (рис. 7). В г. Минске было собрано 22,6 % всех образовавшихся отходов, в Витебской области – 22 %, Минской – 20,7 %, Могилевской – 19,8 %. Низкий уровень сбора полимерных отходов ЭЭО отмечен в Гродненской – 7,9 % и Брестской – 10,1 % областях.

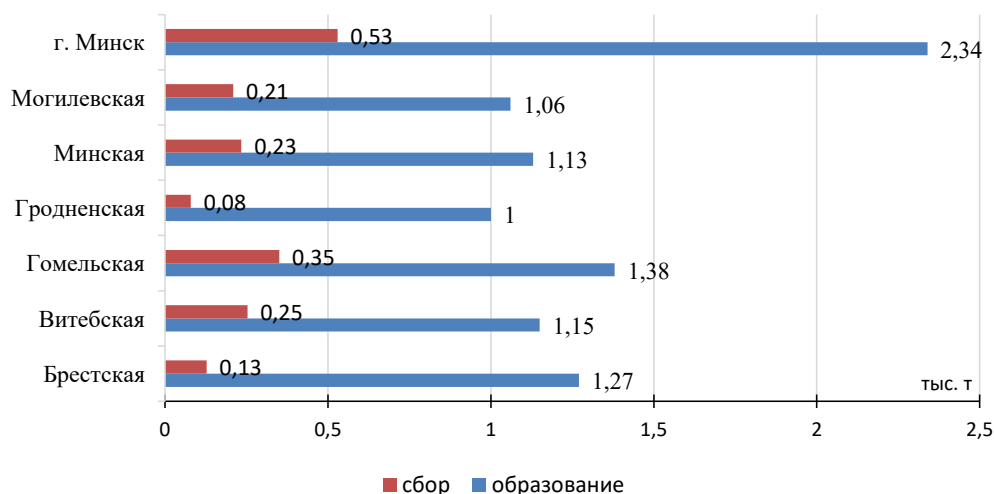


Рис. 7. Объемы образования и сбора полимерных отходов ЭЭО по административным регионам, тыс. т

Полученные данные о доле поступающего на вторичную переработку ЭЭО в Беларуси сопоставимы с данными для стран Восточной Азии, где официальный показатель сбора близок к 25 % [33, 35, 36]. В Европе лидерами с точки зрения сбора электронных отходов являются Швейцария, где собирается 74 % производимых отходов, и Норвегия (74 %), а также следующие за ними Швеция (69 %), Финляндия и Ирландия (каждая по 55 %) [32, 33]. Эти страны демонстрируют самые передовые методы управления электронными отходами в мире. В Ирландии и Дании собирается 50 % общего количества отходов ЭЭО; близок к ним показатель сбора (49 %) в других европейских странах [32, 33]. В Северной и Южной Америке лишь 16,8 % отходов ЭЭО документально оформляются для сбора и утилизации [34]. Согласно расчетам Университета ООН, показатель сбора электронных отходов в США составляет приблизительно 22 % от объема производства электронных отходов [3].

Поскольку в Беларуси сбор отходов ЭЭО начат недавно, то важным представляется анализ поступающего на переработку оборудования. По данным ОАО «БелВТИ», в 2018 г. в структуре отходов ЭЭО преобладали телевизоры, на долю которых пришлось 37 % (без разделения между ЖК и устройствами с ЭЛТ), холодильники/морозильники составили 19,2 %, стиральные машины – 11,2, копировальное оборудование – 5,1, мониторы – 1,9, прочее оборудование – 25 %. Различия между соотношением типов образующихся и поступающих на переработку отходов ЭЭО обусловлены не только сроком службы оборудования, но и показателями обеспеченности населения. Высокая доля телевизоров в составе отходов ЭЭО связана с переходом на новые технологии передачи изображений и соответственно с заменой старых моделей, пластик которых может содержать бромированные антипирены.

Как показано в [37], предприятия по переработке полимерных отходов в Беларуси имеют лицензии на производство продукции из отходов АБС-пластика, представляющий собой полуфабрикат для дальнейшего использования. Отсутствие процесса сепарации пластика приводит

к потенциальному перераспределению ПБДЭ и других бромсодержащих антипиренов в новые виды продукции, их рассеянию и поступлению в окружающую среду.

Заключение. Выполненные исследования позволили получить оценки объемов образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси, которые по состоянию на 2018 г. составляют около 9,3 тыс. т. Ежегодное образование полимерных отходов, потенциально содержащих ПБДЭ, в 2018 г. в Беларуси оценивается в 2,3 тыс. т.

Установлено крайне неравномерное пространственное распределение объемов образования отходов пластика ЭЭО в стране. Примерно 50 % общего объема образования таких отходов приходится на г. Минск и областные города. На 11 административных районов и г. Минск приходится 64 % общего объема полимерных отходов, тогда как на оставшиеся 107 районов – 36 %. На большей части территории страны (67,8 % общего количества районов) объемы образования таких отходов варьируют от 10 до 50 т отходов.

Установлено, что вторичной переработкой охвачено в среднем 23 % образующихся отходов пластика ЭЭО с диапазоном по административным областям от 10 % (в Гродненской) до 31 % (в Гомельской).

С учетом увеличивающихся объемов образования и сбора полимерных отходов ЭЭО, а также принимая во внимание обязательства по Стокгольмской конвенции о СОЗ, представляется необходимым разработать нормативного технического документа, регламентирующего обращение с отходами, содержащими и потенциально содержащими ПБДЭ. Необходимо также введение ограничений на использование пластика, содержащего или потенциально содержащего ПБДЭ, например, для производства детских игрушек, упаковки для продуктов питания, хранения воды и др.

Список использованных источников

1. Tapping the economic value of e-waste [Electronic resource]: Joseph Lauren, James Pennington, China Daily / World Economic Forum Op-Ed, 2018. – Mode of access: <http://europe.chinadaily.com.cn/a/201810/29/WS5bd64e5aa310eff3032850ac.html>. – Data of access: 05.03.2020.
2. Connecting to New Opportunities Through Connected Devices [Electronic resource]: Press release, 2017. – Mode of access: www.software.org/press-release/connecting-to-new-opportunities-through-connected-devices. – Data of access: 09.03.2020.
3. The Global E-waste Monitor 2017 / C.P. Baldé [et al.]. – UNU, ITU, ISWA, 2017. – 116 p.
4. Global Material Resources Outlook to 2060 [Electronic resource]: OECD, 2018. – Mode of access: www.oecd.org/environment/waste/highlightsglobal-material-resources-outlook-to-2060.pdf. – Data of access: 10.03.2020.
5. Li, Y. Recycling of PBDEs Containing Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A Review / Y. Li, J. Li, L. Wang. – ICEBE : IEEE 10th International Conference on e-Business Engineering, 2013. – P. 407–412.
6. Screening for halogenated flame retardants in European consumer products, building materials and wastes / Š. Vojta [et al.] // Chemosphere. – 2017. – Vol. 168. – P. 457–466.
7. Towards a generic procedure for the detection of relevant contaminants from waste electric and electronic equipment (WEEE) in plastic food-contact materials: a review and selection of key parameters / F. Puype [et al.] // Food Additives & Contaminants: Part A. – Vol. 34, iss. 10. – P. 1767–1783.
8. Toxic LOOPHOLE: Recycling Hazardous Waste into New Products [Electronic resource]: J. Straková, J. DiGangi, Génon K. Jensen / IPEN, Arnika, HEAL, 2018. – Mode of access: https://ipen.org/sites/default/files/documents/TL_brochure_web_final.pdf. – Data of access: 10.03.2020.
9. Stockholm Convention On Persistent Organic Pollutants (Pops). Texts And Annexes [Electronic resource]: Revised In 2017. – Mode of access: <http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>. – Data of access: 12.03.2020.
10. ECHA, 2012. Proposal for Identification of a PBT/vPvB Substance. Bis(pentabromophenyl) ether (decaBDE) (decaBDE). Annex XV dossier Submitted by the United Kingdom, European Chemicals Agency, 2012 [Electronic resource]. – Mode of access: http://echa.europa.eu/documents/10162/13638/SVHC_AXVREP_pub_EC_214_604_9_decabromodiphenylether_en.pdf. – Data of access: 13.03.2020.
11. ECHA, 2014. Multiple Framework Contract with re-opening of competition for scientific services for ECHA. Support to an annex XV dossier on bis-(pentabromophenyl) ether (decaBDE). Final report. European Chemicals Agency, 2014 [Electronic resource]. – Mode of access: https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/annex_xvi_consultant_report_decabde_en.pdf. – Date of access: 25.05.2017.
12. Strååt och, M. Decabromodiphenyl ether and other flame retardants in plastic waste destined for recycling / M. Strååt och, C. Nilsson. – Swerea IVF: Project Report. M-973, 2018. – 29 p.
13. GUIDANCE on best available techniques and best environmental practices for the recycling and disposal of wastes containing polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Updated / UNEP, 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceonBATBEPfortherecyclingofPBDEs/tabid/3172/Default.aspx>. – Date of access: 15.03.2020.

14. Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether or decabromodiphenyl ether. Addendum. Conference of the Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal. Fourteenth meeting. UNEP/CHW.14/7/Add.3. – Geneva, UNEP, 29 April–10 May 2019.
15. Draft Guidance on Sampling, Screening and Analysis of Persistent Organic Pollutants in Products and Articles. Relevant to substances listed in Annexes A, B and C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants from 2009 to 2015, 2017. – 147 p.
16. Об объемах сбора и использования вторичных материальных ресурсов, размерах и направлениях расходования средств, полученных от производителей и поставщиков в 2018 г. ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов». Отчет за 2018 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vtoroperator.by/sites/default/files/operator_2018.pdf. – Дата доступа: 07.03.2020.
17. Кухарчик, Т. И. Новые стойкие органические загрязнители в Беларуси: методические аспекты оценки запасов полибромдифениловых эфиров / Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, Т. Л. Лапка // Природные ресурсы. – 2014. – №. 2. – С. 119–125.
18. Draft guidance for the inventory of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants / UNEP, UNIDO, UNITAR, 2017. – 105 p.
19. Статистический ежегодник – 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/35d/35d07d80895909d7f4fdd0ea36968465.pdf>. – Дата доступа: 05.03.2020.
20. Кухарчик, Т. И. Образование отходов электронного и электротехнического оборудования, потенциально содержащих полибромдифениловые эфиры, в Беларуси и проблемы их регулирования / Т. И. Кухарчик, В. Д. Чернюк // Сахаровские чтения 2019 г.: экологические проблемы XXI века: материалы 19-й междунар. науч. конф., Минск, 23–24 мая 2019 г. / Междунар. гос. экологич. ин-т им. А. Д. Сахарова БГУ: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – Ч. 3. – С. 63–66.
21. Forti, V. E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition / V. Forti, C. P. Baldé, R. Kuehr. – Bonn, Germany: United Nations University ViE – SCYCLE, 2018. – 72 p.
22. Recycling rate of e-waste. Retrieved from Eurostat - your key to European statistics. EUROSTAT, 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/recycling-rate-of-e-waste>. – Date of access: 13.03.2020.
23. Regional E-waste Monitor: East and South Asia / S. Honda, S.K. Deepali, R. Kuehr. – Edition 1. – Bonn, Germany: United Nations University ViE – SCYCLE, 2016. – 109 p.
24. Waste over Time – World [Electronic resource]: Van Straalen V.M., Forti V., Baldé C.P., The Hague, The Netherlands: Statistics Netherlands (CBS), 2017. – Mode of access: <https://github.com/Statistics-Netherlands/wot-world>. – Data of access: 23.03.2020.
25. Electrical and Electronic Equipment in France. Summary, 2014 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/eee-donnees-2014_8584_en-v2.pdf. – Data of access: 17.03.2020.
26. RAPPORT ANNUEL D'ACTIVITÉ, 2016 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2220369/ecologic-ra-deee-menagers-professionnels-2016.pdf>. – Data of access: 21.03.2020.
27. Регионы Республики Беларусь. Национальный статистический комитет республики Беларусь. Стат. сб., т. 1, 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/7a5/7a56006966ab801b8f3e2822d1be313e.pdf>. – Дата доступа: 20.03.2020.
28. RoHS regulated sub-stances in mixed plastics from waste electrical and electronic equipment. Analysis of Poly-Brominated Biphenyl Ethers (PBDEs) in Selected UK / P. A. Wäger [et al.] // Environmental Science Technology. – 2012. Vol. 46, iss. 2. – P. 628–635.
29. Analysis of Poly-Brominated Biphenyl Ethers (PBDEs) in Selected UK Waste Streams: PBDEs in waste electrical and electronic equipment (WEEE) and end of life vehicles (ELV) / James Peacock [et al.]. – Defra, 2012. – 60 p.
30. WEEE plastic and brominated flame retardants. A report on WEEE plastic recycling / Priti Mahesh [et al.] // Toxics Linc, EMPA, Schweizerische Eidgenossenschaft, World resources forum (WRF), Sustainable recycling industries, 2016. – 54 p.
31. Characterization of brominated flame retardants from e-waste components in China / D. Yu [et al.] // Waste Management. – 2017. – Vol. 68. – P. 498–507.
32. Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE). European Commission, 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/data_en.htm. – Data of access: 25.03.2020.
33. Waste electrical and electronic equipment management and Basel Convention compliance in Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS) nations / S. Ghosh [et al.] // Waste Management & Research. – 2017. – Vol. 34. – P. 693–707.
34. Magalini, F., eWaste in Latin America. Statistical analysis and policy recommendations / F. Magalini, R. Kuehr, C. P. Baldé // United Nations University Institute for the Advanced Study of Sustainability (UNU-IAS), 2015. – GSMA. – 37 p.
35. Sustainable E-Waste Management in Asia: Analysis of Practices in Japan, Taiwan and Malaysia / M. I. Rasnan [et al.] // Journal of Environmental Assessment Policy and Management. – 2016. – Vol. 18, iss. 4, № 1650023. – P. 1–23.
36. Awasthi, A. K. Management of electrical and electronic waste: A comparative evaluation of China and India / A. K. Awasthi, J. Li // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 76. – P. 434–447.
37. Кухарчик, Т. И. Регулирование обращения с полибромдифениловыми эфирами в Беларуси и других странах / Т. И. Кухарчик, В. Д. Чернюк, М. И. Козыренко // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 135–148.

Поступила 07.04.2020

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 501

Д. В. Мелех

*Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»,
Минск, Беларусь, e-mail: melekhdima@gmail.com*

ПЕРЕХОД НА МЕТОДОЛОГИЮ УРОВНЯ 2 ПРИ ОЦЕНКЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ОТ СТАЦИОНАРНОГО СЖИГАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Аннотация. Для выполнения обязательств Республики Беларусь по Рамочной конвенции об изменении климата ООН необходимо ежегодно проводить инвентаризацию выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, качество которой должно постоянно повышаться. Разработан национальный коэффициент выбросов CO₂ от стационарного сжигания природного газа, позволяющий перейти на методологию уровня 2. Переход на методологию уровня 2 и использование национального коэффициента выбросов CO₂ от стационарного сжигания природного газа способствует повышению точности оценок выбросов парниковых газов, снижению неопределенностей и уровня общенациональных выбросов по отношению к базовому году.

Ключевые слова: расчет выбросов, парниковые газы, коэффициенты выбросов, методологический уровень

D. V. Melekh

The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise "Ecology", Minsk, Belarus, e-mail: melekhdima@gmail.com

TRANSITION TO THE TIER 2 METHODOLOGY FOR ESTIMATING CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM STATIONARY COMBUSTION OF NATURAL GAS

Abstract. In order to fulfill the obligations of the Republic of Belarus under the United Nations Framework Convention on Climate Change, it is necessary to conduct an annual inventory of emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases, the quality of which shall be constantly improved. A national CO₂ emission factor for stationary combustion of natural gas has been developed, allowing the transition to the Tier 2 methodology. Transition to the Tier 2 methodology and using a national CO₂ emission factor from stationary combustion of natural gas will improve the accuracy of estimates of GHG emissions, reduce uncertainties and reduce national emissions level in relation to the base year.

Keywords: calculation of emissions, greenhouse gases, emission factors, methodological tier

Дз. У. Мелех

*Рэспубліканскае навукова-даследчае ўнітарнае прадпрыемства «Бел НІЦ «Экалогія»,
Мінск, Беларусь, e-mail: melekhdima@gmail.com*

ПЕРАХОД НА МЕТАДАЛОГІЮ ЎЗРОЎНЮ 2 ПРЫ АЦЭНЦЫ ВЫКІДАЎ ДЫЯКСІДУ ВУГЛЯРОДУ АД СТАЦЫЯНАРНАГА СПАЛЬВАННЯ ПРЫРОДНАГА ГАЗУ

Анатацыя. Для выканання абавязкаў Рэспублікі Беларусь па Рамачнай канвенцыі аб змяненні клімату ААН неабходна штогод праводзіць інвентарызацыю выкідаў з крыніц і абсорбцыі паглынальнікамі парніковых газаў, якасць якой павінна пастаянна павышацца. Распрацаваны нацыянальны каэфіцыент выкідаў CO₂ ад стацыянарнага спальвання прыроднага газу, які дазваляе перайсці на метадалогію ўзроўню 2. Пераход на метадалогію ўзроўню 2 і выкарыстанне нацыянальнага каэфіцыента выкідаў CO₂ ад стацыянарнага спальвання прыроднага газу спрыяе павышэнню дакладнасці разлікаў выкідаў парніковых газаў, зніжэння нявызначанасці ўзроўню агульнанацыянальных выкідаў у адносінах да базавага года.

Ключавыя словы: разлік выкідаў, парніковыя газы, каэфіцыенты выкідаў, метадалагічны ўзровень

Введение. Республика Беларусь ежегодно выполняет инвентаризацию выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов (ПГ) [1], которая направляется в секретариат Рамочной конвенции об изменении климата Организации Объединенных Наций (РКИК ООН) до 15 апреля года следующего через один год после отчетного [2, 3]. Инвентаризация выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ (далее – инвентаризация) состоит из таблиц CRF (Common Reporting Format – Общий формат данных) и национального отчета об инвентаризации [1]. Таблицы CRF представляют сводную информацию по инвентаризируемым секторам экономики в стандартном формате, соответствующем требованиям к отчетности для Сторон РКИК ООН, включенных в приложение I (как правило, развитые страны). Национальный отчет об инвентаризации содержит информацию по всем аспектам подготовки инвентаризации в стандартном формате, включая информацию о выборе методов расчета, исходных данных, о деятельности, коэффициентах выбросов, неопределенностях, процедурах оценки качества / контроля качества (ОК/КК) и т.д. Представленные в Секретариат РКИК ООН (далее – Секретариат)

инвентаризации ежегодно проходят техническую проверку, которая состоит из двух этапов: первичная оценка Секретариата; индивидуальная проверка инвентаризации группой экспертов, которая координируется Секретариатом и может проходить в форме кабинетной, централизованной или внутренней проверки.

Первичная оценка представленной инвентаризации преимущественно основана на сверке информации CFR таблиц. В течение трех недель после предоставления страной инвентаризации секретариат направляет для комментариев проект информационного отчета, комментарии к нему должны быть направлены также в течение трех недель после получения. Информационный отчет публикуется на вебсайте РКИК ООН, имеет табличный вид, содержит информацию о дате предоставления инвентаризации и ее полноте на основании оценки CRF таблиц. Результатом проведения первичной оценки Секретариатом является оценочный доклад, проект которого направляется стране не позднее, чем за семь недель до индивидуальной проверки. Комментарии к оценочному докладу должны быть направлены страной в течение трех недель после его получения.

Оценочный доклад и комментарии к нему передаются группе экспертов в качестве исходных данных за месяц до начала индивидуальной проверки. Группа экспертов изучает предоставленную информацию и при необходимости за 2 недели до индивидуальной проверки направляет стране вопросы для разъяснения.

Индивидуальная проверка группой экспертов может проходить в форме кабинетной, централизованной или внутренней проверки. Группа экспертов координируется Секретариатом и формируется из реестра экспертов РКИК ООН по ситуации, с учетом национальных обстоятельств проверяемой страны. При проведении кабинетной проверки информация об инвентаризации проверяемой страны направляется экспертам, которые проводят проверку в своих странах. Для проведения централизованной проверки эксперты встречаются в одном месте для рассмотрения инвентаризации проверяемой страны. Для проведения внутренней проверки эксперты посещают проверяемую страну, где на месте в дополнение к вопросам, рассматриваемым в процессе централизованной проверки, еще обсуждают институциональные механизмы подготовки инвентаризации, начиная от сбора исходной информации и предоставления расчетов выбросов до процедур оценки качества/контроля качества и архивирования информации. В ходе централизованной и внутренней проверки группа экспертов оценивает следующие критерии: соответствует ли предоставленная инвентаризация руководству по подготовке отчетности по инвентаризации Сторон РКИК ООН, включенных в приложение I; внедрены ли руководящие принципы национальных инвентаризаций ПГ Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2006; согласованность расчетов выбросов и поглощений ПГ, исходных данных и подразумеваемых коэффициентов выбросов проверяемой инвентаризации с ранее предоставленными инвентаризациями страны; выясняет любые недостающие категории и описанные причины их исключения из инвентаризации; согласованность информации в таблицах CRF и в национальном отчете об инвентаризации; степень решения проблемных вопросов, поднятых в процессе предыдущей проверки и изменения, сделанные в ответ на прежние рекомендации группы экспертов; где это применимо, указывает возможные области для дальнейшего улучшения инвентаризации с особым вниманием на вопросы, оказывающие влияние на уровень и/или тенденцию общенациональных выбросов; выполняют ли национальные механизмы по инвентаризации необходимые функции по оценке антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ и способствуют ли непрерывному улучшению инвентаризации; все ли выбросы предоставлены.

В процессе кабинетной проверки группа экспертов уделяет приоритетное внимание ключевым категориям, рассматриваемым при централизованной проверке, а также следующим вопросам: степень решения проблемных вопросов, поднятых в процессе предыдущей проверки, и изменений, сделанных в ответ на рекомендации группы экспертов; анализ любых пересчетов, которые изменили оценку выбросов/абсорбции ПГ для категории более чем на 2 % и/или общие национальные выбросы более чем на 0,5 %.

