

ISSN 1810-9810

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

NATURAL RESOURCES

**№ 2
2018**

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 часопік
«ПРЫРОДНЫЯ РЭСУРСЫ»
Выдаецца з 1996 года
Выходзіць 2 разы ў год
Лістапад 2018 г.**

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

Галоўны рэдактар
Барадзін Алег Ігаравіч

Рэдакцыйная калегія:
І. І. Ліштван /намеснік галоўнага рэдактара/
М. Я. Нікіфараў /намеснік галоўнага рэдактара/
Я. В. Рошчына – /вядучы рэдактар журналу/
М. П. Аношка, В. М. Астапенка, У. М. Байчораў,
Л. І. Бычкова, С. У. Буга, В. А. Бярозка, І. В. Войтаў,
С. Я. Галаваты, М. Р. Гермянчук, В. В. Грычык,
С. А. Дубянок, Н. І. Жаркіна; Дз. Л. Іваноў,
А. І. Кавалевіч, А. К. Карабанаў, А. М. Корбут, Б. В. Курзо,
В. В. Лапа, А. А. Махнач, С. Б. Мьялноў, А. В. Нявераў,
А. В. Пугачэўскі, В. П. Сяменчанка, В. С. Хоміч, У. У. Ціток,
В. С. Шымава

Адрас рэдакцыі:
вул. Акадэмічная, 1, к. 119,
220072, г. Мінск
Тэл. +375 17 284 19 19.
E-mail: prirod_res@mail.ru

Падпісныя індэксy:
012762 ведамасны
01276 індывідуальны

Камп'ютарная верстка А. У. Новік
Падпісана да друку 23 лістапада 2018 г.
Фармат 60×84 1/8. Папера афсетная. Друк лічбавы.
Ум. друк. л. 15,81. Ул.-выд. л. 14,4.
Наклад 58 экз. Заказ 270.
Кошт: індывідуальная падпіска – 20,51 руб.,
ведамасная падпіска – 20,79 руб.

Выдавец і паліграфічнае выкананне:
Рэспубліканскае унітарнае 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
November 2018**

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

Editor-in-Chief
Borodin Oleg Igorevich

Editorial board:
I. I. Lishtvan /Associate Editor-in-Chief/
M. Ye. Nikiforov /Associate Editor-in-Chief/
Ya. V. Roshchina /Lead Editor/
V. N. Astapenko, V. M. Baitchorov, O. A. Berozka,
S. V. Buga, E. I. Bychkova, I. V. Voitov,
M. G. Germenchuk, S. E. Golovaty, V. V. Grichik,
S. A. Dubenok, N. I. Zharkina, D. L. Ivanov,
A. K. Karabanov, A. N. Korbut, A. I. Kovalevich,
B. V. Kurzo, V. V. Lapa, A. A. Makhnach, A. V. Neverov,
M. P. Onoshko, A. V. Pugachevskii, V. P. Semenchenko,
V. V. Titok, V. S. Khomich, O. S. Shimova

Address of editorial office:
1, Akademicheskaya str., room 119, 220072, Minsk,
Republic of Belarus.
Phone: 375 17 284 19 19
E-mail: prirod_res@mail.ru

Subscription indices:
012762 departmental
01276 individual

Computer imposition A. V. Novik
Signed for publication November 23, 2018
Format 60×84 1/8. Offset paper. Seal digital.
Related press sheet 15.81. Publisher's signatures 14.4.
Circulation 58 copies. Order 270.
Price: individual subscription – 20,51 BYN,
departmental subscription – 20,79 BYN.

Publisher and printing:
Republican Unitary Enterprise
“Publishing house “Belarusian Navuka”.
Certificates by SRPMDPE N1/18 on 08.02.2013,
N2/196 on 05.04.2017, LP N02330/455 on 30.12.2013.
Str. Skorina, 40, 220141, Minsk

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

- Мороз В. А.** Оценка эффективности землепользования на основе анализа вегетационных индексов (на примере модельных полигонов Брестского Полесья) 5

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

- Шариков А. П., Гигевич Б. А., Гертман Л. Н.** Снижение поступления взвешенных веществ в водоемы с использованием регулирующих гидротехнических сооружений (на примере водосбора Вилейского водохранилища) 14
- Адиканко И. И., Дубенок С. А.** Оптимизация технологий водоподготовки на объектах теплоэнергетики с целью снижения воздействия на водные ресурсы Республики Беларусь 22

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Дробенков С. М.** Современное состояние и возможности практического использования биологических ресурсов герпетофауны Беларуси 44
- Плак Д. Р.** Ихтиофауна из отложений речичьего горизонта (франский ярус, верхний девон) Гомельской структурной перемычки (по результатам изучения разреза скважины Уваровичи 94) (на англ. яз.) 54
- Макаренко А. И.** Прогноз вселения и колонизации водотоков Беларуси чужеродными видами амфипод 69

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Божкова В. В., Болотько Л. М., Бурак Р. Н., Козерук Б. Б., Людчик А. М., Мельник Е. А.** Суточный ход концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Беларуси 79
- Мельник В. И., Данилович И. С., Кулешова И. Ю., Комаровская Е. В., Мельчакова Н. В.** Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период с 1989 по 2015 г. 88
- Божкова В. В., Людчик А. М., Умрейко С. Д.** Трансформация озонового слоя в средних широтах Северного полушария 102

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Шевцова Н. С., Пахомов А. В.** Применение ГИС-технологий для идентификации лимитирующих факторов туристско-рекреационного использования рек Беларуси 112
- Чепрасова В. И., Залыгина О. С.** Снижение воздействия гальванического производства на окружающую среду путем переработки отработанных электролитов цинкования 128

CONTENTS

SOIL AND LAND RESOURCES

Maroz V. A. Valuation of the effectiveness of land use based on the analysis of vegetation indices (on the example of Brest Polesye's model polygons) 5

WATER RESOURCES

Sharykau A. P., Gigevich B. A., Gertman L. N. Decrease of the suspended solids inputs into the water bodies using the construction of regulating hydrotechnical structures with the Vileyskoye water reservoir as an example 14

Adzikanka I. I., Dubenok S. A. Optimization of water treatment technologies on the objects of heat power engineering to reduce the influence on water resources of the Republic of Belarus 22

BIOLOGICAL RESOURCES

Drobenkov S. M. Present state and possible use of biological resources of the herpetofauna of Belarus 44

Plax D. P. Ichthyofauna from deposits of the Rechitsa regional Stage (frasnian, upper devonian) of the Gomel structural dam (from results of the Uvarovich 94 borehole log study) 54

Makaranka A. I. Forecast of immigration and colonization of Belarus watercourses by amphipod alien species 69

CLIMATIC RESOURCES

Bozhkova V. V., Bolotsko L. M., Burak R. N., Kozeruk B. B., Liudchik A. M., Melnik H. A. The diurnal variation of the concentration of anthropogenic air pollution in the cities of Belarus 79

Melnik V. I., Danilovich I. S., Kuliashova I. Y., Komarouskaya A. V., Melchakova N. V. Assessment of the agroclimatic resources of the territory of Belarus for the period 1989–2015 88

Bozhkova V. V., Liudchik A. M., Umreika S. D. Transformation of the ozone layer in the mid latitudes of the Northern hemisphere 102

NATUREMANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES

Shevtsova N. S., Pakhomov A. V. Identification of the geography of factors restricting the tourism-recreational use of rivers of Belarus 112

Cheprasova V. I., Zalyhina V. S. Reduction of the impact of galvanic production on the environment by processing spent zinc electrolytes 128

ЗМЕСТ

ГЛЕБАВА-ЗЯМЕЛЬНЫЯ РЭСУРСЫ

Мароз В. А. Ацэнка эфектыўнасці землекарыстання на аснове аналізу вегетацыйных індэксаў (на прыкладзе мадэльных палігонаў Брэсцкага Палесся) 5

ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

Шарыкаў А. П., Гігевіч Б. А., Гертман Л. М. Зніжэнне паступлення ўзважаных рэчываў у вадаёмы з выкарыстаннем рэгулюючых гідратэхнічных збудаванняў (на прыкладзе Вілейскага вадасховішча) 14

Адзіканка І. І., Дубянок С. А. Аптымізацыя тэхналогій водападрыхтоўкі на аб'ектах цэлаэнергетыкі з мэтай зніжэння ўздзеяння на водныя рэсурсы Рэспублікі Беларусь 22

БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

Драбянкоў С. М. Сучасны стан і магчымасці практычнага выкарыстання біялагічных рэсурсаў герпетафаўны Беларусі 44

Плакас Дз. П. Іхтыяфаўна з адкладаў рэчыцкага гарызонту (франскі ярус, верхні дэвон) Гомельскай структурнай перамячкі (па дадзеным вывучэнню разрэзу свідравіны Уваравічы 94) (на англ. мове) 54

Макаранка А. І. Прагноз усялення і каланізацыі вадацэкаў Беларусі чужароднымі відамі амфіпод 69

КЛІМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

Бажкова В. У., Балацько Л. М., Бурак Р. М., Казярук Б. Б., Людчык А. М., Мельнік А. А. Сутачны ход канцэнтрацый забруджваючых рэчываў у атмасферным паветры гарадоў Беларусі 79

Мельнік В. І., Даніловіч І. С., Куляшова І. Ю., Камароўская А. У., Мельчакова Н. В. Ацэнка агракліматycznych рэсурсаў тэрыторыі Беларусі за перыяд з 1989 па 2015 г. 88

Бажкова В. У., Людчык А. М., Умрэйка С. Дз. Трансфармацыя азопавага слою ў сярэдніх шыротях Паўночнага паўшар'я 102

ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ, ЭКОЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ

Шаўцова Н. С., Пахомаў А. В. Прымяненне ГІС-тэхналогій для ідэнтыфікацыі лімітуючых фактараў турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання рэк Беларусі 112

Чэпрасава В. І., Залыгіна В. С. Зніжэнне ўздзеяння гальванічнай вытворчасці на наваколнае асяроддзе шляхам перапрацоўкі адпрацаваных электралітаў цынкавання 128

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

УДК 332.34:004.051(476.7)

В. А. Мороз

Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина, Брест, Беларусь
e-mail: v.maroz@gmail.com

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ
(НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛЬНЫХ ПОЛИГОНОВ БРЕСТСКОГО ПОЛЕСЬЯ)

Рассмотрены методика и результаты анализа эффективности землепользования в границах Брестского Полесья в крупном масштабе с применением композитных изображений максимальных показателей вегетационного индекса *NDVI* за период с 1985 по 2017 г. Установлено статистически достоверное изменение биопродуктивности агроландшафтов Брестского Полесья за исследуемый период, выявившее положительное влияние островных дендрочастков на эффективность землепользования в агроландшафтах. Анализ динамики индекса *NDVI* показал, что сельскохозяйственные угодья, в состав которых включена значительная часть островных лесов, отличаются большей биопродуктивностью, чем сельскохозяйственные угодья без островных дендрочастков в аналогичных условиях.

Ключевые слова: островные леса, агроландшафты, Брестское Полесье, растительный покров, *NDVI*

V. A. Maroz

Brest State A. S. Pushkin University, Brest, Belarus, e-mail: v.maroz@gmail.com

VALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF LAND USE BASED ON THE ANALYSIS OF VEGETATION INDICES
(ON THE EXAMPLE OF BREST POLESYE'S MODEL POLYGONS)

According to the analysis of dynamics of indicators of the vegetation index *NDVI* at the period 1985–2017 trends in the biological productivity of the agricultural landscapes of Brest Polesye were identified. Sustainable use of insular agricultural lands of Brest Polesye should be based, primarily, on their environment-forming and environment-stabilizing functions. The positive impact of insular woods on the efficiency of land use in agricultural lands has been proved, expressed in the large (10 %) activities of index *NDVI* of agricultural lands, including the insular forests in comparison with the agricultural lands without the insular forests.

Keywords: insular forests, agricultural landscapes, Brest Polesie, vegetation, *NDVI*

В. А. Мароз

Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А. С. Пушкіна, Брэст, Беларусь, e-mail: v.maroz@gmail.com

АЦЭНКА ЭФЭКТЫЎНАСЦІ ЗЕМЛЕКАРЫСТАННЯ НА АСНОВЕ АНАЛІЗУ ВЕГЕТАЦЫЙНЫХ ІНДЭКСАЎ
(НА ПРЫКЛАДЗЕ МАДЭЛЬНЫХ ПАЛІГОНАЎ БРЭСЦКАГА ПАЛЕСЬЯ)

На аснове аналізу дынамікі паказчыкаў вегетацыйнага індэкса *NDVI* за перыяд з 1985 па 2017 г. выяўлены тэндэнцыі змены біяпрадуктыўнасці аграладшафтаў Брэсцкага Палесся. Устойлівае выкарыстанне астраўных лясоў аграладшафтаў Брэсцкага Палесся павінна грунтавацца, у першую чаргу, на іх экалагічных функцыях. Выяўлены станоўчы ўплыў астраўных лясоў на эфектыўнасць землекарыстання ў аграладшафтаў, які праяўляецца большымі (прыкладна на 10 %) паказчыкамі індэкса *NDVI* сельска-гаспадарчых угоддзяў, якія ўключаюць астраўныя лясы, у параўнанні з аграладшафтамі без астраўных лясоў.

Ключавыя словы: астраўныя лясы, аграладшафты, Брэсцкае Палессе, раслінны покрыв, *NDVI*

Введение. Оценка эффективности землепользования применительно к сельскому и лесному хозяйству позволяет своевременно выявлять проблемные области использования имеющихся ресурсов и предложить пути оптимизации способов ведения биосферно-совместимого природопользования. Использование вегетационных индексов в целях оценки эффективности землепользования дает возможность получать результаты, характеризующиеся объективностью, пространственной привязкой и периодичностью [1–3].

В сети Internet доступны для свободного использования космические снимки ряда спутников (*Landsat TM*, *Landsat TM+* и *Landsat ETM+*), позволяющие после их дополнительной обработки оценить динамику состояния растительности на территории Брестского Полесья с 70-х годов XX века на основании вегетационных индексов (например, *NDVI* – *Normalized Difference Vegetation Index* / нормализованный разностный вегетационный индекс).

Несмотря на достаточно узкую применимость при расчете вегетационных индексов в целом для физико-географического округа Брестского Полесья, данные *Landsat* могут быть использованы для целей оценки динамики изменения вегетационных индексов на модельных полигонах [3]. Такие отличительные особенности этих снимков, как достаточно высокое разрешение (30 м на канал), наличие множества каналов позволяют достичь высоких результатов в задачах оценки состояния растительного покрова.

Показатель *NDVI* является относительным индексом состояния растительности, который может быть использован в климатических и биогеохимических моделях для расчета фотосинтеза, обмена углекислым газом между атмосферой и поверхностью земли, испарения, транспирации, поглощения и излучения энергии земной поверхностью.

Лесоаграрные ландшафты при их неизбежном сельско- и лесохозяйственном использовании являются наиболее потенциально устойчивыми среди природно-антропогенных ландшафтов. Так как для Брестского Полесья характерна неполяризованная структура агроландшафтов, именно растительный покров островных дендрочастков (ОДУ) является основным фактором поддержания экологической стабильности агроландшафтов и улучшения качества среды региона. Цель исследования – выявление влияния ОДУ на эффективность землепользования в агроландшафтах, основанное на анализе динамики вегетационного индекса *NDVI* на модельном полигоне (МП) и прилегающих территориях.

Материалы и методы исследования. *NDVI* – один из широко используемых вегетационных индексов. Вегетационный индекс – это показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных дистанционного зондирования и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка.

NDVI рассчитывается по следующей формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) = (RVI - 1) / (RVI + 1), \quad (1)$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра; *RED* – отражение в красной области спектра; *NDVI* впервые был описан в [4], концепция представлена в [5]. Одно из преимуществ состоит в том, что его значения изменяются от –1 до 1, в отличие от индекса *RVI*.

Согласно формуле, *NDVI* в определенной точке изображения равен разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Для анализа эффективности землепользования в границах Брестского Полесья в крупном масштабе применялись композитные изображения максимальных показателей вегетационного индекса *NDVI* (*MVC (Maximum Value Composit) NDVI*) за период с 1985 по 2017 г. Для анализа использовались все доступные космические снимки *Landsat TM*, *ETM+*, *OLI/TIRS* уровня обработки *L1TP* (с предварительной радиометрической и геометрической коррекцией путем включения наземных контрольных точек при использовании цифровой модели рельефа (*DEM*)) за вегетационный сезон с мая по сентябрь каждого года. Всего для генерации *MVC NDVI* за 30-летний период было использовано 395 снимков, от 5 до 24 за каждый вегетационный сезон при среднем показателе более 13 снимков за сезон и до 3 снимков за месяц. Снимки для композитов индекса *NDVI* были получены через [6], что позволило, во-первых, сразу использовать данные, уже прошедшие этап окончательной радиометрической коррекции (калибровки), а во-вторых,

избежать промежуточного этапа расчетов индекса *NDVI* с помощью инструментов «Арифметика канала» / «Анализ изображений» в *ArcGIS* или «Калькулятор вегетационных индексов» в *ENVI*.

Мозаика *NDVI* за каждый вегетационный сезон строилась в программном комплексе *ArcGIS* 10.2 с помощью инструмента «Мозаика» с оператором «Максимум», в результате чего каждому пикселу снимка присваивалось его максимальное значение во временном ряду с мая по сентябрь. Использование *MVC NDVI* позволило избежать главных недостатков применения *NDVI* – влияния на его расчеты погрешностей из-за погодных условий, облачности и дымки. Всего было получено 30 мозаик *MVC NDVI*. На основании данных мозаик в программном комплексе *ENVI* 5.2 с помощью «Калькулятора раstra» были рассчитаны средние показатели *MVC NDVI* за весь период (с 1985 по 2017 г.), а также за два подпериода (с 1988 по 1999 г. и с 2000 по 2017 г.).

Для определения влияния ОДУ на эффективность землепользования с помощью анализа вегетационного индекса *NDVI* был выбран МП «Днепробугский» (Кобринский район Брестской области), который сравнивался с территорией рядом расположенного биологического заказника местного значения «Дивин–Великий Лес» (на запад от МП) и сельскохозяйственными землями без ОДУ (на восток от МП, между МП и территорией ландшафтного заказника республиканского значения «Званец») (рис. 1). Выбор данной территории в качестве МП обусловлен тем, что территория заказника является практически непреобразованным природным аналогом МП, а сельскохозяйственные угодья на востоке от МП практически лишены сохранившихся ОДУ.

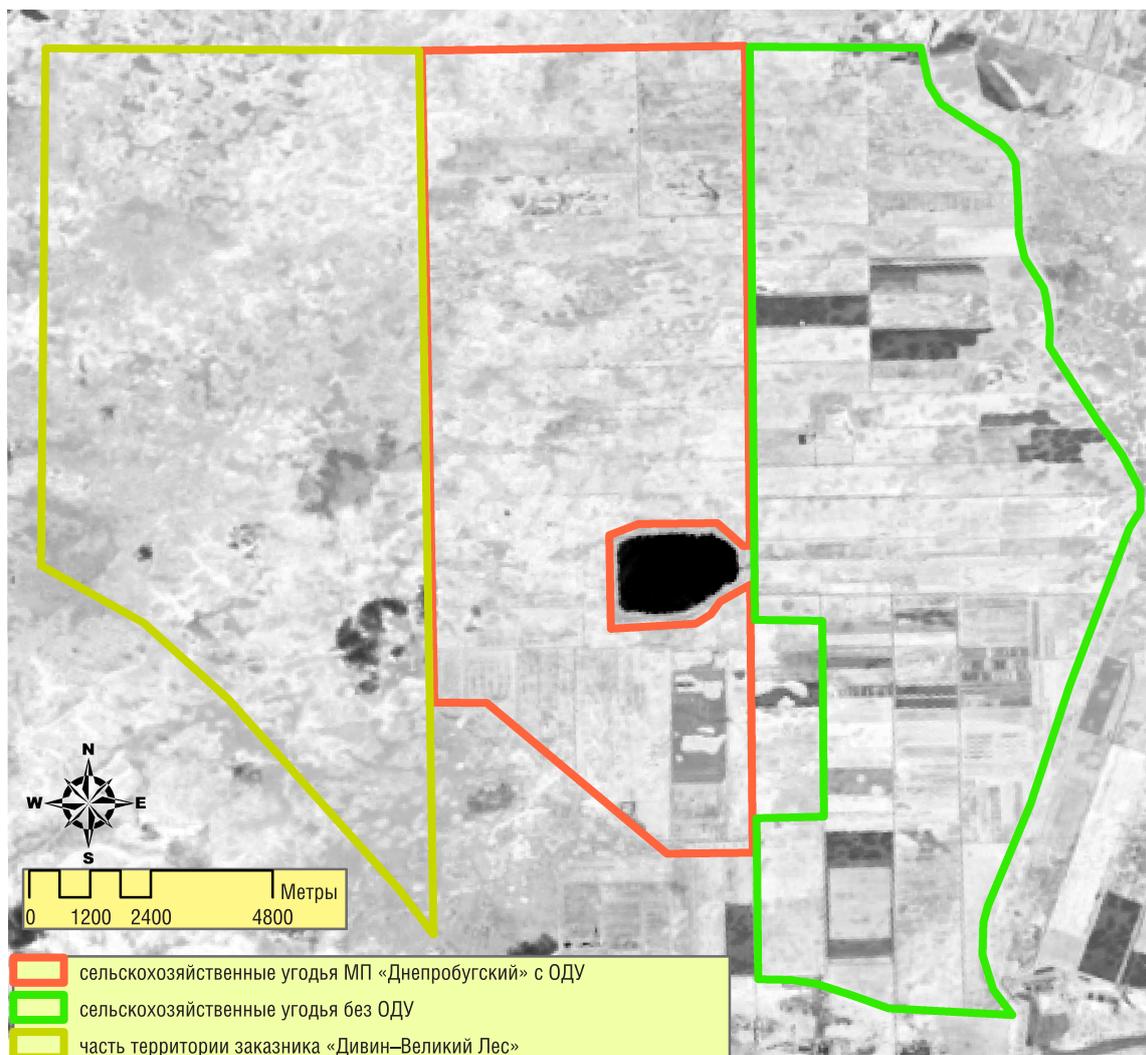


Рис. 1. Области интереса для анализа эффективности землепользования

С помощью инструмента «Зональная статистика в таблицу» в ArcGIS 10.2 были получены различные статистические показатели распределения индекса *NDVI* для трех исследуемых областей интереса: МП «Днепробугский», его природного аналога (части заказника «Дивин–Великий Лес») и его сельскохозяйственного аналога без ОДУ. Для исключения аномальных показателей распределения индекса *NDVI* из области интереса МП «Днепробугский» была исключена территория водохранилища с прилегающими дамбами, а из области сельскохозяйственных угодий без ОДУ – зона содержания пятнистых оленей в вольерах. Внутри МП «Днепробугский» анализировались динамика и средние показатели индекса *NDVI* внутри ОДУ и внутри контуров сельскохозяйственных угодий. Это позволило сравнить средние показатели индекса *NDVI* между собственно сельскохозяйственными угодьями МП «Днепробугский» (без учета ОДУ внутри МП) и угодьями его сельскохозяйственного аналога, а также выявить влияние ОДУ на общую биопродуктивность в границах сельскохозяйственных угодий.