Непосредственно индивидуальная проверка группой экспертов проходит в течение недели, однако с учетом всех мероприятий процесс должен быть окончен не более чем за 20 недель: на подготовку проекта отчета об индивидуальной проверке группе экспертов выделяется 6 недель; проект отчета об индивидуальной проверке группой экспертов редактируется и форматируется Секретариатом и направляется для комментариев проверяемой стране, которая предоставляет свои комментарии по проекту отчета; группа экспертов составляет окончательный отчет об индивидуальной проверке инвентаризации конкретной страны с учетом полученных комментариев; все окончательные отчеты об индивидуальной проверке инвентаризации вместе с предоставленными письменными комментариями на них публикуются на вебсайте РКИК ООН [4].

Исходя из описанной выше процедуры осуществления технической проверки ежегодных инвентаризаций, становится очевидно, что Секретариат обеспечивает, Конференцию Сторон РКИК ООН, которая является верховным органом, собирающимся каждый год для рассмотрения воплощения положений конвенции, принятия решений по дальнейшей разработке правил конвенции и переговоров по новым обязательствам, надежной информацией о выполнении обязательств по конвенции каждой стороной, включенной в приложение I, в целях содействия сопоставимости и укрепления доверия.

Национальные механизмы осуществления инвентаризации должны способствовать постоянному повышению ее качества, которое характеризуется прозрачностью, согласованностью оценок во всем временном ряду, сопоставимостью методов оценки и форматов отчетности между Сторонами РКИК ООН, включенных в приложение I, полнотой охвата источников и поглотителей, территории и наименований ПГ, точностью оценок выбросов и поглощений ПГ. Неопределенность оценок выбросов и поглощений ПГ должна быть снижена насколько это возможно.

Ресурсы и усилия, направленные на повышение качества инвентаризации, точности оценок выбросов и поглощений, снижение неопределенностей оценок, должны быть адресованы в первую очередь на ключевые категории. Согласно определению, ключевая категория – это такая категория, которая имеет приоритет в рамках системы национальной инвентаризации, поскольку ее оценка оказывает значительное влияние на общую национальную инвентаризацию в исчислении абсолютного уровня, тенденции или неопределенности в выбросах и поглощениях. Всякий раз, когда используется ключевая категория, она включает в себя как категории источников, так и поглотителей [5].

Цель настоящей работы – переход на методологию уровня 2 при оценке выбросов диоксида углерода от стационарного сжигания природного газа.

Методика исследований. Применение руководства по эффективной практике Руководящих принципов Межправительственной группы экспертов по изменению климата 2006 с обоснованием выбора категории выбросов ПГ как объекта исследования, наименования топлива и типа ПГ.

Сектор «Энергетика» и входящая в его состав категория «Энергетическая промышленность» оказывают наибольшее влияние на общую национальную инвентаризацию, так как вклад сектора «Энергетика» в общенациональные выбросы ПГ в Беларуси ежегодно составляет порядка 60 %, без учета сектора «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ), в котором происходит поглощение ПГ [6]. Выбросы ПГ в секторе «Энергетика» возникают при сжигании топлив (1.A), а также в результате их испарений при добыче, обработке и доставке до места конечного использования (Летучие выбросы 1.B) [6, 7].

Категория «Энергетическая промышленность» (1.A.1) сектора «Энергетика» (1.A) ежегодно формирует порядка 50 % выбросов ПГ по сектору «Энергетика» и порядка 30 % общенациональных выбросов ПГ Республики Беларусь без учета сектора «ЗИЗЛХ» [6, 7]. Энергетическая промышленность охватывает выбросы ПГ от топлива, сжигаемого при его добыче или в энергопроизводящих отраслях (производство электроэнергии и тепла), является главнейшим источником антропогенных выбросов CO₂.

Результаты и их обсуждение. Методологические уровни оценки. Повышение точности оценок выбросов и поглощений, а также снижение их неопределенностей осуществимо путем

повышения методологического уровня. Уровень – это степень методологической сложности и усилий, необходимых для оценки выбросов и поглощений ПГ. Обычно предусмотрено три уровня для каждой категории или вида деятельности:

1-й уровень – самый простой метод, который можно легко применить с использованием доступных исходных данных о деятельности и базовых коэффициентов выбросов;

2-й уровень – промежуточный метод с точки зрения сложности и усилий, который в большинстве случаев основан на использовании доступных исходных данных о деятельности и более детализированных или национальных коэффициентов выбросов;

3-й уровень – самый изнурительный метод с точки зрения сложности и требований к данным, основанный на использовании подробных или дезагрегированных исходных данных о деятельности непосредственно по видам источников (или поглотителей) и специализированных коэффициентов выбросов.

Уровни оценок выбросов ПГ при сжигании топлива применяются отдельно для конкретных типов топлива и ПГ, так как на выброс каждого ПГ при сжигании конкретного вида топлива применяется отдельный коэффициент выбросов. Уровни 2 и 3 считаются более точными, они лучше отражают национальные обстоятельства инвентаризации. Однако есть риск снижения точности оценок для методов более высокого уровня в случае использования исходных данных о деятельности низкого качества, чем если бы применялся метод уровня 1 с использованием точных и надежных исходных данных о деятельности.

Доступность исходных данных, определение приоритетного наименования топлива и типа ПГ. Структура энергетической статистики Республики Беларусь не позволяет использовать исходные данные для расчета выбросов ПГ отдельно по видам источников в категории «Энергетическая промышленность» сектора «Энергетика». Организация энергетической статистики Республики Беларусь не предусматривает идентификацию количества потребленного топлива для производства электричества от производителей основной деятельности, едиными комбинированными производствами тепловой и электрической энергии, а также для производства тепла от производителей основной деятельности с целью продажи [7, 8].

Потребление топлива на преобразование в тепловую и электрическую энергию отражает расход топлива, включаемый в состав затрат на производство тепловой и электрической энергии энергоисточниками организаций. Отсутствие дезагрегированных исходных данных о деятельности непосредственно по видам источников в категории «Энергетическая промышленность» сектора «Энергетика» исключает возможность проведения оценок выбросов ПГ по уровню 3. Для перехода на уровень 2 необходимо выявить виды топлив, составляющие наибольшую долю в общем потреблении, чтобы сосредоточить усилия в соответствии с приоритетами. Для приоритетного топлива потребуется определить национальный коэффициент для выброса конкретного ПГ.

Для определения общего потребления энергии категорией «Энергетическая промышленность» сектора «Энергетика» необходимы данные о количестве топлива в единицах массы или объема преобразовать в содержание энергии в этих количествах топлива. Для этого преобразования, как правило, необходимо применение коэффициента низшей теплотворной способности топлива [7]. Рассчитав количество потребленной энергии в категории «Энергетическая промышленность» сектора «Энергетика», определяется доля интересующего вида топлива в общем потреблении (рис. 1).

Становится очевидным, что приоритетным типом топлива, потребляемым в энергетической промышленности, является природный газ, который с 1990 г. замещал топочный мазут, в период с 1990 по 1995 г. объемы потребления этих топлив были на относительно близких уровнях. Примечательно, что в 2009 г. наблюдается резкое замещение природного газа топочным мазутом, связанное с сокращением импорта природного газа из Российской Федерации из-за международного финансового кризиса 2009 г. (табл. 1, 2) [8].

Произведенный (добытый) в Республике Беларусь природный газ представляет собой попутный нефтяной газ (ПНГ), который начали добывать в 1966 г., когда только созданное

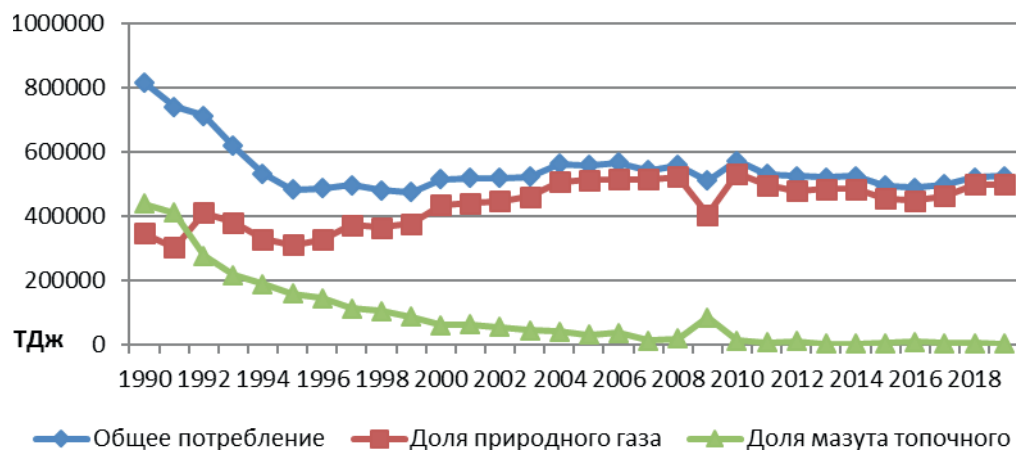


Рис. 1. Доля природного газа и топочного мазута в общем потреблении энергии категорией «Энергетическая промышленность» сектора «Энергетика»

объединение «Белоруснефть» приступило к эксплуатации отечественных месторождений. Поначалу растворенный в нефти газ, который вырывался из недр фонтаном и нес опасность, просто сжигали. Спустя 10 лет для утилизации ПНГ в эксплуатацию был введен Белорусский газоперерабатывающий завод (БГПЗ). Изначально перед заводом стояла цель утилизации ПНГ, получаемого при добыче белорусской нефти путем производства сжиженного углеводородного газа, используемого в качестве топлива для автомобилей. Практически весь попутный нефтяной газ, добываемый «Белоруснефтью», поступает для переработки на БГПЗ, лишь небольшая часть сжигается непосредственно на факелах. Для полной загрузки БГПЗ, производственные мощности которого позволяют перерабатывать 500 млн м³ газа в год, сырье (широкие фракции легких углеводородов) закупается в Российской Федерации. После комплексной модернизации, которая завершилась в 2015 г., значительно улучшилось качество выпускаемых сжиженных углеводородных газов, стали выпускаться новые виды продукции с высокой добавленной стоимостью, которые востребованы за рубежом и направляются на экспорт. Появились пять отдельных видов фракций: пропан автомобильный, бутановая, пентановая, изобутановая и изопентановая фракции. Например, изопентановая фракция используется при производстве авиатоплива и топлива для гоночных автомобилей [9, 10].

Природный газ, потребляемый для производства тепловой и электрической энергии, а также для иного стационарного сжигания, импортируется из Российской Федерации. Об этом свидетельствуют статистические данные о балансе природного газа (включая попутный) и информация о том, что произведенный (добытый) природный газ представляет собой попутный нефтяной газ, который перерабатывается для дальнейшего использования в качестве автомобильного топлива и продажи в виде продукции с высокой добавленной стоимостью.

В результате сжигания ископаемого топлива выбрасываются и учитываются в инвентаризации CO₂, CH₄ и N₂O, которые являются газами с прямым парниковым эффектом (рис. 2). Сумма CH₄ и N₂O, в эквиваленте CO₂, составляет не более 1 % общих выбросов ПГ от сжигания ископаемого топлива.