Результаты и их обсуждение. Были получены данные зональной статистики *MVC NDVI* по областям интересов за период с 1985 по 2017 г. (табл. 1), средние показатели за период с 1985 по 2017 г., а также за подпериоды с 1988 по 1999 г. и с 2000 по 2017 г. (табл. 2). Средние показате

Т а б л и ц а 1. Показатели зональной статистики *MVC NDVI*

Год	Области интереса (ROIs)														
	территория заказника «Дивин–Великий Лес»			МП «Днепробугский»									сельскохозяйственные угодья без ОДУ		
				сельскохозяйственные угодья с ОДУ			в том числе								
	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	сельскохозяйственные угодья			ОДУ			Mean	Std	Median
Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	
1985	0,737	0,050	0,744	0,673	0,130	0,718	0,657	0,132	0,694	0,752	0,068	0,770	0,654	0,122	0,681
1986	0,737	0,050	0,742	0,670	0,104	0,693	0,661	0,109	0,684	0,699	0,081	0,718	0,730	0,074	0,744
1987	0,737	0,037	0,742	0,712	0,107	0,735	0,710	0,118	0,736	0,733	0,039	0,738	0,745	0,068	0,750
1988	0,785	0,038	0,794	0,779	0,068	0,798	0,777	0,072	0,797	0,787	0,053	0,801	0,783	0,060	0,797
1989	0,781	0,052	0,793	0,790	0,063	0,807	0,788	0,067	0,804	0,799	0,050	0,813	0,799	0,055	0,810
1990	0,737	0,056	0,745	0,753	0,069	0,759	0,753	0,073	0,759	0,748	0,056	0,751	0,749	0,065	0,756
1991	0,796	0,034	0,804	0,774	0,066	0,791	0,773	0,069	0,789	0,791	0,042	0,802	0,751	0,080	0,767
1992	0,739	0,040	0,747	0,746	0,057	0,755	0,749	0,060	0,760	0,741	0,041	0,749	0,722	0,071	0,735
1993	0,788	0,042	0,800	0,762	0,072	0,781	0,758	0,074	0,773	0,789	0,048	0,803	0,720	0,083	0,736
1994	0,784	0,040	0,793	0,745	0,064	0,759	0,737	0,066	0,751	0,773	0,046	0,782	0,723	0,073	0,732
1998	0,814	0,036	0,823	0,784	0,051	0,791	0,774	0,051	0,780	0,808	0,041	0,817	0,775	0,047	0,780
1999	0,825	0,045	0,835	0,775	0,062	0,781	0,763	0,063	0,768	0,810	0,042	0,816	0,746	0,068	0,751
2000	0,845	0,038	0,855	0,804	0,058	0,809	0,792	0,058	0,797	0,838	0,045	0,848	0,790	0,056	0,795
2001	0,845	0,036	0,850	0,808	0,061	0,818	0,796	0,063	0,805	0,837	0,044	0,846	0,804	0,059	0,812
2002	0,845	0,032	0,850	0,804	0,061	0,816	0,791	0,060	0,801	0,842	0,043	0,853	0,777	0,059	0,786
2003	0,805	0,031	0,809	0,774	0,057	0,783	0,762	0,057	0,771	0,808	0,041	0,818	0,771	0,056	0,778
2004	0,831	0,040	0,837	0,789	0,072	0,803	0,773	0,072	0,784	0,838	0,041	0,846	0,769	0,067	0,780
2005	0,804	0,028	0,808	0,769	0,049	0,774	0,758	0,047	0,762	0,800	0,034	0,809	0,759	0,053	0,766
2006	0,851	0,036	0,856	0,805	0,061	0,810	0,791	0,058	0,796	0,844	0,045	0,853	0,781	0,071	0,791
2007	0,827	0,028	0,831	0,779	0,072	0,791	0,762	0,070	0,770	0,832	0,045	0,845	0,737	0,080	0,753
2008	0,786	0,031	0,791	0,760	0,058	0,772	0,747	0,059	0,755	0,799	0,033	0,807	0,734	0,064	0,741
2009	0,803	0,037	0,806	0,794	0,047	0,798	0,781	0,045	0,784	0,827	0,032	0,834	0,796	0,043	0,801
2010	0,849	0,028	0,852	0,839	0,041	0,842	0,829	0,039	0,831	0,867	0,03	0,872	0,835	0,041	0,843
2011	0,784	0,032	0,789	0,768	0,053	0,774	0,753	0,05	0,758	0,810	0,034	0,818	0,770	0,049	0,777
2012	0,823	0,045	0,829	0,816	0,056	0,821	0,801	0,053	0,806	0,858	0,040	0,864	0,812	0,053	0,821
2013	0,873	0,051	0,874	0,869	0,049	0,871	0,858	0,045	0,860	0,896	0,033	0,893	0,860	0,045	0,863
2014	0,868	0,061	0,872	0,875	0,053	0,877	0,866	0,053	0,868	0,902	0,047	0,896	0,868	0,049	0,873
2015	0,888	0,049	0,890	0,858	0,063	0,870	0,846	0,065	0,856	0,895	0,037	0,902	0,852	0,059	0,863
2016	0,862	0,033	0,865	0,844	0,049	0,855	0,836	0,051	0,845	0,870	0,033	0,874	0,845	0,047	0,853
2017	0,886	0,027	0,886	0,857	0,054	0,866	0,846	0,054	0,853	0,893	0,037	0,893	0,834	0,057	0,842

Т а б л и ц а 2. Среднегодовые статистические показатели *NDVI* для областей интереса

Область интереса	Min	Max	Range	Mean	Std	Variety	Majority	Minority	Median
1985–2017 гг.									
1	0,679	0,871	0,192	0,811	0,025	0,145	0,826	0,679	0,814
2	0,575	0,868	0,294	0,785	0,037	0,206	0,793	0,575	0,787
3	0,575	0,856	0,282	0,776	0,033	0,190	0,787	0,575	0,780
4	0,673	0,865	0,192	0,817	0,027	0,116	0,834	0,673	0,822
5	0,429	0,858	0,430	0,776	0,031	0,188	0,794	0,429	0,783
1988–1999 гг.									
1	0,606	0,861	0,255	0,783	0,032	0,178	0,810	0,606	0,789
2	0,501	0,847	0,346	0,767	0,039	0,219	0,780	0,501	0,774
3	0,537	0,845	0,308	0,763	0,037	0,203	0,772	0,537	0,770
4	0,630	0,843	0,213	0,783	0,032	0,136	0,793	0,630	0,790
5	0,353	0,837	0,484	0,752	0,039	0,231	0,767	0,353	0,759
2000–2017 гг.									
1	0,704	0,893	0,189	0,837	0,025	0,136	0,843	0,704	0,841
2	0,602	0,896	0,294	0,811	0,040	0,210	0,806	0,602	0,811
3	0,602	0,896	0,294	0,799	0,034	0,196	0,806	0,602	0,802
4	0,702	0,895	0,194	0,848	0,026	0,115	0,871	0,702	0,855
5	0,468	0,889	0,422	0,800	0,032	0,192	0,810	0,468	0,806

П р и м е ч а н и е . 1 – часть территории заказника «Дивин–Великий Лес»; 2 – сельскохозяйственные угодья МП «Днепробугский» с ОДУ в том числе: 3 – сельскохозяйственные угодья МП «Днепробугский»; 4 – ОДУ МП «Днепробугский»; 5 – сельскохозяйственные угодья без ОДУ.

тели индекса *NDVI* за период с 1985 по 2017 г., а также за два исследуемых подпериода (с 1988 по 1999 г. и с 2000 по 2017 г.) отражены на рис. 2.

Анализ показателей индекса *NDVI* и его динамики (табл. 1 и 2) позволил выявить ряд закономерностей. Наибольшие амплитуды средних значений индекса *NDVI* между областями интересов характерны для периода 1985–1987 гг., когда территория МП «Днепробугский» подвергалась гидролесомелиоративному освоению. В 1985 г. была сформирована мелиоративная сеть северной и южной частей МП «Днепробугский» и активно формировалась котловина водохранилища и мелиоративная сеть в центральной части МП. В 1986 г. завершилось формирование котловины водохранилища с инженерными сооружениями и мелиоративной и дорожной сети в центральной части. В 1987 г. гидролесомелиорации подвергся северо-восточный участок МП «Днепробугский».

Начиная с 1988 г. наблюдается закономерная корреляция между среднесезонными показателями *NDVI*, причем амплитуда данных показателей между различными областями интересов составляла от 0,02 до 0,05 (рис. 3). С 1989 до 2000 г. для среднесезонных показателей *NDVI* была характерна двухгодичная ритмичность, проявляющаяся в чередовании уменьшения среднесезонных показателей *NDVI* и их последующем увеличении через один год. Аналогичная тенденция характерна и для периода с 2002 по 2007 г. С 2007 до 2013 г. среднесезонные показатели *NDVI* изменялись по 4-летнему циклу: два года падения показателей и 2 года подъема. Данная 2- и 4-летняя цикличность объясняется климатическими изменениями.

В целом для всех пяти областей интереса характерно взаимосвязанное изменение индекса *NDVI*: для исследуемого периода с 1985 по 2017 г. характерна общая тенденция увеличения среднесезонных показателей *NDVI* во всех областях интереса, что и отражает линия тренда на графике (рис. 3).

Максимальные средние показатели *NDVI* характерны для территории заказника «Дивин–Великий Лес» и ОДУ МП «Днепробугский», что закономерно (сомкнутая древесная растительность характеризуется максимальными показателями индекса *NDVI*). На протяжении

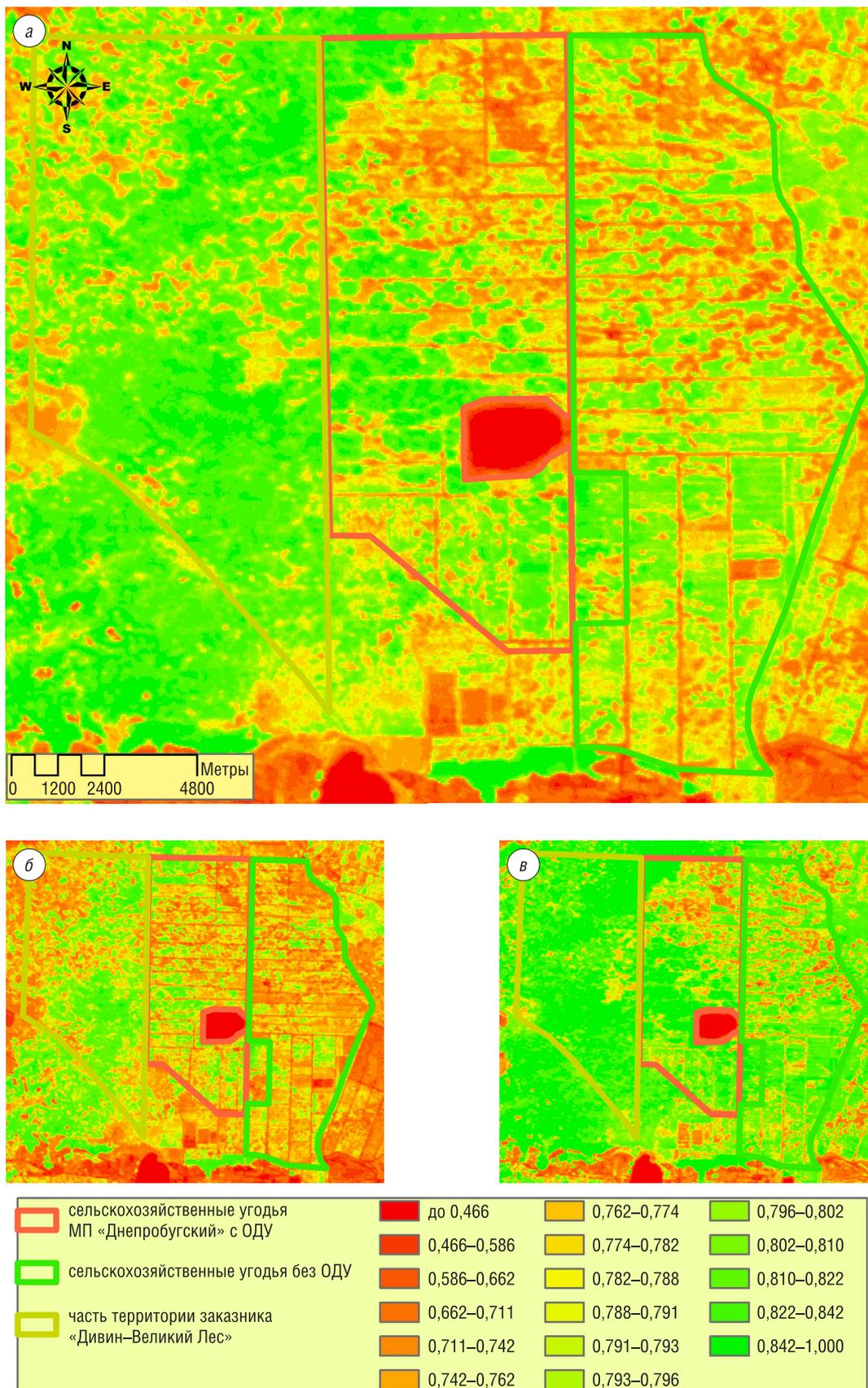


Рис. 2. Средние показатели индекса *NDVI* за периоды: а – с 1985 по 2017 г., б – с 1988 по 1999 г., в – с 2000 по 2017 г.

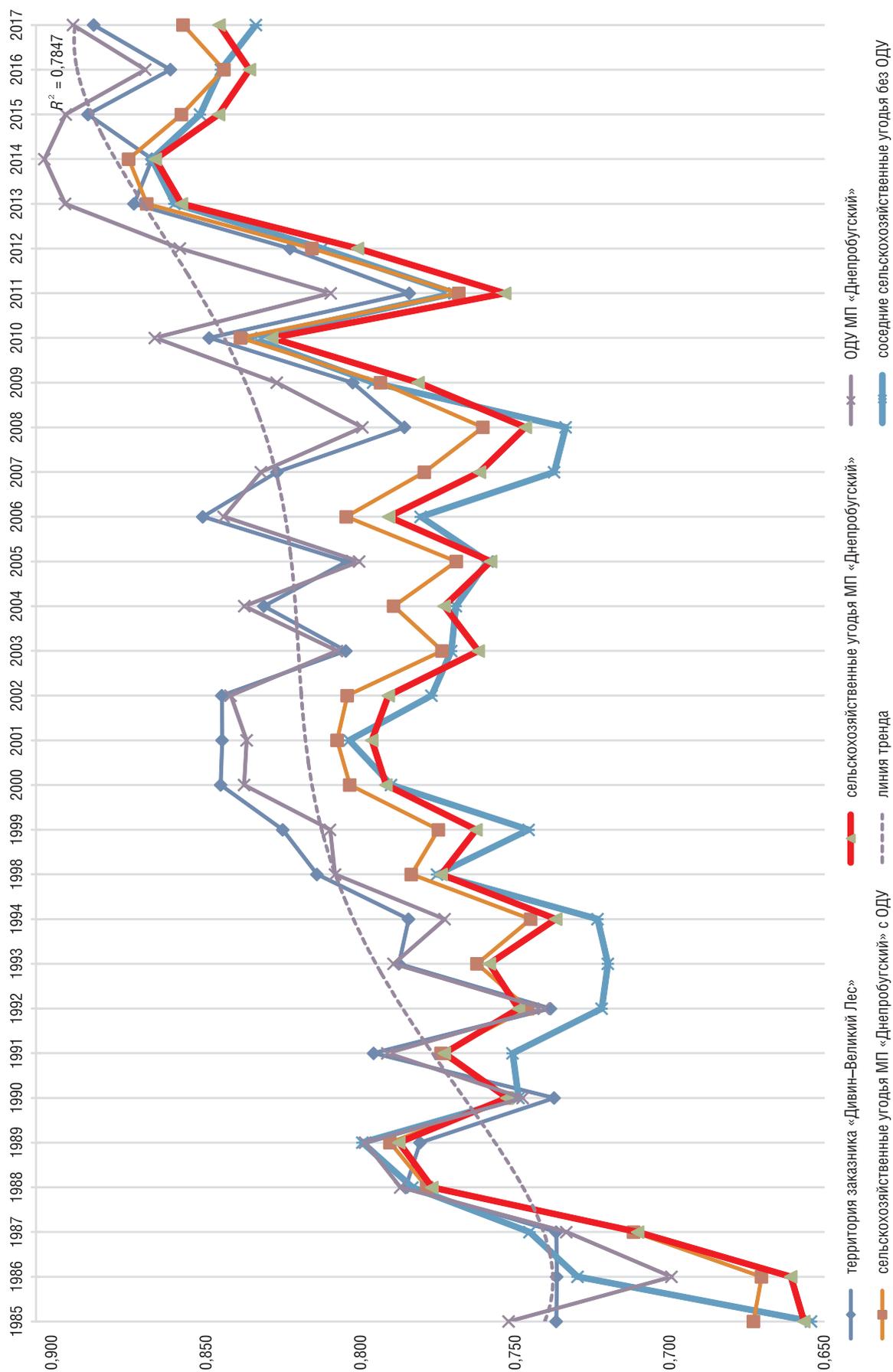


Рис. 3. Динамика среднесезонных показателей NDVI с 1985 по 2017 г.

с 1985 по 2017 г. для ОДУ МП «Днепробугский» характерны большие значения индекса *NDVI* по сравнению с территорией заказника «Дивин–Великий Лес» (0,817 и 0,811 соответственно). Если с 1988 по 1999 г. средние показатели *NDVI* ОДУ и заказника были идентичны (0,783), то с 2000 по 2017 г. среднегодовой показатель *NDVI* ОДУ МП «Днепробугский» стал значительно превосходить аналогичный показатель, характерный для территории заказника (0,848 и 0,837 соответственно). Это объясняется завершившимися процессами трансформации РП после гидролесомелиоративного воздействия и уменьшения переувлажненных территорий, индекс *NDVI* на которых изначально меньше, чем на переходных и автоморфных позициях ландшафта.

Сравнение динамики показателей индекса *NDVI* части территории заказника «Дивин–Великий Лес» и ОДУ МП «Днепробугский» определило ряд закономерностей. Минимальный показатель индекса *NDVI* для ландшафтов территории заказника в период с 1988 по 1999 г. был характерен для 1990 г. (0,737), максимальный – для 1999 г. (0,825). Для ОДУ МП «Днепробугский» в аналогичный период минимальный и максимальный показатели *NDVI* также характерны для 1988 и 1999 гг. (0,741 и 0,810 соответственно). В период с 2000 по 2017 г. минимальный показатель *NDVI* на территории заказника «Дивин–Великий Лес» характерен для 2011 г., максимальный – для 2015 г. (0,784 и 0,888 соответственно). Для ОДУ МП «Днепробугский» в аналогичный период минимальный и максимальный показатели *NDVI* характерны для 2008 и 2014 гг. (0,799 и 0,902 соответственно).

Сравнивая среднегодовые показатели *NDVI* сельскохозяйственных угодий МП «Днепробугский» и территории сельскохозяйственных угодий без ОДУ восточнее МП был выявлен ряд закономерностей (табл. 1). За весь исследуемый период с 1985 по 2017 г. среднегодовой показатель индекса *NDVI* для данных территорий идентичен (0,776). Однако в период с 1988 по 1999 г., когда территория МП «Днепробугский» была активно вовлечена в сельскохозяйственное производство, индекс *NDVI* сельскохозяйственных угодий МП «Днепробугский» отличается более высокими показателями по сравнению с сельскохозяйственными угодьями без ОДУ восточнее МП (0,763 и 0,752 соответственно). В период с 2000 по 2017 г. среднегодовой показатель *NDVI* для сельскохозяйственных угодий МП «Днепробугский» и сельскохозяйственных угодий без ОДУ восточнее МП практически идентичны (0,799 и 0,800 соответственно). Это объясняется в первую очередь тем, что часть сельскохозяйственных угодий МП «Днепробугский» подверглись деградации, повторному заболачиванию и подтоплению. Такие территории на начальной стадии трансформации отличаются пониженной биопродуктивностью, вследствие чего индекс *NDVI* для них будет ниже. При длительной (более 10–15 лет) деградации такие угодья трансформируются в лесные, и индекс *NDVI* в их границах резко повышается. Например, на рис. 2, в в центральной части МП западнее и северо-западнее водохранилища обширная ярко-зеленая зона является ОДУ с трансформированными в результате деградации бывшими сельскохозяйственными угодьями.

Для сельскохозяйственных угодий в составе МП «Днепробугский» в период с 1988 по 1999 г. минимальный показатель *NDVI* характерен для 1992 г., максимальный – для 1989 г. (0,749 и 0,788 соответственно). Для сельскохозяйственных угодий без ОДУ в аналогичный период минимальный и максимальный показатели *NDVI* также характерны для 1992 и 1989 гг. (0,722 и 0,799 соответственно). Для периода с 2000 по 2017 г. для сельскохозяйственных угодий в составе МП «Днепробугский» минимальный показатель *NDVI* характерен для 2011 г. (0,753), максимальный – для 2014 г. (0,866). Для сельскохозяйственных угодий без ОДУ восточнее МП минимальный показатель *NDVI* характерен для 2005 г. (0,759), максимальный – для 2014 г. (0,868).

Выводы

Сельскохозяйственные угодья, в состав которых включена значительная часть ОДУ, отличаются большей продуктивностью, чем сельскохозяйственные угодья без ОДУ при равных условиях (схожие севообороты, почвенный покров, гидрогеологические условия). Кроме того, сельскохозяйственные угодья, в составе которых присутствует значительная доля ОДУ (более 10 % от площади), изначально имеют менее выгодные условия в силу того, что на периферийные

зоны сельскохозяйственных полей негативно влияют факторы затенения и угнетения со стороны древесной растительности ОДУ (в том числе и краевой эффект), вследствие чего 20-метровая полоса сельскохозяйственных угодий по периметру ОДУ всегда будет характеризоваться меньшей биопродуктивностью. Положительное влияние ОДУ на микроклиматические показатели в границах мозаичных сельскохозяйственных угодий не только нивелирует последствия данного угнетения культурной растительности по периферии ОДУ, но в целом способствуют увеличению показателей биопродуктивности таких сельскохозяйственных угодий, что проявляется большими (до 10 %) показателями индекса *NDVI*. Вышеприведенная методика позволяет выявлять участки с самыми минимальными показателями вегетационного индекса, для которых целесообразна смена схемы природопользования.

Список использованных источников

1. Применение данных дистанционного зондирования с целью рационального использования земель в Российской Федерации / Г.И. Пенсаков [и др.] // Научные труды КубГТУ. – 2016. – № 10. – С. 24–38.
2. Пахучий, В. В. Использование вегетационных индексов для целей гидролесомелиоративных исследований / В. В. Пахучий, Л. М. Пахучая, Д. А. Шевелев // Лесной вестник. – 2016. – № 1. – С. 17–23.
3. Оценка эффективности землепользования в Брестской области на основе анализа вегетационных индексов : отчет о НИР (заключ.) / БрГУ им. А. С. Пушкина ; рук. В. А. Мороз. – Брест, 2012. – 65 с. – № ГР 20101867.
4. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS / J.W. Rouse [et al.] // Third ERTS Symposium. – NASA SP-351. – 1973. – Vol. 1. – P. 309–317.
5. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition / F. J. Kriegler [et al.] // Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan. – Ann Arbor, 1969. – P. 97–131.
6. ESPA – LSRD [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://espa.cr.usgs.gov/>. © espa.cr.usgs.gov – Дата доступа : 10.01.2018.

Поступила 05.03.2018

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
WATER RESOURCES
ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 556.555.6

А. П. Шариков, Б. А. Гигевич, Л. Н. Гертман

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

**СНИЖЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДОЕМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛИРУЮЩИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ВИЛЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

Показана роль гидротехнических сооружений (шлюзов-регуляторов) в снижении содержания взвешенных веществ и соединений фосфора. Регламентирование поступления взвешенных веществ по гидрографической сети с использованием гидротехнических сооружений основано на регулировании транспортирующей способности водотока, с учетом фазы гидрологического стока и гидрологической крупности транспортируемых частиц. Выявлена обратно пропорциональная зависимость между диаметром взвешенных частиц и транспортирующей способностью водотока (увеличение диаметра частиц от 0,005 до 0,05 мм повлекло за собой уменьшение транспортирующей способности потока в 10 раз, увеличение до 0,1 мм – в 20 раз, и увеличение до 0,2 мм – в 35,6 раза). Выявленные зависимости позволяют регламентировать работу гидротехнических сооружений по уменьшению выноса взвешенных частиц в гидрографическую сеть путем изменения скоростной структуры потока, выражающегося в уменьшении скорости течения. Наиболее приемлемыми гидротехническими регулирующими сооружениями, обеспечивающими снижение выноса взвешенных веществ с мелиорируемых территорий, являются шлюзы- и трубы-регуляторы, шандоры, полузапруды. На основании данных, полученных в результате проведенных исследований, разработан ТКП 17.06-07.

Ключевые слова: взвешенные вещества, гидротехнические сооружения, соединения фосфора, Вилейское водохранилище

A. P. Sharykau, B. A. Gigevich, L. N. Gertman

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

**DECREASE OF THE SUSPENDED SOLIDS INPUTS INTO THE WATER BODIES USING THE CONSTRUCTION
OF REGULATING HYDROTECHNICAL STRUCTURES WITH THE VILEYSKOYE WATER RESERVOIR AS AN
EXAMPLE**

The article is devoted to the role of hydraulic structures (gateways-regulators) in the content of suspended solids and phosphorus compounds reducing. The regulation of suspended solids inputs on the hydrographic network using hydraulic structures is based on the regulation of transport capacity of the watercourse, considering the phase of the hydrological runoff and the hydrological size of the transporting particles. An inverse dependence was found between the diameter of the suspended particles and the transport capacity of the watercourse (an increase of the particle diameter from 0.005 mm to 0.05 mm resulted in a 10-fold decrease in the transport capacity of the flow, an increase up to 0.1 mm – in 20 times, and an increase up to 0.2 mm – in 35.6 times). The revealed dependencies allow to regulate the operation of hydraulic structures to reduce the transfer of suspended particles to the hydrographic network by changing the velocity structure of the flow, expressed in decreasing flow velocity. The most suitable hydraulic regulating structures that ensure a reduction in the removal of suspended solids from reclaimed areas are gateways-regulators and pipes-regulators, stoplogs, and dike dams. Based on the obtained data, the Technical Code of Practice (TCP) 17.06-07 has been developed.