Таким образом, наиболее крупной категорией выбросов ПГ в национальной инвентаризации является выбросы CO₂ от стационарного сжигания природного газа, импортированного из Российской Федерации, в первую очередь в категории «Энергетическая промышленность» сектора «Энергетика». Наличие детализированного или национального коэффициента выбросов CO₂ от сжигания природного газа позволило бы повысить точность расчетов и перейти на 2-й уровень оценки для самой крупной категории, составляющей более 25 % общенациональных выбросов ПГ Республики Беларусь без учета сектора «ЗИЗЛХ».

Разработка национального коэффициента выбросов CO₂ от сжигания природного газа. МГЭИК предоставляет веб-инструмент, который называется EFDB (Emission Factor

Т а б л и ц а 1. Баланс газа природного, включая попутный (млн м³)

Показатель/Год	2005	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Производство (добыча)	228	203	205	213	222	218	228	222	225	215	205	211	218
Импорт	20120	21061	17617	21570	19998	20252	20260	20260	18790	18640	19014	20330	20261
из него Российская Федерация	20120	21061	17617	21570	19998	20252	20260	20052	18790	18640	19014	20330	20261
Изменение запасов (+, -)	+59	+47	-125	+79	+479	-68	+98	+153	+106	+147	+233	+92	-6
Потреблено в Республике Беларусь	20407	21311	17697	21862	20699	20402	20586	20427	19121	19002	19452	20633	20473
в том числе													
израсходовано организациями республики на преобразование в тепловую и электрическую энергию	18919	19868	16137	20113	19005	18504	18709	18588	17328	17030	17505	18673	18594
транспортную деятельность, складирование, почтовую и курьерскую деятельность	15189	15504	12013	15806	14705	14191	14340	14376	13495	13306	13701	14796	14771
отпущено населению	254	559	588	522	493	544	735	704	526	544	539	542	491
	1403	1443	1560	1749	1694	1898	1877	1839	1793	1972	1947	1960	1879

П р и м е ч а н и е. Источник: Энергетический баланс Республики Беларусь, Минск, 2020, 2015, 2014 (таблица 5.3.1, 5.3.4).

Т а б л и ц а 2. Баланс топочного мазута (тыс. т)

Показатель/Год	2005	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Производство	6313	5914	6202	4421	5583	6347	5826	4952	6739	5062	4794	5017	4009
Импорт	259	30	262	275	390	972	17	2	211	38	-	-	-
Экспорт	5293	4967	3856	3588	4598	5687	5411	4542	6339	4489	4092	4395	3725
Изменение запасов (+, -)	-8	-32	+54	+188	+8	+241	-2	+39	+19	-6	-111	-256	+7
Потреблено в Республике Беларусь	1271	945	2662	1547	1132	1873	430	451	630	605	591	366	291
в том числе:													
израсходовано организациями республики	1271	945	2662	1547	1132	1873	430	451	630	605	591	366	291
на преобразование в тепловую и электрическую энергию	829	501	2230	368	181	317	89	108	125	235	128	132	81

П р и м е ч а н и е. Источник: Энергетический баланс Республики Беларусь, Минск, 2020, 2015, 2014 (таблица 5.7.1, 5.7.4).

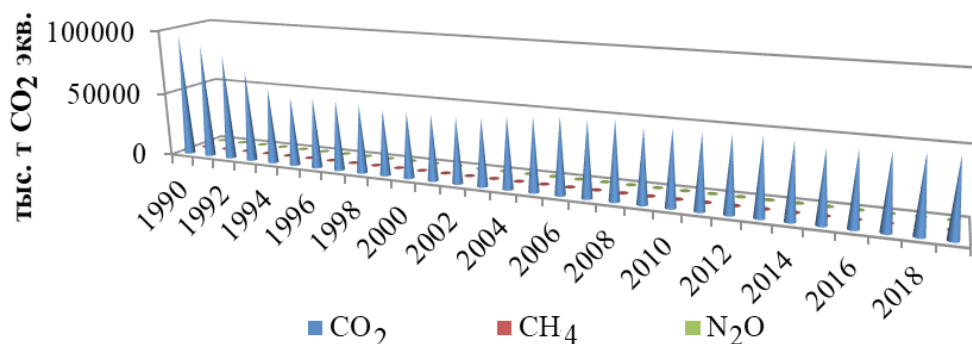


Рис. 2. Количество выбросов CO_2 , CH_4 и N_2O от сжигания ископаемых видов топлив, 1990–2019 гг.

Database – База данных коэффициентов выбросов) и содержит в удобном для поиска формате базовые данные из утвержденных руководств МГЭИК, а также данные предоставленные исследователями и другими экспертами по ПГ со всего мира. Представленные данные рассматриваются и одобряются международной редакционной коллегией ведущих экспертов по инвентаризации парниковых газов, прежде чем включаются в EFDB.

Коэффициенты выбросов CO_2 для всех уровней оценок отражают полное содержание углерода в топливе без содержания любых неокисленных включений углерода в золе, в саже или твердых частицах. В отличие от некоторых твердых топлив, доля этих включений для газообразного топлива невелика и предполагается, как правило, полное окисление углерода, содержащегося в топливе (коэффициент окисления углерода равен 1) [11]. В ноябре 2015 г. был представлен в EFDB коэффициент содержания углерода в товарном природном газе (14,836 т С/ТДж), добываемом в Российской Федерации, разработанный в ходе совместного научно-исследовательского проекта ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ОАО «Газпром» на основе плотности и химического состава добытого природного газа [12].

Детализированный или национальный коэффициент выбросов CO_2 от сжигания природного газа можно вывести из известного значения содержания углерода в товарном природном газе, по следующей формуле с учетом предположения, что весь содержащийся в топливе углерод полностью окисляется в CO_2 :

$$EF_{\text{CO}_2} = \text{CCF} \cdot \text{COF} \cdot 44/12,$$

где EF – коэффициент выбросов CO_2 (Emission Factor); COF – коэффициенты окисления углерода (Carbon Oxidation Factor); CCF – коэффициент содержания углерода (Carbon Content Factor); 44/12 – коэффициент пересчета углерода в углекислый газ (молекулярные массы соответственно: углерод (C) – 12 г/моль, $\text{O}_2 = 2 \cdot 16 = 32$ г/моль, $\text{CO}_2 = 44$ г/моль).

Полученный коэффициент выбросов CO_2 от сжигания природного газа равен 54,4 т CO_2 /ТДж или 54 400 кг CO_2 /ТДж. Учитывая потребление природного газа исключительно импортированного из Российской Федерации, целесообразно использовать в качестве национального российский коэффициент низшей теплотворной способности для перевода из натуральных единиц в энергетические, который равен 33,82 ТДж/млн м^3 [13].

Переход на расчет выбросов CO_2 от стационарного сжигания природного газа по уровню 2 осуществлен при подготовке национальной инвентаризации ПГ Республики Беларусь за 1990–2018 гг., которая предоставлена в Секретариат РКИК ООН в 2020 г. (инвентаризация 2020 г.). Для расчетов по уровню 1 ранее применялись: коэффициент низшей теплотворной способности из ТКП 17.09-01-2011, равный 33,53 ТДж/млн м^3 [9], и базовый коэффициент выбросов CO_2 от сжигания природного газа – 56 100 кг CO_2 /ТДж (табл. 3).

Переход на методологию уровня 2 при оценке выбросов CO_2 от стационарного сжигания природного газа приводит к снижению уровня общенациональных выбросов ПГ без учета «ЗИЗЛХ» по отношению к 1990 г, который является базовым для инвентаризации ПГ [2]. Это обусловлено тем, что в 1990 г. более половины выработанной энергии получено от сжигания

Т а б л и ц а 3. Влияние перехода на методологию уровня 2 при оценке выбросов CO₂ от стационарного сжигании природного газа в отношении к 1990 г. [12, 14, 15].

Тип топлива	Потреблено для производства электрической и тепловой энергии, тыс. т				Коэффициенты необходимые для расчетов выбросов CO ₂ от сжигания топлива, уровень 1 (уровень 2)		Выбросы CO ₂ от сжигания различных видов топлива с целью получения электрической и тепловой энергии, рассчитанные по уровню 1 (уровню 2)			
	1990 г	2017 г.	2018 г.	2019 г	Нижшая теплотворная способность топлива, НТС _{топл} , ГДж/т, т	Коэффициент выбросов CO ₂	1990 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Нефть, включая газовый конденсат	4,00	0,00	0,00	0,76	42,301	73 3004	12,40	0,00	0,00	2,36
Газ горючий природный, млн. м ³	10 294,00	13 701,00	14 796,00	14 771,33	33,532 (33,823)	56 1004 (54 400)	19 363,35 (18 938,98)	25 772,03 (25 207,21)	27 831,76 (27 221,80)	27 785,36 (27 176,41)
Уголь	681,00	1,00	1,00	2,09	11,901	101 0004	818,49	1,20	1,20	2,51
Торф топливный	496,00	296,00	327,00	333,93	15,002	106 0004	788,64	470,64	519,93	530,95
Дрова для отопления	12,24	438,10	440,50	398,47	-5	-(5)	-	-	-	-
Отходы лесозаготовок, т. у. т.	0,00	322,00	0,00	280,63	-5	-(5)	-	-	-	-
Топливные брикеты	20,00	106,00	89,00	69,63	16,5322	97 5004	32,24	170,86	143,46	112,23
Бензин автомобильный	0,00	0,00	0,10	0,14	44,301	69 3004	0,00	0,00	0,31	0,43
Дизельное топливо	74,00	2,00	2,00	2,50	42,582	74 1004	233,48	6,31	6,31	7,89
Топочный мазут	11 606,00	128,00	132,00	81,03	37,962	77 4004	34 099,64	376,08	387,83	238,07
Газ сжиженный	0,00	0,10	0,10	0,05	44,201	63 1004	0,00	0,28	0,28	0,14
Газ нефтепереработки сухой	0,00	181,50	70,00	51,55	49,501	57 6004	0,00	517,49	199,58	146,98
Керосины прочие	0,00	0,00	0,00	0,09	43,801	71 9004	0,00	0,00	0,00	0,28
Топливо печное бытовое	225,00	0,00	0,00	3,75	42,002	73 3004	692,69	1,20	0,00	11,54
Суммарные выбросы (при расчете выбросов от всех топлив по уровню 1)							56 040,93	27 314,89	29 090,66	28 838,75
Уровень выбросов по отношению к 1990 г., в % (при расчете выбросов от всех топлив по уровню 1)								-51,26	-48,09	-48,54
Суммарные выбросы (при расчете выбросов от природного газа по уровню 2)							55 616,56	26 750,07	28 480,70	28 229,80
Уровень выбросов по отношению к 1990 г., в % (при расчете выбросов от природного газа по уровню 2)								-51,90	-48,79	-49,24
Изменение уровня выбросов по отношению к 1990 г. при расчете выбросов от природного газа по уровню 2								-0,64	-0,70	-0,70

¹ ТКП 17.09-05-2013.² ТКП 17.09-01-2011.³ Национальный отчет о кадастре ПГ Российской Федерации.⁵ Источник: таблица 2.2 Руководящих принципов МГЭИК 2006.⁶ Выбросы CO₂ при сжигании биомассы не включаются в национальные итоговые данные выбросов от сжигания топлива во избежание двойного учета (учтены в секторе ЗИЗПХ).