Keywords: suspended solids, regulating hydrotechnical structures, phosphorus compounds, Vileyskoye reservoir

А. П. Шарыкаў, Б. А. Гігевіч, Л. М. Гертман

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

ЗНІЖЭННЕ ПАСТУПЛЕННЯ ЎЗВАЖАНЫХ РЭЧЫВАЎ У ВАДАЕМЫ З ВЫКАРЫСТАННЕМ РЭГУЛЮЮЧЫХ ГІДРАТЭХНІЧНЫХ ЗБУДАВАННЯЎ (НА ПРЫКЛАДЗЕ ВІЛЕЙСКАГА ВАДАСХОВІШЧА)

Паказана роля гідратэхнічных збудаванняў (шлюзаў-рэгулятараў) у зніжэнні колькасці ўзважаных рэчываў і злучэнняў фосфару. Рэгламентаванне паступлення ўзважаных рэчываў па гідраграфічнай сетцы з выкарыстаннем гідратэхнічных збудаванняў заснавана на рэгуляванні транспартуючай здольнасці вадатока, з улікам фазы гідралагічнага сцеку і гідралагічнай буйнасці часціц. Вызначана зваротная прапарцыянальная залежнасць паміж дыяметрам ўзважаных часціц і транспартуючай здольнасцю вадатока (павелічэнне дыяметра часціц ад 0,005 да 0,05 мм выклікала памяншэнне транспартуючай здольнасці патока ў 10 разоў, павелічэнне да 0,1 мм – у 20 разоў, да 0,2 мм – 35,6 разы). Вызначаныя залежнасці даюць магчымасць рэгламентаваць работу гідратэхнічных збудаванняў па змяншэнні вынасу ўзважаных часціц у гідралагічную сетку шляхам змянення хуткаснай структуры патоку, што выражаецца ў зніжэнні хуткасці цячэння. Найбольш прымальнымі гідратэхнічнымі рэгулюючымі збудаваннямі, якія забяспечваюць зніжэнне вынасу ўзважаных рэчываў з меліяраваных тэрыторый, з'яўляюцца шлюзы- і трубы-рэгулятары, шандоры, паўзапруды. На падставе атрыманых дадзеных распрацаваны ТКП 17.06-07.

Ключавыя словы: узважаныя рэчывы, гідратэхнічныя збудаванні, злучэнні фосфару, Вілейскае вадасховішча

Введение. Проблема охраны поверхностных вод от истощения и загрязнения является весьма актуальной. Известно, что основной причиной антропогенной трансформации водоемов замедленного водообмена является избыточное поступление биогенных и органических веществ. Основными ингредиентами, влияющими на процессы антропогенного эвтрофирования, являются соединения фосфора, которые поступают в водоемы в основном с материалом эрозии почв в составе взвешенных частиц. Благодаря большой сорбирующей способности почв, в продуктах почвенной эрозии может находиться значительное количество соединений фосфора.

В механическом составе почв Беларуси преобладают частицы размером свыше 0,01 мм (до 64 %), а на долю глинистых частиц приходится не более 30 % [1]. Максимум подвижного фосфора, как и валового его содержания, во всех горизонтах отмечается в илистой фракции, т.е. содержание P_2O_5 увеличивается с возрастанием дисперсности механических элементов.

Содержание фосфора в крупных фракциях (0,1–0,05 мм и 0,06–0,01 мм) в почвах под лесом и окультуренных почти одинаковое. Начиная с фракции 0,01–0,005 мм, в профиле пахотной почвы наблюдается некоторое увеличение количества P_2O_5 , что особенно хорошо видно во фракции 0,006–0,001 мм и иле. Это свидетельствует о том, что вносимые с удобрениями фосфаты чаще всего связываются со взвешенными веществами этих фракций, т.е. наиболее мелкими частицами, и преимущественно в двух верхних горизонтах – пахотном и подпахотном.

По данным [2, 3], с территории типично полевого водосбора соединения фосфора поступают в основном в составе руслового стока. Основное количество биогенных и взвешенных веществ поступает с поверхностным стоком в периоды весеннего половодья и осенних паводков, причем 50–60 % соединений фосфора поступает в период снеготаяния, продолжительность которого 30–40 дней, а в периоды осенних паводков, которые могут растягиваться на 3–3,5 месяца – 30–40 %. В короткие периоды весеннего половодья происходит интенсивный вынос продуктов эрозионной деятельности почв и растительных остатков в виде взвешенных веществ [4].

В период весеннего половодья в валовом отношении транспортируемых частиц доминируют частицы размером 0,2 и крупнее, а на долю частиц, которые являются основными агентами транспортировки соединений фосфора (менее 0,05 мм), приходится не более 10 %.

Одним из методов осаждения взвешенных веществ перед впадением в водоемы является создание прудов-копаней. Согласно [5], интенсивность заиления прудов составляет в среднем от 1,5 до 7,5 %, а средняя величина слоя заиления – 3–12 см в год. Поэтому в течение менее чем 10 лет слой осадков в прудах может составлять более 1 м, что практически делает их неэффективными в целях создания прудов-отстойников для перехвата взвешенных веществ. Вместе с тем, балансовые работы, выполненные на водосборах ручьев в Браславском районе [8], показали, что в период весеннего половодья при разливах, созданных искусственными препятствиями, отмечается снижение содержания соединений фосфора.

Объекты и методы исследований. Поскольку механизм формирования стока взвешенных и биогенных веществ в составе ручьев и малых рек, дренирующих водосборы с преимущественно минеральными почвами, изучен достаточно полно, предметом настоящих исследований выбраны мелиоративные системы с наличием гидротехнических сооружений. В качестве района исследований определен водосборный бассейн Вилейского водохранилища.

Вилейское водохранилище построено в 1974 г. на р. Вилии как русловое, сезонного регулирования. По проекту предназначалось для водоснабжения г. Минска и улучшения санитарного состояния р. Свислочь (в составе Вилейско-Минской водной системы) [7]. Площадь зеркала – 77 км², площадь мелководий – 18 км², длина – 30 км, ширина: максимальная – 4,0 км, средняя – 2,6 км; средняя глубина – 3,4 м. Объем: полный – 260,0 млн м³, полезный – 235 млн м³. Разность отметок НПУ и УМО – 6,0 м. Площадь водосбора в створе гидроузла – 4120 км².

Водосбор Вилейского водохранилища расположен в Нарочано-Вилейской низине, в пределах Белорусско-Валдайской природной физико-географической провинции [1]. Обширная Нарочано-Вилейская низина располагается между Минской, Ошмянской и Свенцянкой возвышенностями, ее высоты составляют 170–180 м над уровнем моря. Рельеф низины образован водами валдайского ледника. Позже она была переработана водами рек Вилии, Илии и Сервечь. В период таяния ледника на месте современной низины существовал обширный Нарочано-Вилейский приледниковый озерный водоем.

Наиболее существенными факторами, определяющими условия формирования выноса взвешенных веществ с территории водосбора, являются структура почвенных разностей, их гранулометрический состав, расчлененность гидрографической сети, развитость эрозионных процессов. Согласно почвенно-географическому районированию, исследуемый район относится к северной провинции северо-западного округа Вилейско-Докшицкого района дерново-подзолистых супесчаных почв. По механическому составу супесчаным почвам отводится 80 %, торфяным – 17 %, песчаным – 3 % площади исследуемой территории. В южной части водохранилища, примыкающей к н.п. Вязынь, преобладают дерново-подзолистые почвы на моренных и водно-ледниковых супесях, подстилаемых моренными суглинками, либо песками с глубины 0,5–0,7 м.

В юго-восточной части исследуемой территории, примыкающей непосредственно к водохранилищу, почвенный покров представлен преимущественно дерново-подзолистыми почвами, подстилаемыми с глубины 0,3–0,5 м песками. Южнее достаточно широко распространены дерново-подзолистые почвы на моренных и водно-ледниковых супесях, сложенных песками, либо суглинками с глубинами 0,5–0,7 м. В пойме рек Илия, Вилия и Косутка распространены дерново-подзолистые глееватые и глеевые почвы на песках, супесях и суглинках. В северо-восточной части широко представлены аллювиальные (пойменные) дерново-глееватые и глеевые почвы на супесчаном и песчаном аллювии.

В западной части водосбора в окрестностях г. Вилейки распространены дерново-подзолистые почвы на моренных и водно-ледниковых супесях, подстилаемых с глубины 0,3 м моренными суглинками, а чаще всего песками. Здесь же местами распространены дерново-подзолистые почвы более легкого механического состава, развитых на песках. Западнее, на отдельных относительно небольших по площади участках встречаются дерново-подзолистые глееватые и глеевые почвы на суглинках, супесях и песках. Подобный почвенный покров преобладает и в северной части водосбора у н.п. Куренец. Севернее, по направлению к п.г.т. Кривичи преобладают почвы более легкого механического состава: дерново-подзолистые, подстилаемые с глубины 0,2–0,3 м песками, которые в окрестностях п.г.т. Кривичи – н.п. Долгиново сменяются дерново-подзолистыми почвами на моренных и водно-ледниковых супесях, подстилаемые с глубины 0,5–0,7 м моренными суглинками, либо песками.

Исходный почвенный покров в значительной части трансформирован. Это в первую очередь касается западной части водосбора, где расположены г. Вилейка, н.п. Сосенка, Чижевичи, Куренец, Вязынь. В пределах населенных пунктов в местах частной застройки преобладают антропогенно преобразованные, слабдеформированные или окультуренные почвы.

Наличие мелиоративных систем существенным образом увеличивает вынос взвешенных веществ в гидрографическую сеть. На площади водосбора Вилейского водохранилища расположен ряд мелиоративных систем, оказывающих непосредственное влияние на его водные ресурсы.

С целью определения влияния гидротехнических сооружений на сток взвешенных веществ по гидрографической сети были определены три экспериментальных участка в пределах мелиоративных систем в районе н.п. Осташково, Рабунь и Кобузи. В системах мелиоративной сети в районах н.п. Осташково и Кобузи устроены шлюзы-регуляторы, возле н.п. Рабунь оборудована труба-регулятор с шахтным оголовком.

В пределах бассейна Вилейского водохранилища проведены полевые работы по исследованию гидрологического и гидрохимического режимов водотоков. Во время проведения натурных исследований производились измерения расходов и уровней воды, отбирались пробы на проведение гидрохимических анализов. Сеть пунктов наблюдений представлена на рис. 1. Обобщенные результаты гидрологических характеристик исследуемых водотоков представлены в табл. 1.

Оценку динамики взвешенных и биогенных веществ производили для периода летне-осенней межени – в июле и сентябре и периода весеннего половодья в 2009–2015 гг. выше и ниже расположения гидротехнических сооружений.

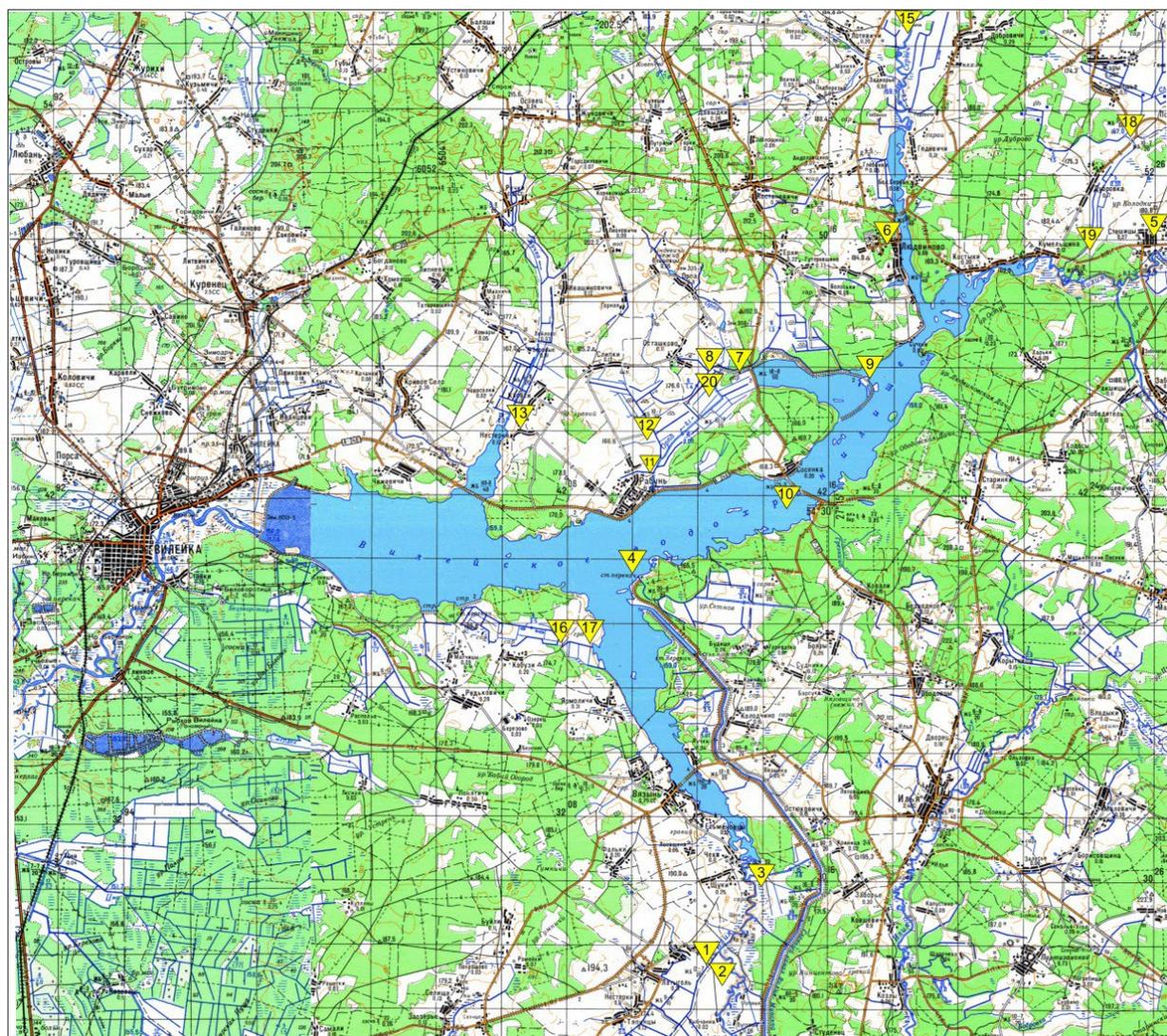


Рис. 1. Схема размещения пунктов наблюдений:  – пункты наблюдений

Т а б л и ц а 1. Гидрологические характеристики исследуемых водотоков бассейна Вилейского водохранилища в период летней межени