мазута и в последующие годы происходило его замещение природным газом. В национальной инвентаризации ПГ Республики Беларусь за 1990–2018 гг., предоставленной в Секретариат РКИК ООН в 2020 г., значения выбросов CO₂ от стационарного сжигания природного газа пересчитаны за все годы, так как это требуется для обеспечения согласованности (последовательности) оценок выбросов и поглощений ПГ во всем временном ряду. Применение национальных коэффициентов выбросов для категорий источников с наибольшим вкладом в объединенную неопределенность позволяет снизить неопределенность национальной инвентаризации.

Заключение. Разработан национальный коэффициент выбросов CO₂ от стационарного сжигания природного газа, основанный на содержании углерода в товарном природном газе, потребляемом в Республики Беларусь и транспортируемом по магистральным трубопроводам с учетом предположения, что весь содержащийся в топливе углерод полностью окисляется в CO₂. Применение полученного национального коэффициента позволит перейти на методологию уровня 2 при оценке выбросов CO₂ от стационарного сжигания природного газа, которое составляет более четверти общенациональных выбросов ПГ. Переход на методологию уровня 2 и использование национального коэффициента способствует повышению качества инвентаризации и точности оценок выбросов ПГ, снижению неопределенностей оценок выбросов ПГ и уровня общенациональных выбросов по отношению к базовому году.

Полученные результаты внедрены в национальную инвентаризацию ПГ Республики Беларусь за 1990 – 2018 гг., предоставленную в Секретариат РКИК ООН в 2020 г. Описание разработки национального коэффициента будет включено в национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ, не регулируемых Монреальским протоколом с целью повышения его прозрачности для обеспечения постоянного роста качества национальной инвентаризации.

Список использованных источников

1. Об утверждении Положения о порядке ведения государственного кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов // Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 10 апреля 2006 г. № 485 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://etalonline.by/document/?regnum=c20600485&q_id=2118943. – Дата доступа: 05.11.2020.
2. Об одобрении Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата // Указ Президента Респ. Беларусь от 10 апреля 2000 г. № 177 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://etalonline.by/document/?regnum=r30000177&q_id=2118916. – Дата доступа: 05.11.2020.
3. Решение Конференции Сторон Рамочной конвенции об изменении климата Организации Объединенных Наций 24/CP.19 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/rus/10a03r.pdf>. – Дата доступа: 05.11.2020.
4. Решение Конференции Сторон Рамочной конвенции об изменении климата Организации Объединенных Наций 13/CP.20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unfccc.int/resource/docs/2014/cop20/eng/10a03.pdf>. – Дата доступа: 05.11.2020.
5. Т. 1 Общие руководящие указания и отчетность. Гл. 4: Методологический выбор и определение ключевых категорий // Руководящие принципы проведения национальных инвентаризаций парниковых газов: Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/1_Volume1/V1_4_Ch4_MethodChoice.pdf#page=5. – Дата доступа: 05.11.2020.
6. Государственный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов Республики Беларусь 1990–2018 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020>. – Дата доступа: 05.11.2020.
7. Мелех, Д. В. Выбросы парниковых газов при производстве электрической и тепловой энергии / Мелех Д. В., Наркевич И. П. // Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 335.
8. Энергетический баланс Республики Беларусь // Национальный статистический комитет Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_17874/. – Дата доступа: 05.11.2020.
9. Карпук, В. В. О возможностях обеспечения потребностей экономики Республики Беларусь собственными минерально-сырьевыми ресурсами / Карпук В. В., Ковхута А. М. // Новости науки и технологий. — Минск: ГУ «БелИСА», 2010. – № 3. – С. 16.
10. Пашков, С. А. Ценный попутчик: Где востребована продукция Белорусского газоперерабатывающего завода / С. А. Пашков, Н. В. Нияковская // Портал «Нефтехимия» / 12.09.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belchemoil.by/news/neft-i-toplivo/cennyj-poputchik-gde-vostrebovana-produkciya-belorusskogo-gazopererabatyvayushhego-zavoda>. – Дата доступа: 05.11.2020.
11. Т. 2. Энергетика. Гл. 2: Стационарное сжигание топлива // Руководящие принципы проведения национальных инвентаризаций парниковых газов // Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf#page=14. – Дата доступа: 05.11.2020.

12. База данных коэффициентов выбросов Межправительственной группы экспертов по изменению климата // Институт глобальной политики в области окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>. – Дата доступа: 05.11.2020.

13. Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2017 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2019>. – Дата доступа: 05.11.2020.

14. Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчетов выбросов парниковых газов в основных секторах экономики Республики Беларусь // ТКП 17.09-05-2013. – Минск: Минприроды Республики Беларусь, 2013. – Режим доступа: http://ecoinv.by/images/pdf/tkp_fond/_17.09-05-2013.pdf. – Дата доступа: 05.11.2020.

15. Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов за счет внедрения мероприятий по энергосбережению, возобновляемых источников энергии // ТКП 17.09-01-2011. – Минск: Минприроды Республики Беларусь, 2011. – 29 с. – Режим доступа: http://ecoinv.by/images/pdf/tkp_fond/_17.09-01-2011.pdf. – Дата доступа: 05.11.2020.

Поступила 21.10.2020

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

УДК 332.155, 332.14

Е. А. Власевский*Аппарат Совета Министров Республики Беларусь,
e-mail: vlasevskiy@inbox.ru***МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЭКОНОМИКИ
АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И г. МИНСКА**

Аннотация. Представлена адаптированная автором методика Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь (далее – НИЭИ Минэкономики) по выявлению отстающих по уровню социально-экономического развития регионов страны, применяемая для оценки конкурентоспособности административно-территориальных единиц (далее – АТЕ) уровня регионов Республики Беларусь и г. Минска. Автором был расширен по сравнению с базовой методикой перечень исследуемых показателей для более комплексной репрезентативной оценки конкурентных преимуществ рассматриваемых регионов. Представлены результаты апробации авторской методики, в которой исследуемые регионы Беларуси были проранжированы по результатам идентификации уровня их конкурентоспособности с выявлением ключевых проблем, разработана система мер, направленная на преодоление факторов, минимизирующих развитие экономики в проблемных регионах, для достижения ими среднего республиканского уровня.

Ключевые слова: конкурентоспособность, социально-экономическое развитие, производственный потенциал, социально-экономический потенциал, административно-территориальная единица

Е. А. Vlasevsky*Office of the Council of Ministers of the Republic of Belarus,
e-mail: vlasevskiy@inbox.ru***METHODOLOGY FOR ASSESSING THE COMPETITIVENESS OF THE ECONOMY
OF ADMINISTRATIVE-TERRITORIAL UNITS OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND THE CITY OF MINSK**

Abstract. The article presents the author's adapted methodology of the Scientific Research Economic Institute of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus to identify regions of the country that are lagging behind in terms of socio-economic development, used for assessing the competitiveness of administrative-territorial units (hereinafter - ATE) of the level of regions of the Republic Belarus and Minsk. In comparison with the basic methodology, the author expanded the list of indicators under study for a more comprehensive representative assessment of the competitive advantages of the regions under consideration. The paper presents the results of testing the author's methodology, in which the studied regions of Belarus were ranked according to the results of identifying their level of competitiveness with identifying their key problems, a system of measures was developed to overcome factors minimizing the development of the economy in problem regions in order to achieve an average republican level.

Keywords: competitiveness, socio-economic development, production potential, social potential, economic potential

Я. А. Власеўскі*Апарат Савета Міністраў Рэспублікі Беларусь,
e-mail: vlasevskiy@inbox.ru***МЕТОДЫКА АЦЭНКІ КАНКУРЭНТАЗДольнасці ЭКАНОМІКІ АДМІНІСТРАЦЫЙНА-ТЭРЫТАРЫЯЛЬНЫХ АДЗІНАК
РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ І г. МІНСКА**

Анатацыя. Прадстаўлена адаптаваная аўтарам методыка Навукова-даследчага эканамічнага інстытута Міністэрства эканомікі Рэспублікі Беларусь (далей – НДЭІ Мінэканомікі) па выяўленні адстаючых па ўзроўню сацыяльна-эканамічнага развіцця рэгіёнаў краіны, якая ўжываецца для мэт ацэнкі канкурэнтаздольнасці адміністрацыйна-тэрытарыяльных адзінак (далей – АТА) ўзроўню рэгіёнаў Рэспублікі Беларусь і г. Мінска. Аўтарам быў пашыраны ў параўнанні з базавай методыкай пералік доследных паказчыкаў для больш комплекснай рэпрэзентатыўнай ацэнкі канкурэнтных пераваг разгледжаных рэгіёнаў. Прадстаўленыя вынікі апрабавання аўтарскай методыкі, у якой доследныя рэгіёны Беларусі былі праранжыраваныя па выніках ідэнтыфікацыі ўзроўню іх канкурэнтаздольнасці з выяўленнем іх ключавых праблем, распрацавана сістэма мер, накіраваная на пераадоленне фактараў, мінімізуючых развіццё эканомікі ў праблемных рэгіёнах, для дасягнення імі сярэдняга рэспубліканскага ўзроўню.

Ключавыя словы: канкурэнтаздольнасць, сацыяльна-эканамічнае развіццё, вытворчы патэнцыял, сацыяльны патэнцыял, эканамічны патэнцыял

Введение. В современном мировом хозяйстве проблематика устойчивого развития любого государства и Республика Беларусь не является исключением требует пристального внимания к решению социально-экономических и экологических проблем развития регионов и городов, совершенствованию региональной политики, поиску новых инструментов регулирования регионального развития, повышению конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности регионов и входящих в них районов. Для страны в свою очередь развитие регионов является важным и необходимым условием социально-экономического развития. На V Всебелорусском народном собрании в качестве одного из приоритетов социально-экономического развития страны на среднесрочную перспективу было определено в качестве приоритетного устойчивое развитие регионов страны, а повышение их конкурентоспособности выделено как один из определяющих факторов [6].

Для регионов и административно-территориальных единиц (далее – АТЕ) Беларуси в условиях углубления международной экономической интеграции и ликвидации последствий мирового кризиса обострение конкурентоспособности в территориальном аспекте представляет весьма актуальную проблему, а оценка уровня конкурентоспособности белорусских регионов является ключевым этапом в решении задач повышения эффективности функционирования экономики, что послужит основой для формирования и укрепления их имиджа как на национальном, так и на международном экономическом пространстве.

Несмотря на акцентирование внимания на проблематике конкурентоспособности регионов за рубежом, в Беларуси до настоящего времени существует недостаток комплексных исследований в этой области, особенно в плане совершенствования использующихся и разработки новых инструментов и методов оценки АТЕ по уровню их конкурентоспособности. Такая оценка крайне необходима на практике для определения условий, факторов и последующего обоснования приоритетных направлений стратегического, тактического и оперативного социально-экономического развития регионов, районов и более мелких АТЕ республики, выделения «точек роста» и векторов развития на различных территориальных уровнях. В связи с этим представляется целесообразной разработка системной, универсальной и одновременно эффективной репрезентативной для практического использования методики оценки конкурентоспособности регионов Республики Беларусь.