Номер пункта наблюдений	Название водотока	Местоположение	Расход воды Q, м³/с	Ширина водотока В, м	Глубина средняя Н _{ср.} , м	Средняя скорость течения U _{ср.} , м/с
5	Вилия	В/п Стешицы	5,7	16,5	0,79	0,43
6	Сервечь	Н.п. Людвиново	4,32	20,8	1,38	0,18
17	Мелиоративный канал	А/д н.п. Сосенка – н.п. Мядель	0,028	1,25	0,138	0,161
2	Илия	Н.п. Кухты	4,07	20,2	0,62	0,324
3	Илия	Н.п. Щуки	4,11	26,9	1,85	0,082
1	Мелиоративный канал	А/д н.п. Кухты – н.п. Рыбчанка	0,054	6,0	0,098	0,09

Результаты исследований. В соответствии с выполненными гидрохимическими анализами содержание взвешенных веществ в исследуемых водотоках в период летне-осенней межени колебалось в пределах 4,0–12,8 мг/дм³, фосфатов – в пределах 0,024–0,277 мг/дм³. В летние периоды, в пункте наблюдений за качеством воды на магистральном канале, впадающем в р. Орпа и расположенном до шлюза-регулятора (№8), среднее содержание взвешенных веществ составило 0,8 мг/дм³, а фосфатов – 0,277 мг/дм³. После прохождения шлюза-регулятора (№7) эти значения составили соответственно 0,6 мг/дм³ и менее чем 0,005 мг/дм³. Аналогичное уменьшение содержания взвешенных веществ и фосфора отмечено в осенние периоды. В пункте №8, расположенном до шлюза-регулятора, содержание взвешенных веществ составило 4,6 мг/дм³, а фосфатов – 0,013 мг/дм³. После прохождения шлюза-регулятора (№7) эти значения составили соответственно 0,1 мг/дм³ и менее чем 0,005 мг/дм³ (рис. 2, 3).

В месте наблюдений за качеством воды на магистральном канале, впадающем в р. Орпа и расположенном до шлюза-регулятора (№12), содержание взвешенных веществ составило 5,6 мг/дм³, а фосфатов – 0,498 мг/дм³. После прохождения шлюза-регулятора (№11) эти значения составили соответственно 0,8 и 0,081 мг/дм³ (рис. 4).

В осенние периоды в пункте №16, расположенном до шлюза-регулятора, среднее содержание взвешенных веществ составило 0,6 мг/дм³, а фосфатов – 0,050 мг/дм³. После прохождения шлюза-регулятора (№17) эти значения составили соответственно 0,5 и 0,075 мг/дм³ (рис. 5).

Исследования по изучению динамики выноса взвешенных и биогенных веществ по гидрографической сети в пределах бассейна Вилейского водохранилища в период весеннего половодья проводились в характерные гидрологические фазы стока: в период резкого увеличения расходов воды (период интенсивного снеготаяния) и спад пика половодья. Исследования проводились на семи мелиоративных каналах, шести реках и трех точках поверхностных вод Вилейского водохранилища.

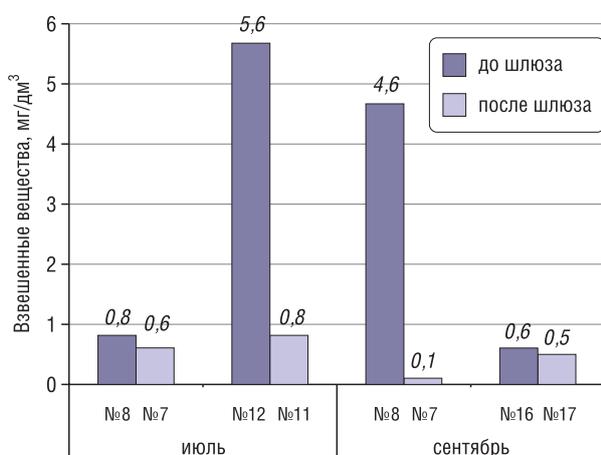


Рис. 2. Среднее содержание взвешенных веществ в водотоках бассейна Вилейского водохранилища в летне-осенние периоды

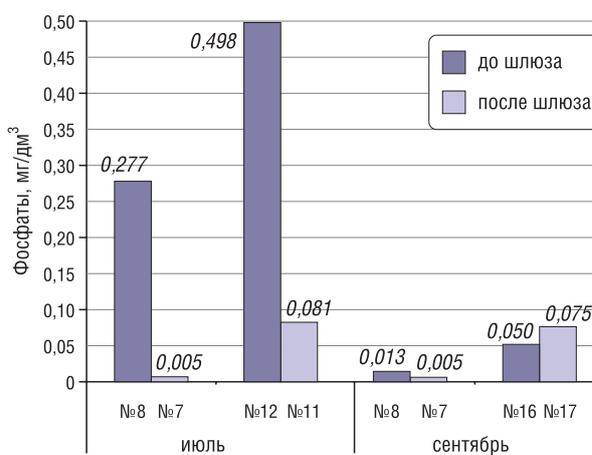


Рис. 3. Среднее содержание фосфатов в водотоках бассейна Вилейского водохранилища в летне-осенние периоды

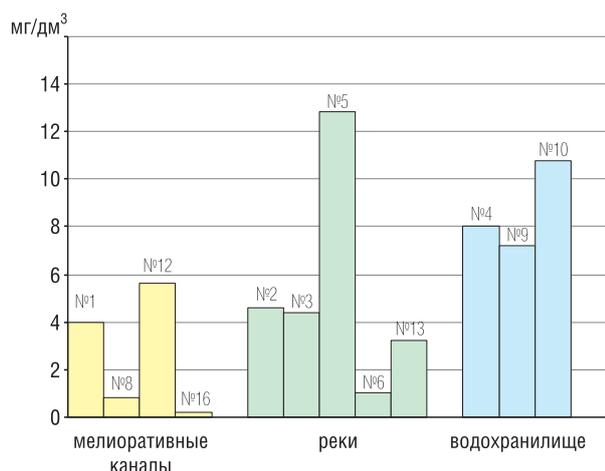


Рис. 4. Среднее содержание взвешенных веществ в поверхностных водах в летние периоды

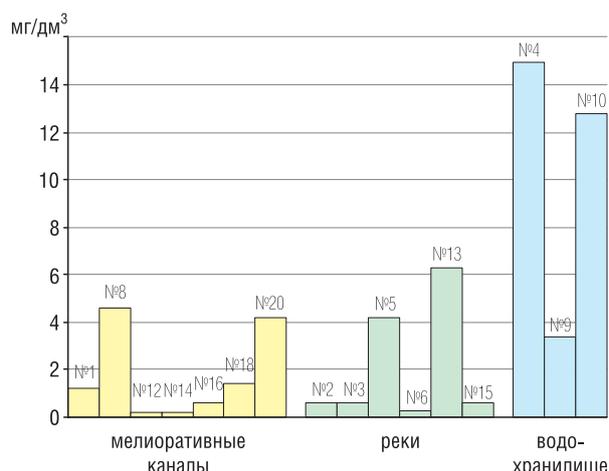


Рис. 5. Среднее содержание взвешенных веществ в поверхностных водах в осенний период

Содержание взвешенных веществ в пределах гидрографической сети бассейна Вилейского водохранилища в паводковый период отличалось сложной динамикой и определялось как характерными особенностями различных типов гидрологических объектов – каналы, реки, водохранилище, так и различиями в структуре их водосборных бассейнов, отличиями почвенного покрова, что и определяло характер поверхностного стока и концентрации взвешенных и биогенных веществ.

В период начала интенсивного снеготаяния и подъема пика половодья на протяжении изучаемого периода в системе мелиоративной сети выше шлюза-регулятора создавался подпор воды 1 м. Скорости течения воды уменьшались до минимальных значений. На подъеме пика половодья наибольшие значения концентраций взвешенных веществ отмечались в мелиоративных каналах, где максимальные значения составляли от 12,8 мг/дм³ (мелиоративный канал выше шлюза н.п. Осташково, №8) до 13,5 мг/дм³ (мелиоративный канал н.п. Заболотье, №14). В это время содержание взвешенных веществ в реках и в Вилейском водохранилище не превышало 4,0 мг/дм³ (рис. 6).

В период спада пика половодья течение воды в мелиоративной системе значительно уменьшалось. Подпор воды был значительно меньшим, а на сбросе, ниже шлюза-регулятора течение воды было также незначительным. Аналогичная ситуация складывалась в мелиоративной системе н.п. Рябунь. В период спада половодья максимальные концентрации взвешенных веществ в мелиоративных каналах не превышали значений 6,0 мг/дм³ (рис. 7). Полученные результаты хорошо согласуются с данными работы [6]. Содержание взвешенных веществ

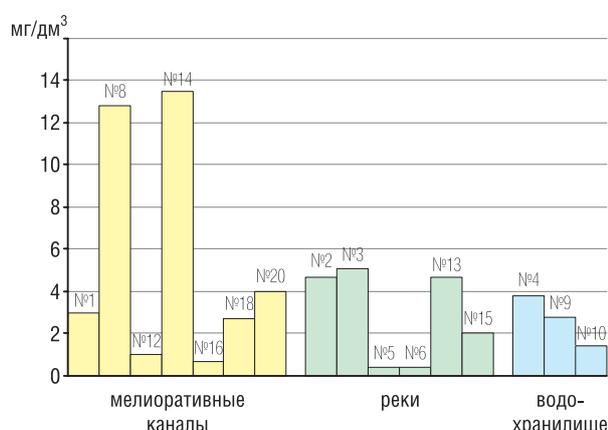


Рис. 6. Среднее содержание взвешенных веществ в поверхностных водах на подъеме пика половодья

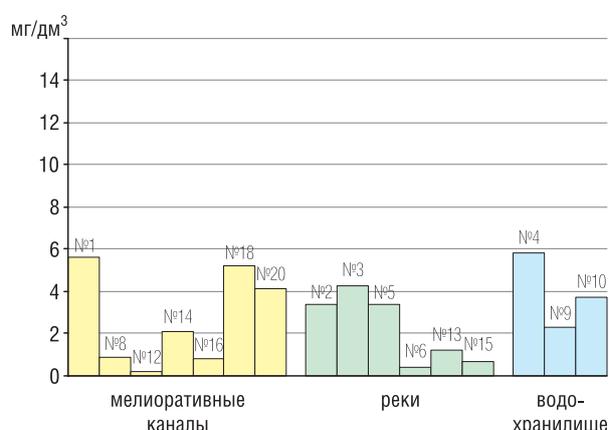


Рис. 7. Среднее содержание взвешенных веществ в поверхностных водах на спаде пика половодья

в речных водах и в Вилейском водохранилище на протяжении всего периода весеннего паводка было значительно меньше и не превышало значений $6,0 \text{ мг/дм}^3$.

Вместе с этим следует отметить, что для летне-осеннего периода соотношение содержания взвешенных веществ в водах мелиоративных каналов, реках и в Вилейском водохранилище несколько меняется. В этот период минимальные концентрации взвешенных веществ характерны для мелиоративных каналов (до $6,0 \text{ мг/дм}^3$), а в реках и Вилейском водохранилище содержание взвешенных веществ может достигать $14,5 \text{ мг/дм}^3$.