Отражены авторские результаты оценки уровня конкурентоспособности областей и г. Минска, полученные в результате применения к исследуемым АТЕ адаптированной автором методики НИЭИ Минэкономики по отнесению регионов страны к отстающим по уровню их социально-экономического развития (далее – базовая методика) [7].

Согласно базовой методике оценка конкурентоспособности экономики белорусских регионов проводится по ряду одноименных показателей, характеризующих их социально-экономическое развитие без учета специфики структуры их хозяйственных комплексов, исключительно путем сравнения со среднереспубликанскими значениями за последние три года. Структурно перечень показателей базовой методики состоит из следующего перечня: темпы роста численности населения; выручка от реализации продукции, товаров, работ, услуг в расчете на душу населения; номинальная начисленная среднемесячная заработная плата; розничный товарооборот в расчете на душу населения; объем собственных доходов местного бюджета в расчете на душу населения. При этом согласно базовой методике критерием для выделения районов-аутсайдеров был принят уровень социально-экономического развития на 30 % и более ниже среднего по республике [7].

Проведенный анализ показателей позволил выявить наиболее отстающие в социально-экономическом развитии районы страны и структуру существующих в них проблем, учет которых необходим для последующего построения дорожной карты с целью разработки мер по выводу проблемных регионов по темпам экономического роста на среднереспубликанские показатели.

Одним из ключевых преимуществ методики НИЭИ Минэкономики является ее ориентированность на данные существующей национальной статистики, а также принципы адекватности и репрезентативности показателей при минимизации их числа.

Основная часть. С целью выявления и обоснования оптимального перечня показателей для комплексной характеристики факторов конкурентоспособности исследуемых АТЕ автором были проанализированы теоретико-методические подходы и методики оценки как отечественных, так и зарубежных ученых в сфере региональной конкурентоспособности (российских и украинских) [1, 4–6, 9, 12, 13, 15]. В результате базовый перечень показателей был расширен до 14, и их список представлен в табл. 1. Далее для эффективности обработки данных и последующего их анализа были сформированы с учетом их специфики три модуля показателей (демографический, социальный и экономический).

1. **Демографический модуль** характеризует состояние и качественный состав населения изучаемого региона (рождаемость, смертность, естественный прирост, фертильность и так далее). Для решения задач настоящей работы и с целью сохранения репрезентативности используемых показателей при оптимизации их числа автором предлагается использовать исключительно показатель темпа роста численности населения, отражающий результаты естественного и миграционного движения населения и одновременно являющийся комплексной характеристикой уровня развития экономической и социальной сферы, фиксирующий параметры уровня развития здравоохранения и продолжительности жизни.

2. **Социальный модуль** отражает содержание и характер социальной деятельности людей (уровень их культуры, образования, профессиональной подготовки), а также степень развития объектов социальной инфраструктуры. Структурно данный модуль состоит из 4 показателей:

уровень образования населения, представляющий отношение числа работников с высшим образованием к числу занятых в экономике, что позволяет дать оценку уровня квалификации и конкурентоспособности трудовых ресурсов в регионе;

обеспеченность населения жильем, позволяющая идентифицировать как доступность жилья для местного населения, так и уровень развития объектов инфраструктуры региона. При этом он находится в прямой связи с количеством средств социальной инфраструктуры (объекты здравоохранения, образования и культуры), наличие которых в стране закреплено соответствующими социальными стандартами;

номинальная начисленная заработная плата является основным элементом создаваемой добавленной стоимости и доходов населения, индикатором доли высокопроизводительных рабочих мест в структуре экономики, ключевым параметром, определяющим уровень жизни населения и привлекательность территории как места жительства;

розничный товарооборот на душу населения, представляющий индикатор денежных доходов населения и развития сферы услуг, тесно коррелирующий с объемом оказания платных услуг, характеризующий объемные параметры сферы обращения денежных средств, отражающий уровень развития сектора малого предпринимательства.

3. **Экономический модуль** характеризует уровень развития производительных сил, совокупную способность отраслей, предприятий, хозяйств региона в отношении производственно-экономической деятельности, сопровождающейся выпуском продукции, товаров, услуг для удовлетворения соответствующих запросов населения, обеспечивать развитие производства и потребления. При этом ключевые показатели экономического потенциала территории автором дифференцированы с выделением следующих подгрупп:

3.1. **Трудовые ресурсы**, представленные одним показателем, характеризующим темп роста численности занятого в экономике населения, фиксирующий привлекательность региона для экономически активного населения, динамику роста количества рабочих мест. Данный показатель является ключевым фактором, способствующим реализации конкурентных преимуществ территории.

3.2. **Производственная база** структурно представлена тремя показателями:

объемом промышленного производства на душу населения, отражающим стоимостную форму предназначенных для продажи или прямого обмена товаров собственного производства, работ и услуг, выполненных собственными силами. Данный показатель определяет уровень развития реального сектора экономики в регионе;

объемом продукции сельского хозяйства на душу населения, фиксирующим общую стоимость материальных благ, созданных в отрасли, как для реализации, так и для собственного потребления. При этом объем продукции сельского хозяйства формируется из стоимости произведенной продукции животноводства и растениеводства;

выручкой от реализации товаров, работ, услуг в расчете на душу населения, представленной показателем объема денежного оборота коммерческой сферы, который комплексно характеризует масштабы экономической деятельности (имеет сильную корреляцию с объемом производства продукции (работ, услуг) и их результативностью, являющимся индикатором конкурентоспособности территориального хозяйственного комплекса.

3.3. Инвестиционная привлекательность характеризуется четырьмя показателями:

инвестиции в основной капитал, отражающие совокупность затрат, связанных с приобретением, воспроизводством и созданием инновационных основных средств производства. Данный показатель тесно коррелирует с активностью в инновационных услугах в части внедрения новейших и наиболее эффективных технологий в производство и оказание услуг;

объем собственных доходов местного бюджета в расчете на душу населения, представляющим интегральный индикатор экономической активности юридических и физических лиц на территории, дотационности местного бюджета, который комплексно отражает результативность экономической деятельности;

показатели экспорта товаров и экспорта услуг, которые характеризуют конкурентоспособность производимых в регионе товаров и услуг во внешнеэкономической деятельности.

3.4. Транспортная инфраструктура характеризуется одним показателем – плотностью автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, что позволяет оценить производительность сил и трудовых ресурсов региона, уровень развитости логистической структуры.

Важной составляющей авторской методики является увеличение временных рамок исследования от 3 до 9 лет (с 2010 по 2018 г.), что необходимо для повышения репрезентативности рядов динамики, отражающих динамику конкурентоспособности региона. Кроме того, автором были разработаны четыре организационных этапа, необходимые для апробации на практике методики для идентификации районов-аутсайдеров в стране по уровню социально-экономического развития. В итоге методика расчета уровня конкурентоспособности региона приобретает следующий вид.

На **первом этапе** происходит сбор, систематизация в виде электронной базы данных для исследования степени конкурентоспособности на уровне административно-территориальных единиц по следующим показателям: 1) темп роста численности населения; 2) уровень образования населения; 3) обеспеченность жильем; 4) номинальная начисленная среднемесячная заработная плата; 5) розничный товароборот на душу населения; 6) темп роста численности занятого в экономике населения; 7) объем промышленного производства на душу населения; 8) производство продукции сельского хозяйства на душу населения; 9) выручка от реализации товаров, работ, услуг в расчете на душу населения; 10) инвестиции в основной капитал; 11) объем собственных доходов местного бюджета на душу населения; 12) экспорт товаров на душу населения; 13) экспорт услуг на душу населения; 14) плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием.

На **втором этапе** производится расчет нормированных значений вышеперечисленных показателей, выраженных в процентах по следующей формуле [7]:

$$x_{ij}^k = \frac{a_{ij}^k}{a_{cpi}^k} \times 100, \quad (1)$$

где x_{ij}^k – нормированное значение i -го показателя j -го региона в году k ; a_{ij}^k – значение i -го показателя j -го региона в году k ; a_{cpi}^k – среднее по республике значение i -го показателя в году k ; k – отчетный год.

Расчет интегрального показателя конкурентоспособности региона был проведен на основе данных за 9 отчетных лет. Под отчетным годом при этом понимаются годы $t-1$ – $t-9$, где t – год определения уровня конкурентоспособности исследуемых территорий.

На **третьем этапе** определяется сводный индикатор по каждому отчетному году, рассчитываемый по формуле [7]:

$$R_j^k = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}^k}{n}, \quad (2)$$

где R_j^k – сводный индикатор уровня развития j -го региона в году k ; x_{ij}^k – нормированное значение i -го показателя j -го региона в году k ; n – количество показателей; k – отчетный год.

На **четвертом этапе** для каждого региона рассчитывается интегральный показатель определения среднего арифметического значения сводных индикаторов за 9 отчетных лет [7]:

$$I_j = \frac{\sum_{k=1}^9 R_j^k}{9}, \quad (3)$$

где I_j – интегральный показатель j -го региона; R_j^k – сводный индикатор уровня развития j -го региона в году k ; k – отчетный год.

Критерием конкурентоспособности региона будет являться его превышение над средним республиканским уровнем. Результаты сравнительного анализа интегральных показателей районов и регионов со среднереспубликанским уровнем представлены с использованием метода диаграмм и картографического метода, что позволило определить наиболее конкурентоспособные районы и регионы страны.

Для достижения практической цели данной работы автором был определен уровень конкурентоспособности областей Республики Беларусь и г. Минска. Для этого в процессе первого этапа были собраны исходные данные за указанный период, проведен расчет и систематизация исследуемых показателей, позволяющих охарактеризовать уровень конкурентоспособности исследуемых территорий. Информационным ресурсом для формирования электронной базы данных по идентификации конкурентоспособности послужили данные официальной статистики Белорусского статистического комитета и его региональных структурных подразделений, Министерства финансов, данные Государственного комитета по имуществу, а также РУП «Белдорцентр» [16–35]. Фрагмент электронной базы данных с исходными показателями на примере Витебской области для расчетов уровня конкурентоспособности по Республике Беларусь представлены в табл. 1 и 2. Данные по другим административно-территориальным единицам приведены в сводных табл. 4 и 5.