Повышенное содержание взвешенных веществ в Вилейском водохранилище в летне-осенний период определяется увеличением содержания автохтонного органического вещества, вызванного развитием фито- и зоопланктона. Аналогичное увеличение происходит и в речных водах. В мелиоративных каналах «цветение» лимитируется уменьшением величины рН в сторону кислотности и повышенной цветностью.

По многолетним данным среднегодовое содержание взвешенных веществ в Вилейском водохранилище составляет $4,7 \text{ мг/дм}^3$ [8]. Как отмечалось выше, часть количества этих взвешенных веществ является автохтонной, а часть – аллохтонной.

Произведено определение количества взвешенных веществ, поступивших в Вилейское водохранилище с территории водосбора. За величину автохтонной составляющей взвешенного вещества, т.е. произведенного за счет биомассы фито- и зоопланктона, взят осредненный суммарный показатель биомассы фито- и зоопланктона эвтрофных макрофитных водоемов по своим показателям наиболее близких для Вилейского водохранилища, который составляет $2,7 \text{ мг/дм}^3$ [8].

Таким образом, среднегодовая величина взвешенных веществ, образовавшихся в Вилейском водохранилище за счет поступления с территории водосбора, определена в $2,0 \text{ мг/дм}^3$. Это значение является фоновым для анализа формирования стока взвешенных веществ с территории водосбора в Вилейское водохранилище и определения эффективности гидротехнических сооружений в целях снижения поступления взвешенных веществ в водоем.

При анализе поступления фосфатов в составе поверхностного стока определенных закономерностей выявлено не было вследствие нахождения этой формы фосфора преимущественно в растворенной форме.

Несмотря на то что рассматриваемые гидротехнические сооружения по типам отличаются друг от друга, выявлены одинаковые закономерности прохождения весеннего половодья. Снижение концентрации взвешенных веществ также характерно и для периода весеннего половодья.

Выводы

Динамика формирования стока взвешенных веществ в годовом цикле водотоков сложная. Для водотоков с полевыми водосборами характерно резкое повышение концентраций взвешенных веществ в периоды весеннего снеготаяния. Во время весеннего половодья наблюдается почти полное совпадение фаз подъема, пика и спада водности и мутности. Увеличение концентраций взвешенных веществ в водотоках в этот период связано с интенсивными эрозионными процессами в пределах водосборных бассейнов. В летний период, дождевые паводки могут также вызвать случаи повышения концентраций взвешенных веществ, но в меньших масштабах. Для водотоков дренирующих мелиорированные земли на годовой ход стока накладывает отпечаток способность торфяных почв аккумулировать большие объемы воды и залповой разгрузки, а также регулирование гидрологического режима посредством шлюзов в зависимости от потребности сельскохозяйственного производства.

Среднегодовая величина взвешенных веществ, образовавшихся в Вилейском водохранилище за счет поступления с территории водосбора, определена в $2,0 \text{ мг/дм}^3$. Это значение является фоновым для анализа формирования стока взвешенных веществ с территории водосбора в Вилейское водохранилище и определения эффективности гидротехнических сооружений в целях снижения поступления взвешенных веществ в водоем.

Регламентирование поступления взвешенных веществ по гидрографической сети с использованием гидротехнических сооружений основано на регулировании транспортирующей способности водотока, с учетом фазы гидрологического стока и гидрологической крупности транспортирующихся частиц.

Выявлена обратная пропорциональная зависимость между диаметром взвешенных частиц и транспортирующей способностью водотока, т.е. насколько увеличивается диаметр частиц, ровно на столько же уменьшается транспортирующая способность водотока (увеличение диаметра частиц от 0,005 до 0,05 мм повлекло за собой уменьшение транспортирующей способности потока в 10 раз, увеличение до 0,1 мм – в 20 раз, увеличение до 0,2 мм – в 35,6 раза). Выявленные зависимости позволяют регламентировать работу гидротехнических сооружений по уменьшению выноса взвешенных частиц в гидрографическую сеть путем изменения скоростной структуры потока, выражающегося в уменьшении скорости течения.

Наиболее приемлемыми гидротехническими регулирующими сооружениями, обеспечивающими снижение выноса взвешенных веществ с мелиорируемых территорий, являются шлюзы и трубы-регуляторы, шандоры, полузапруды.

На основании данных, полученных в результате проведенных исследований, разработан ТКП 17.06-07 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок снижения поступления взвешенных веществ в водоемы методом устройства регулирующих гидротехнических сооружений в системе гидрографической сети».

Список использованных источников

1. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. Н. Кулаковской. – Минск: Ураджай, 1974. – 328 с.
2. Алисиевич, М. К. Распределение органических и минеральных фосфатов в дерново-подзолистых почвах БССР / М. К. Алисиевич, М. К. Рахуба // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. – 1979. – №2. – С. 71–73.
3. Аношко, В. С. Оценка влияния мелиорации на качество природных вод Белоруссии / В. С. Аношко, В. С. Брезгунов // Влияние хозяйственной деятельности на природу Белоруссии. – Минск: БГУ, 1981. – С. 48–55.
4. Романов, В. П. Характеристика поступления соединений азота и фосфора в оз. Нарочь с ручьевым стоком / В. П. Романов // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. – 1984. – №3. – С. 64–68.
5. Широков, В. М. Пруды Белоруссии / В. М. Широков, И. И. Кирвель. – Минск: Ураджай, 1987. – 120 с.
6. Романов, В. П. Формирование стока биогенных веществ в малые озера из рассеянных источников (на примере Белорусского Поозерья): дис. ... канд. геогр. наук: – 11.00.01 : защищена 11.12.85 : утв. 7.05.86 / Романов Виктор Петрович. – Минск, 1985. – 152 с. – Библиогр. : с. 137–152.
7. Водохранилища Беларуси. Справ. – Минск, 2005. – 182 с.
8. Разработать статистическую модель определения степени антропогенной трансформации озерных водоемов: отчет о НИР (заключительный): 967-68 / Белгосуниверситет; рук. В. П. Романов; исполн.: В. П. Романов [и др.]. – Минск, 1999. – 60 с. – Библиогр.: с. 58-60. – № гос. регистр. 19974225.

Поступила 21.03.2018

И. И. Адиканко, С. А. Дубенок

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь, e-mail: Adikanko.Ivan@gmail.com, dsnega@list.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В настоящее время основным источником водоснабжения на производственные нужды объектов теплоэнергетики Республики Беларусь являются поверхностные воды. Из-за высоких требований к показателю качества воды для нужд производства неотъемлемой частью основных производственных процессов на объектах теплоэнергетики становится водоподготовка. Водоподготовка, как совокупность процессов, на объектах теплоэнергетики может включать следующие этапы: предварительная очистка, умягчение, обессоливание, обеззараживание. Схемы водоподготовки, применяемые на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь, разработаны в 60–70-х годах прошлого века, при этом, как показывает анализ исследований объектов теплоэнергетики, Российская Федерация активно производит модернизацию разработанных в СССР технологий и схем водоподготовки с переходом на более современные мембранные технологии. Для использования в условиях Республики Беларусь передовых научно-технических разработок в области водоподготовки объектов теплоэнергетики актуальным становится вопрос об анализе существующих методов, технологий и схем водоподготовки, а также разработка рекомендаций по их оптимизации с учетом экономических и экологических показателей с целью снижения воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду и получения экономической выгоды от использования сточных вод водоподготовки в технологических процессах. В результате подготовлен эколого-экономический расчет-обоснование внедрения наилучших доступных технических методов.

Ключевые слова: водоподготовка, теплоэнергетика, умягчение, обессоливание, сточные воды

I. I. Adzikanka, S. A. Dubenok

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus, e-mail: Adikanko.Ivan@gmail.com,
dsnega@list.ru*

OPTIMIZATION OF WATER TREATMENT TECHNOLOGIES ON THE OBJECTS OF HEAT POWER ENGINEERING TO REDUCE THE INFLUENCE ON WATER RESOURCES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

At present, surface water is the main source of water supply for the production needs of thermal power facilities of the Republic of Belarus. Due to the high requirements to the water quality index for the needs of production of an integral part of the main production processes, water treatment facilities are becoming the objects of heat power engineering. Water treatment, as a set of processes, at the sites of heat power engineering can include the following stages: preliminary preparation, softening, desalination, disinfection. Water treatment schemes used at power facilities of the Republic of Belarus in the 60-70's. The Russian Federation actively implements the modernization of technologies and water treatment systems with transition to the more modern membrane technologies. In aims of the advanced scientific and technical developments in the field of thermal power facilities water treatment utilization in the Republic of Belarus, the problem of the existing methods, technologies and water treatment schemes analysis becomes actual as well as developing recommendations for their optimization, taking into account economic and environmental indicators, in order to reduce the impact of heat power facilities on environment and obtaining economic benefits from the use of wastewater treatment in the process. As a result, an environmental-economic calculation was prepared justifying the introduction of the best available technologies.

Keywords: water treatment, heat power engineering, softening, desalination, waste water

I. I. Адзіканка, С. А. Дубянок

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь,
e-mail: Adikanko.Ivan@gmail.com, dsnega@list.ru*

АПТЫМІЗАЦЫЯ ТЭХНАЛОГІЙ ВОДАПАДРЫХОЎКІ НА АБ'ЕКТАХ ЦЕПЛАЭНЕРГЕТЫКІ З МЭТАЙ ЗНІЖЭННЯ ЎЗДЗЕЯННЯ НА ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

У цяперашні час асноўнай крыніцай водазабеспячэння на вытворчыя патрэбы аб'ектаў цеплаэнергетыкі Рэспублікі Беларусь з'яўляюцца паверхневыя воды. З-за высокіх патрабаванняў да паказчыка якасці вады для патрэб вытворчасці неад'емнай часткай асноўных вытворчых працэсаў на аб'ектах цеплаэнергетыкі становіцца водападрыхтоўка. Водападрыхтоўка, як сукупнасць працэсаў, на аб'ектах цеплаэнергетыкі можа ўключаць наступныя этапы: папярэдняя ачыстка, змякчэнне, абясольванне, абеззаражванне. Схемы водападрыхтоўкі, якія прымяняюцца на аб'ектах цеплаэнергетыкі Рэспублікі Беларусь, распрацаваны ў 60–70-я гады мінулага стагоддзя, пры гэтым, як паказвае аналіз дасле-

даванняў аб'ектаў цеплаэнергетыкі, Расійская Федэрацыя актыўна праводзіць мадэрнізацыю распрацаваных у СССР тэхналогій і схем водападрыхтоўкі з пераходам на больш сучасныя мембранныя тэхналогіі. Для выкарыстання ва ўмовах Рэспублікі Беларусь перадавых навукова-тэхнічных распрацовак у галіне водападрыхтоўкі аб'ектаў цеплаэнергетыкі актуальным становіцца пытанне аб аналізе існуючых метадаў, тэхналогій і схем водападрыхтоўкі, а таксама распрацоўка рэкамендацый па іх аптымізацыі з улікам эканамічных і экалагічных паказчыкаў з мэтай зніжэння ўздзеяння аб'ектаў цеплаэнергетыкі на навакольнае асяроддзе і атрыманне эканамічнай выгады ад выкарыстання сцёкавых вод водападрыхтоўкі ў тэхналагічных працэсах. У выніку падрыхтаваны экалага-эканамічны разлік-абгрунтаванне ўкаранення найлепшых даступных тэхнічных метадаў.

Ключавыя словы: водападрыхтоўка, цеплаэнергетыка, змякчэнне, аб'ясольванне, сцёкавыя воды

Введение. В соответствии со статьей 3 Водного кодекса Республики Беларусь основными принципами охраны и использования вод являются: рациональное использование водных ресурсов, комплексное использование водных ресурсов и предупреждение загрязнения и засорения вод. Также в соответствии со статьями 37 и 42 Водного кодекса Республики Беларусь объекты теплоэнергетики как водопользователи, осуществляющие использование поверхностных водных объектов, обязаны рационально использовать воду, принимать меры по снижению потерь воды, внедрять системы оборотного и повторно-последовательного водоснабжения в целях снижения количества сбрасываемых сточных вод и уменьшения потребления воды [1].