Т а б л и ц а 1. Первичные данные исследуемых показателей социально-экономического развития Витебской области (составлено автором по данным Белстата [20, 28])

Показатель/Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Численность населения, тыс. человек	1229,4	1221,8	1214,1	1208	1202,1	1198,5	1193,5	1188	1180,2
Темп роста численности населения за 5 лет, %	96,5	97,0	97,3	97,6	97,8	98,1	98,3	98,3	98,2
Уровень образования населения (высшее и ССО), %	59,3	59,7	61,8	63,0	63,2	64,6	67,0	68,5	69,1
Обеспеченность населения жильем, кв. м площади на жителя	25,4	25,7	25,9	26,2	26,4	26,6	26,9	27,1	27,4
Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата, тыс. руб. (с 2016 г. – руб.)	1090,0	1709,1	3313,4	4507,3	5337,7	5805,3	613,4	687,3	814,4
Розничный товарооборот на душу населения, тыс. руб. (с 2016 г. – руб.)	6329,4	11167,9	20293,0	26433,5	30962,1	32944,5	3446,0	3725,0	4234,6
Темп роста численности занятого населения, % к предыдущему году	99,8	99,3	96,6	98,2	99,6	97,9	96,4	97,7	99,1

Окончание табл. 1

Показатель/Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Объем промышленного производства на душу населения, млн руб. (с 2016 г. – тыс. руб.)	23 860	50 038	92 289	79 487	88 016	97 985	9653	11 590	14 285
Производство продукции сельского хозяйства на душу населения, млн руб. (с 2016 г. – тыс. руб.)	4394,0	6717,1	11 621,0	12 048,8	13 802,5	14 408,0	1614,6	1829,1	1994,6
Выручка от реализации товаров, работ, услуг на душу населения, млн руб. (с 2016 г. – тыс. руб.)	3,3	6,1	10,3	12,0	12,9	16,0	1,6	1,8	1,9
Инвестиции в основной капитал, млн руб. (с 2016 г. – тыс. руб.)	5700,7	8924,5	13 677,1	21 464,8	19 382,9	17 652,8	1691,7	1775,7	2265,6
Объем собственных доходов местного бюджета на душу населения в среднем по стране, млрд руб. (с 2016 г. – млн руб.)	1,6	2,5	5,6	6,9	6,1	5,7	0,9	1,0	1,2
Экспорт товаров, млн долл. США	1385,7	2055,5	3074,0	1783,7	2475,9	1466,6	1323,1	1961,2	1876,8
Экспорт услуг, млн долл. США	58,3	87,3	107,2	130,5	141,3	137,5	115,3	137,7	167,7
Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км на 1 тыс. кв. км	364,7	365,5	402,7	403,5	406,1	407,9	414,6	415,8	417,0

Т а б л и ц а 2. Первичные данные исследуемых социально-экономических показателей Республики Беларусь (составлено автором [16–19, 34, 35])

Показатель/Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Численность населения, тыс. человек	9500	9481,2	9465,2	9463,8	9468,2	9480,9	9498,4	9504,7	9491,8
Темп роста численности населения за 5 лет, %	98,6	99,0	99,2	99,5	99,7	100,0	100,4	100,4	100,2
Уровень образования населения (высшее и ССО), %	58,2	58,4	59,3	59,8	59,7	60,4	61,6	62,4	62,6
Обеспеченность населения жильем, кв. м площади на жителя	24,6	25	25,4	25,7	26,1	26,5	26,8	27	27,3
Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата, тыс. руб. (с 2016 г. – руб.)	1217,3	1899,8	3676,1	5061,4	6052,4	6715	722,7	822,8	971,4
Розничный товарооборот на душу населения, тыс. руб. (с 2016 г. – руб.)	6834,7	11 917,7	21 375,6	28 313,8	33 574,3	36 591,5	3886	4236,3	4762,5
Темп роста численности занятого населения, % к предыдущему году	100,5	99,8	98,3	99,3	100,1	98,8	98,0	98,8	99,6
Объем промышленного производства на душу населения, млн руб. (с 2016 г. – тыс. руб.)	17 591	36 768	65 071	63 980	71 175	77 937	8609	9929	11 637
Производство продукции сельского хозяйства на душу населения, млн руб. (с 2016 г. – тыс. руб.)	4640,9	7089,7	12 457,7	13 666,8	17 021,3	17 902,9	2055,9	2397,7	2506,5
Выручка от реализации товаров, работ, услуг на душу населения, млн руб. (с 2016 г. – тыс. руб.)	3,5	6,9	12,2	13,4	15,0	16,7	1,8	2,0	2,3
Инвестиции в основной капитал, млн руб. (с 2016 г. – тыс. руб.)	55 380,8	98 664,9	154 442,4	209 574,6	225 269,7	207 152,5	18 710,0	21 033,7	25 004,4
Объем собственных доходов местного бюджета на душу населения в среднем по стране, млрд рублей (с 2016 г. – млн руб.)	1,9	3,3	6,6	8,8	8,0	7,1	1,3	1,4	1,5
Экспорт товаров, млн долл. США	2661,5	4368,5	4866,2	3931,1	3810,8	2812,0	2478,1	3079,2	3572,2
Экспорт услуг, млн долл. США	504,8	591,6	666,8	793,1	832,2	699,7	718,8	825,0	929,0
Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км на 1 тыс. кв. км	359,6	360,5	414,2	418,4	420,1	422,1	424,7	426,6	428,5

Результаты анализа данных табл. 1 показали, что по большинству показателей имеют место существенные различия в единицах измерения, что затрудняет проведение расчетов по определению уровня конкурентоспособности регионов. Для преодоления этой проблемы, согласно предлагаемой методике (второй этап), необходимо перейти к расчету относительных показателей, выраженных в процентах по каждому отчетному году для исследуемых АТЕ в сравнении с их среднереспубликанским уровнем. В табл. 3 приведены полученные расчетные относительные показатели по Витебской области.

Т а б л и ц а 3. Нормированные значения по исследуемым социально-экономическим показателям Витебской области в сравнении с республиканскими показателями (составлено автором по данным Белстата [22,28, 16–19, 34, 35])

Показатель/Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<i>Демографический модуль</i>									
Темп роста численности населения за 5 лет, %	96,5	97,0	97,3	97,6	97,8	98,1	98,3	98,3	98,2
<i>Социальный модуль</i>									
Уровень образования (высшее и ССО) занятого населения, %	101,9	102,3	104,1	105,4	105,9	106,9	108,7	109,9	110,4
Обеспеченность населения жильем, %	103,3	102,8	102,0	101,9	101,1	100,4	100,4	100,4	100,4
Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата, %	89,5	90,0	90,1	89,1	88,2	86,5	84,9	83,5	83,8
Розничный товарооборот на душу населения, %	92,6	93,7	94,9	93,4	92,2	90,0	88,7	87,9	88,9
<i>Экономический модуль</i>									
Темп роста численности занятого населения, % к предыдущему году	99,8	99,3	96,6	98,2	99,6	97,9	96,4	97,7	99,1
Объем промышленного производства на душу населения, %	135,6	136,1	141,8	124,2	123,7	125,7	112,1	116,7	122,8
Продукция сельского хозяйства на душу населения, %	94,7	94,7	93,3	88,2	81,1	80,5	78,5	76,3	79,6
Выручка от реализации товаров, работ, услуг в расчете на душу населения, %	68,3	59,4	60,6	66,7	68,3	67,1	69,8	69,5	68,2
Инвестиции в основной капитал на душу населения, %	79,5	70,2	69,0	80,2	67,8	67,4	72,0	67,5	72,9
Объем собственных доходов местного бюджета на душу населения в среднем по области, %	84	76,9	85	78,3	75,9	79,6	75,2	74,1	78,2
Экспорт товаров на душу населения, %	52,1	47,1	63,2	45,4	65	52,2	53,4	63,7	52,5
Экспорт услуг на душу населения, %	11,6	14,8	16,1	16,4	17	19,7	16	16,7	18,1
Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, %	101,4	101,4	97,2	96,4	96,7	96,6	97,6	97,5	97,6

Анализ данных, представленных в табл. 3, позволяет сделать вывод, что в Витебском регионе наблюдается напряженная **демографическая обстановка**, связанная с отрицательным приростом населения. В то же время на протяжении всего периода исследования прослеживается устойчивая положительная динамика темпов роста численности населения, характеризующаяся постепенным приближением данного показателя к среднему республиканскому.

Характеризуя **социальный модуль** конкурентоспособности региона, следует отметить стабильно высокий уровень образования занятого населения в регионе, а также его обеспеченность жильем на уровне выше среднереспубликанских показателей. Это указывает на наличие резервов для экономического роста в регионе, в том числе путем развития в нем современных наукоемких производств. Кроме того, в ходе исследования выявлена разница в доходах местного населения, которая характеризуется устойчивой долговременной тенденцией, что в свою очередь сопровождается снижением показателей розничного товарооборота и уровня жизни местного населения.

Анализируя показатели **экономического модуля**, следует обратить внимание на следующие особенности региона.

1. В Витебской области наблюдаются одни из самых высоких в стране показателей объемов промышленного производства на душу населения (от 135,6 до 112,1 %). Это свидетельствует

о наличии в области крупных высокорентабельных промышленных предприятий, что в свою очередь указывает на присутствие высококвалифицированных кадров. Эти производства преимущественно являются градообразующими и могут служить точками роста при разработке программы развития региона с целью повышения его конкурентоспособности. При этом следует отметить, что 6 % валового регионального продукта области (далее – ВРП) формирует одно предприятие – ОАО «Нафтан», которое дает ощутимый эффект в плане формирования объемов промышленного производства. Если исключить влияние данного предприятия на экономику области, то показатели функционирования реального сектора экономики окажутся гораздо более скромными.

2. Темпы роста численности занятого населения остаются стабильными в течение всего анализируемого периода времени и близкими к средним по республике. Это свидетельствует о достаточно стабильной обстановке на рынке труда с сохранением имеющихся рабочих мест, но при этом фиксируется практически нулевая тенденция роста их числа. В виду этого можно сделать вывод, что экономика в регионе находится в состоянии стагнации.

3. Динамика показателей, характеризующих объемы производимой сельскохозяйственной продукции, за период исследования имеет отрицательный тренд в 15,1 %, что свидетельствует о низком уровне эффективности предприятий аграрного сектора. Этот тезис подтверждается также уровнем доходов от реализации товаров, работ и услуг на душу населения. На протяжении всего периода исследований значение показателя колеблется в диапазоне 60–70 % от среднереспубликанского уровня.

4. Одной из ключевых причин низкого уровня эффективности сельскохозяйственных предприятий является низкий уровень инвестиций в основной капитал, который не превышает 80 % от его среднереспубликанских значений. Это свидетельствует о высокой степени амортизации основных сельскохозяйственных фондов и фактическое отсутствие инновационной деятельности.

Механизмами для преодоления сложившейся ситуации, по мнению автора, может стать формирование **центров экономического роста** на базе наиболее конкурентоспособных административно-территориальных единиц районного уровня с концентрацией имеющихся финансовых резервов местного и республиканского бюджетов, направленных на развитие инновационных производств V–VI технологических укладов, а также модернизации имеющейся производственной базы.

Однако оценка доходов местного бюджета показала, что неэффективная работа предприятий региона привела к значительному сокращению поступлений от налоговых отчислений, в результате чего экономика региона перешла в разряд дотационных и уже не способна стимулировать проблемные направления.

Витебская область также фактически не имеет резервов в виде поступления валюты из-за рубежа за счет экспорта товаров и услуг. Значения показателей этого направления на душу населения катастрофически низки: экспорт товаров колеблется от 45,4 до 65 %, а экспорт услуг в диапазоне от 10 до 20 %.

Таким образом, развитие экспорта товаров и услуг может отстроиться только при условии участия в региональном развитии республиканского бюджета; использование **логистического потенциала** региона с целью увеличения значения показателя экспорта услуг. В пользу этого тезиса свидетельствует факт наличия проходящих через Витебскую область крупнейших транспортных автомагистралей трансевропейского значения, а также плотность автодорог с твердым покрытием, находящихся на уровне, близком к республиканскому.

На **третьем этапе**, согласно авторской методике, был определен сводный индикатор, как среднеарифметическое от суммы всех показателей с делением полученного результата на количество исследуемых показателей ежегодно. Результаты расчета сводных индикаторов по всем АТЕ представлены в табл. 4.

Анализ результатов расчета конкурентоспособности регионов Беларуси и г. Минска, выполненный автором на третьем этапе, показывает неоднородность характера в трансформации исследуемых показателей. В частности, в Брестской, Гродненской и Минской областях выявлена

Т а б л и ц а 4. Сводные индикаторы конкурентоспособности областей и г. Минска, %
(составлено автором по данным Белстата [16–35])

Область/Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Брестская	82,6	78,5	77,9	79,6	80,5	80,1	81,7	82,5	82,1
Витебская	88,2	86,8	88,3	86,0	85,6	85,5	83,7	84,1	84,9
Гомельская	92,2	92,3	91,4	93,8	94,6	93,3	89,4	90,3	90,1
Гродненская	90,2	88,7	88,7	92,3	92,9	94,2	95,2	97,1	96,4
Минская	103,6	104,1	103,0	102,5	105,2	107,4	109,4	109,9	110,1
Могилевская	82,6	81,7	81,3	81,3	79,9	80,0	79,8	78,3	77,8
г. Минск	134,8	138,8	139,0	136,6	136,0	134,4	135,2	131,9	132,0

стабильная положительная динамика роста конкурентоспособности, в то время как для других АТЕ зафиксирован значительный уровень ее снижения (от 5 до 6 %).

На последнем, **четвертом этапе** оценки уровня конкурентоспособности исследуемых регионов и столицы для каждого региона рассчитывается интегральный показатель конкурентоспособности регионов путем определения среднего арифметического значения сводных индикаторов по отчетному временному ряду (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Интегральный показатель конкурентоспособности экономики регионов Республики Беларусь и г. Минска, % (составлено автором по данным Белстата [16–35])

Показатель	Брестская	Витебская	Гомельская обл.	Гродненская	Минская	Могилевская	г. Минск
Интегральный показатель конкурентоспособности АТЕ Республики Беларусь	80,6	85,9	91,9	92,9	106,1	80,3	135,4

Полученные автором результаты расчета интегрального показателя конкурентоспособности областей Республики Беларусь и г. Минска представлены в форме диаграмм, отражающих конкурентоспособность регионов и столицы (рисунок).



География конкурентоспособности экономики областей Республики Беларусь и г. Минска

Анализируя географические закономерности распределения регионов по степени конкурентоспособности их экономики, можно сделать вывод, что регионы с наиболее высокими показателями тяготеют к центральным и западным регионам страны. В то время регионы с отри-

цательными значениями показателей граничат преимущественно со странами Балтии, России и Украины. На основе анализа результатов электронной базы данных, разработанной в ходе исследования, можно выделить ряд причин, которые послужили основанием для данной дифференциации.

1. Причиной снижения конкурентоспособности Брестской, Витебской, Гомельской и Могилевской областей является значительно увеличившийся за 2016–2018 гг. разрыв в уровне доходов регионов по сравнению со столичным регионом и приграничными с Россией областями, что в свою очередь повлекло снижение покупательной способности населения и одновременно уровня их жизни. Жители периферийных районов в поисках дополнительных источников к существованию мигрируют в приграничные районы Российской Федерации, в которых, работая, потребляют местную продукцию и отчисляют налоги в российский бюджет. Это ведет к сокращению налогов из регионов их постоянного проживания в Беларуси и соответственно к уменьшению возможностей по оказанию поддержки проблемным организациям за счет средств местного бюджета.

При этом высокие показатели объемов промышленного производства в Витебской и Гомельской областях (от 120 до 140 % от республиканских) в основном связаны с работой четырех крупнейших валообразующих предприятий республики – ОАО «Нафтан», ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «БМЗ» и ОАО «Гомсельмаш», на долю каждого из которых приходится примерно по 6 % в валовом региональном продукте каждого из регионов. Без учета объемов валового регионального продукта указанных предприятий реального сектора экономики названных областей не может быть признана конкурентоспособной.

2. Снижение объемов промышленного и сельскохозяйственного производства в Беларуси также тесно связано с внешнеполитической обстановкой: экономические санкции, введенные в 2014 г. странами Европейского союза и США против Российской Федерации, вызвали сокращение темпов экономического роста приграничных российских регионов, имеющих тесные социально-экономические связи с соответствующими АТЕ Беларуси; внутривнутриполитические процессы, происходящие на Украине, начиная с 2014 г., привели к значительному сокращению ВВП в Украине и взаимного товарооборота с Беларусью.

3. Рост конкурентоспособности за исследуемый период в Гродненской области (в 2018 г. показатель достиг 96,4 %) и столичном регионе (г. Минск – 135,4 %, Минская область – 106,1 %) связан с активным развитием на его территории социальной и транспортной инфраструктуры, а также со значительными инвестициями в основной капитал предприятий г. Минска и Минской области. Это позволило в значительной степени увеличить значения показателей экспорта товаров и услуг названных регионов, а также повысить уровень местного бюджета за счет расширения налоговой базы. Для рассматриваемых регионов характерны высокий уровень доходов населения (100–147,5 %) и розничного товарооборота, что свидетельствует о высоком уровне жизни населения, высококонкурентной производственной базе реального и аграрного секторов.

Выводы. В итоге необходимо отметить, что ключевыми проблемами, оказывающими негативное влияние на уровень конкурентоспособности регионов Беларуси, являются: значительная дифференциация в уровне доходов населения, что вызывает активизацию миграционных процессов в отношении квалифицированных трудовых ресурсов, вектором которой является преимущественно столичный регион (г. Минск и Минская область); высокий уровень амортизации основных производственных фондов предприятий реального и аграрного секторов при низких показателях привлечения инвестиций в их обновление.

Кроме того, абсолютно во всех регионах наблюдается низкий уровень значений показателей экспорта услуг, который за счет хорошо развитого транспортного потенциала и высокой квалификации трудовых ресурсов мог бы стать драйвером роста для экономик проблемных регионов. В то же время для повышения конкурентности экономик регионов необходимо и целесообразно провести детальный анализ имеющейся производственной базы на предмет экономической целесообразности дальнейшего функционирования убыточных предприятий; определить наиболее перспективные точки роста в регионах с концентрацией на них имеющихся финансовых

и трудовых ресурсов. Это позволит более эффективно и с реальной отдачей использовать все имеющиеся ресурсы, а также создать новые рабочие места для трудовых ресурсов, высвободившихся в результате оптимизации производственной базы; создать преференциальные условия для роста малого и среднего бизнеса, который должен стать драйвером роста для регионов, в том числе и для периферийных по отношению к полюсам роста.

Список использованных источников

1. Чайникова, Л. Н. Методологические практические аспекты оценки конкурентоспособности региона / Л. Н. Чайникова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 148 с.
2. Гожеляк, Г. Конкурентоспособность регионов / Г. Гожеляк, Б. Яловецкий // Белорус. Эконом. журн. – 2001. – № 1. – С. 84–95.
3. Какушкина, И. С. Конкурентоспособность региона: тенденции формирования, оценка, механизм реализации: автореф. дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05 / И. С. Какушкина; ФГОУ ВПО «Южный федеральный университет». – Ростов-на-Дону, 2008. – 31 с.
4. Татаркин, А. И. Теоретические и методологические подходы к исследованию региональной конкуренции / А. И. Татаркин, Л. А. Юрганов // Экономика региона. – 2006. – № 1. – С. 4–22.
5. Тоцицкая, И. Э. Показатели конкурентоспособности регионов / И. Э. Тоцицкая // Белорус. эконом. журн. – 2003. – № 3. – С. 60–70.
6. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы: Указ Президента Респ. Беларусь, 15 дек. 2016 г., № 466.
7. Об утверждении порядка отнесения административно-территориальных единиц к территориям, отстающим по уровню социально-экономического развития: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 2 февр. 2019 г., № 74.
8. Гожеляк, Г. Конкурентоспособность регионов / Г. Гожеляк, Б. Яловецкий // Белорус. Эконом. журн. – 2001. – № 1. – С. 84–95.
9. Козловская, Л. В. Оценка устойчивости и проблемности развития регионов в контексте повышения их конкурентоспособности / Л. В. Козловская // Конкурентоспособность региона: состояние, проблемы, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 28–29 апр. 2005 г.: в 2 ч. – Гродно: ГрГУ, 2005. – Ч. 1. – С. 14–17.
10. Козловская, Л. В. География инвестиционной активности как показатель конкурентоспособности регионов Беларуси / Л. В. Козловская // Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития: материалы VII междунар. науч. конф., Минск, 19–20 окт. 2006 г.: в 4 т. / редкол.: С. С. Полоник [и др.]. – Минск: НИЭИ М-ва экономики Респ. Беларусь, 2007. – Т. 1. – С. 368–371.
11. Структурная перестройка и конкурентоспособность экономики Республики Беларусь: проблемы и пути их решения / Я. М. Александрович [и др.]. – Минск: НИЭИ Минэкономики Респ. Беларусь, 2004. – 168 с.
12. Национальный отчет о человеческом развитии в Республике Беларусь. Конкурентные преимущества регионов Беларуси / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Резюме. 2015.
13. Русак, И. Н. Оценка конкурентоспособности регионов Республики Беларусь. – Минск: Энциклопедикс, 2014.
14. Ермишина, А. В. Конкурентоспособность региона: [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.cfin.ru/management/strategy/competitiveness.htm>. – Дата доступа: 25.09.2018.
15. Меркушов, В. В. Интегральная оценка конкурентоспособности регионов: [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://sopssecretary.narod.ru/Konferencya/Doclad/Mercushov.doc>. – Дата доступа: 25.09.2018.
16. Регионы Республики Беларусь, 2015 (том 1). Национальный статистический комитет. – Минск, 2015.
17. Регионы Республики Беларусь, 2015 (том 2). Национальный статистический комитет. – Минск, 2015.
18. Регионы Республики Беларусь, 2019 (том 1). Национальный статистический комитет. – Минск, 2019.
19. Регионы Республики Беларусь, 2019 (том 2). Национальный статистический комитет. – Минск, 2019.
20. Статистический ежегодник Витебской области, 2015. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Витебск, 2015.
21. Статистический ежегодник Брестской области, 2015. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Брест, 2015.
22. Статистический ежегодник Гомельской области, 2015. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Гомель, 2015.
23. Статистический ежегодник Гродненской области, 2015. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Гродно, 2015.
24. Статистический ежегодник Минской области, 2015. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2015.
25. Статистический ежегодник Могилевской области, 2015. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Могилев, 2015.
26. Статистический ежегодник г. Минска, 2015. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2015.
27. Статистический ежегодник Брестской области, 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Брест, 2019.
28. Статистический ежегодник Витебской области, 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Витебск, 2019.
29. Статистический ежегодник Гомельской области, 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Гомель, 2019.
30. Статистический ежегодник Гродненской области, 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Гродно, 2019.

31. Статистический ежегодник Минской области, 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2019
32. Статистический ежегодник Могилевской области, 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Могилев, 2019
33. Статистический ежегодник г. Минска, 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2019
34. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2015. Национальный статистический комитет. – Минск, 2015.
35. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2019. Национальный статистический комитет. – Минск, 2019.

Поступила 15.07.2020