В настоящее время основным источником водоснабжения на производственные нужды теплоэнергетики Республики Беларусь являются поверхностные водные объекты. Из-за высоких требований к показателю качества воды неотъемлемой частью основных производственных процессов на объектах теплоэнергетики становится водоподготовка. Водоподготовка требуется для питания паровых котлов, подпитки тепловых сетей и внедряется на объекты теплоэнергетики в целях обессоливания и умягчения исходной воды, является основным фактором загрязнения сточных вод. Сточные воды, образованные на различных этапах водоподготовки, могут быть загрязнены взвешенными веществами, кислотами, щелочами и солями. Воздействие на окружающую среду, оказываемое сточными водами, образовавшимися на различных этапах водоподготовки на объектах теплоэнергетики, зависит от множества факторов: объем обрабатываемой и качество исходной воды, вид применяемых технологий, использование реагентов.

Используемые технологии водоподготовки на крупных объектах теплоэнергетики, проектная мощность которых составляет 100 и более МВт, в соответствии с законодательством Республики Беларусь должны соответствовать наилучшим доступным техническим методам [2, 3]. В настоящее время на территории Республики Беларусь отсутствуют действующие нормативные правовые акты, регламентирующие наилучшие доступные технические методы в теплоэнергетике, в результате чего возникает вопрос об анализе существующих методов, применяемых в других странах. Цель исследования – используя анализ и сравнение используемых методов водоподготовки на объектах теплоэнергетики, провести оптимизацию технологий обращения с высокоминерализованными сточными водами водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь.

Анализ методов. Наиболее часто применяемыми методами обессоливания воды на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь являются: метод ионного обмена, мембранные технологии, термическая дистилляция. При этом каждый метод имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Метод ионного обмена характеризуется возможностью получения сверхчистой воды, обработанностью и надежностью, способностью работать при резко меняющихся параметрах питательной воды, минимальными капитальными и энергетическими затратами, меньшим расходом воды на собственные нужды (по сравнению с нанофильтрацией и обратным осмосом), минимальным объемом отходов; при этом к недостаткам метода можно отнести высокий расход агрессивных реагентов; эксплуатационные расходы, растущие пропорционально солесодержанию исходной воды, необходимость обработки регенератов и сложности с их последующей утилизацией.

Преимуществами термического метода являются минимальное количество применяемых реагентов и, как следствие, минимальный объем отходов, высокое качество получаемой воды, возможность использования избыточного тепла, удаление из воды растворенных газов. Однако стоит отметить, что при использовании данного метода возникает необходимость предварительной водоподготовки, а также большие капитальные и энергетические затраты.

Мембранные технологии характеризуются высоким качеством получаемой воды по механическим, биологическим и органическим загрязнениям, минимальным количеством реагентов, относительно низкими эксплуатационными затратами, отсутствием агрессивных реагентов и необходимости их последующей обработки. Однако при использовании этого метода существует ряд недостатков, свойственных термическому методу обессоливания.

Проведенный анализ зарубежного опыта указывает, что содержание минеральных солей в сточных водах объектов теплоэнергетики нормируется не всегда и не везде, а необходимость соответствующей очистки определяется прежде всего технико-экономическими показателями [4].

В области водоподготовки полностью безотходные технологии в настоящее время отсутствуют, при этом понятие «бессточные водоподготовительные установки» подразумевает отсутствие сточных вод и образование твердых отходов (шлам, сухие соли), которые могут быть либо товарным продуктом, либо отходом, поступающим на захоронение [5].

Как показывают результаты патентного поиска и анализа современных мировых тенденций в области водоподготовки, создание бессточных водоподготовительных установок в мире ведется по двум направлениям: усовершенствование схемы водоподготовки для максимального сокращения объемов сточных вод и переработка отходов (осадков) станций водоподготовки. Переработка отходов станций водоподготовки предусматривает повторное использование сточных вод после выделения из них твердых отходов для последующей переработки, складирования, захоронения или возможного использования.

Патентный поиск в области сокращения сброса сточных вод на станциях водоподготовки осуществлялся по трем направлениям: за счет снижения объемов используемых реагентов; за счет оптимизированных технологий водоподготовки; за счет оптимизированных технологий очистки сточных вод.

Поскольку законодательство Республики Беларусь идет по пути гармонизации с законодательством стран Европейского Союза (ЕС) и Российской Федерации (РФ) – патентный поиск по данным направлениям проводился в РБ, РФ, странах ЕС. Рассматривались исключительно действующие патенты, заявленные после 01.01.1980.

Результаты патентного поиска позволили сделать вывод о том, что наиболее глубоко вопрос сокращения сброса сточных вод от процессов водоподготовки изучен в странах ЕС, где зарегистрированы десятки тысяч патентов только по технологиям водоподготовки. Количество патентов, зарегистрированных в РФ и РБ, использование которых актуально для объектов теплоэнергетики, а также количество патентов, зарегистрированных в странах ЕС, использование которых направлено исключительно на объекты теплоэнергетики, представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Результаты патентного поиска в области сокращения сброса сточных вод на станциях водоподготовки

Объект патентного поиска	Снижение объемов используемых реагентов	Оптимизация технологий водоподготовки	Оптимизация технологий очистки сточных вод
Республика Беларусь	1	4	8
Российская Федерация	17	36	27
Европейский Союз	2	16	19

Данные патентного поиска демонстрируют, что в Республике Беларусь вопрос по снижению сброса сточных вод от объектов водоподготовки изучен мало, при этом наименее изученным направлением является сокращение за счет используемых реагентов.

Для того чтобы рассмотреть возможность повторного использования сточных вод водоподготовки необходимо определить, какие сточные воды образуются на различных стадиях водоподготовки, их химический состав и объемы образования. Ниже, на основе анализа данных, полученных в результате обследования объектов теплоэнергетики, приведены основные типы и объемы образующихся сточных вод водоподготовительных установок, содержащиеся в них загрязнения, а также способы их очистки, повторного использования и утилизации.

Результаты исследований

Сточные воды реагентного хозяйства. Данные сточные воды содержат примеси реагентов, применяемых на водоподготовительных установках (CaO , FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NaCl , H_2SO_4 , NaOH , CaCO_3). Несмотря на высокую концентрацию примесей, объем этих вод составляет 0,1–0,5 % от объема обработанной воды [6]. Целесообразно направлять их в циклические системы гидрозолоудаления с последующим использованием вод на производство тепло- и электроэнергии.

Продувочные воды осветлителей образуются ежесуточно в объеме 1–3 % от объема обработанной воды и содержат до 2 % сухого шлама (CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Их необходимо направить в специальные уплотнители для увеличения концентрации сухого вещества в шламе до 5 % и более [7]. Осветленная вода с уплотнителей должна подаваться обратно в осветлители или на механические фильтры, а шлам – на фильтрпрессы.

Сточные воды после промывки механических зернистых фильтров образуются периодически; за одну промывку фильтра – 40–100 м³ при общем расходе 2–5 % от количества обрабатываемой воды [7]. Они загрязнены взвесью того же состава, что и продувочная вода осветлителей, но в меньшем количестве (500–1000 мг/л). Эти воды необходимо отстаивать (до содержания взвеси 50–100 мг/л) с последующей подачей на фильтры или в осветлители, а при невозможности отстаивания или при содержании взвеси после отстаивания более 100 мг/л – только в осветлителе.

Сточные воды после регенерации Na-, H-, H–Na-катионитных фильтров образуются в процессе удаления солей и включают два вида:

- отработанный раствор с содержанием регенерирующих реагентов NaCl , H_2SO_4 и вытесненных из катионита солей CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 и MgSO_4 . Их объем составляет 2–3 % от количества умягченной воды;
- отмывочные воды с содержанием тех же загрязнений, объемом 3–5 % от количества умягченной воды [7].

Для сокращения сброса сточных вод в советское время разработаны схемы с концентрированием отработанного регенерационного раствора Na-катионитовых фильтров методом электродиализа [8] и дистилляции [9]. Установка деминерализации обеспечивает возврат в систему водоснабжения завода обессоленной воды. Образующийся в результате обработки сточных вод шлам может использоваться в качестве материала для приготовления строительных растворов, а сконцентрированный раствор хлорида натрия – для нужд химводоочистки.

Основные затруднения при обработке сточных вод с помощью электродиализных аппаратов вызваны следующими причинами:

- высоким солесодержанием обрабатываемой воды и соответственно неизбежно высокой плотностью тока, что может явиться причиной прожогов мембран и прокладок при неравномерной работе ячеек и больших утечках тока;
- высоким содержанием в обрабатываемой воде органических примесей и соединений железа, что обуславливает отравление мембран и снижение эффективности работы аппарата;
- диффузией и электроосмотическими явлениями при высокой разности солесодержания в рассольных диллюатных камерах;
- возможностью образования на мембранах нерастворимых соединений.

В последние годы все большее внимание уделяется разработке и внедрению новых технологических процессов подготовки питательной воды с многократным использованием образующихся сточных вод. Это направление можно рассматривать как важнейшее в создании бессточной технологии водоподготовки на объектах теплоэнергетики. В настоящее время разработано большое количество вариантов таких схем [10]. Обязательным условием их реализации является первоначальное введение в цикл водоподготовки определенного количества солей натрия и их многократное использование, выведение из цикла кальция и магния в виде твердой фазы и удаление соединений натрия, поступающих с исходной водой и корректирующими реагентами.

Актуальность исследований в области сокращения использования реагентов на станциях водоподготовки состоит в постоянном ужесточении требований к качеству и количеству сброса сточных вод. Реагентное хозяйство служит для предварительной очистки исходной воды: в качестве основных реагентов используют известь, коагулянт (чаще всего сульфат двухвалентного железа), флокулянт, а также для регенерации ионообменных фильтров, где в качестве основных регенерационных растворов используется раствор серной кислоты.

В течение регенерации Na-катионитного фильтра первые порции отработанного регенерационного раствора содержат в основном соли жесткости, последние – преимущественно хлорид натрия. Использование для предварительной регенерации последних 50–60 % объема отработанного регенерационного раствора позволит снизить расход NaCl с 2,4–3,0 до 1,7 экв/экв, т.е. на 30–40 % [11]. Для двухступенчатых Na-катионитовых станций водоподготовок использование отработанного регенерационного раствора фильтров второй ступени для регенерации фильтров первой ступени сокращает сброс солей с установки на 10 % [11].

При прямоточном натрий-катионировании исходная вода, смешиваясь с отработанным раствором стадии регенерации, поступает в осветлитель, куда подаются растворы коагулянта, извести и соды. Вода из осветлителя собирается в бак осветленной воды и насосом подается на механический фильтр и далее на прямоточный натрий-катионитный фильтр. Данная схема отличается простотой и может внедряться на действующих установках, где применяются прямоточные фильтры. Она характеризуется относительно большим солесодержанием умягченной воды, обусловленным необходимостью подачи большего количества поваренной соли при прямотоке соответственно указанным кратностям, область применения данной схемы (из условия не превышения эквивалентного солесодержания обработанной воды над исходным) ограничивается щелочностью обрабатываемых вод не менее 3,4–4,4 мг~ экв/кг [12].

Противоточное ионирование позволяет достичь заданной глубины умягчения меньшими расходами соли, чем прямоточное. В странах ЕС применяются противоточные фильтры разнообразных сложных конструкций, которые позволяют снизить расход соли на 40–50 % по сравнению с прямоточными: со 180–200 до 102 г/г-экв (1,7 экв/экв) [13]. В РФ также налажено производство и с 1996 г. начата промышленная эксплуатация противоточных фильтров. Полученные результаты показали, что применение противоточных фильтров вместо параллельноточных позволяет в 3 раза сократить количество установленных фильтров, в 2,7 раза – объем загружаемых ионитов, в 2 раза – расход воды на собственные нужды и на 20–30 % расход реагентов [14]. Недостаток противоточного натрий-катионирования заключается в том, что остается неиспользованным верхний слой загрузки над средней дренажной системой. Указанных недостатков лишены двухпоточно-противоточные фильтры, являющиеся наиболее перспективными. Двухпоточно-противоточная конструкция ионитных фильтров отличается от противоточной изменением места расположения средней дренажной системы. В этой конструкции средний дренаж расположен примерно в середине слоя ионита.

Подача одного из потоков (регенерационный раствор или обрабатываемая вода) осуществляется одновременно сверху и снизу с отводом из средней дренажной системы, другой поток подводят в направлении сверху – вниз. Данная конструкция характеризуется отсутствием необходимости подачи блокирующего потока воды, увеличивающего объем отработавших регенерационных вод, полным использованием обменной емкости загрузки фильтра, увеличением примерно вдвое расхода фильтрата через фильтр при одной и той же скорости фильтрования в сравнении с предыдущими конструкциями, а также снижение опасности «заклеивания» щелей средней дренажной системы мелкими фракциями и устранением опасности оголения дренажной системы в процессе эксплуатации [12].

В практике водоподготовки принцип противотока часто реализуется на прямоточных фильтрах при соединении их в пары по различным ступенчатым-противоточным схемам, что также позволяет снизить расход соли на 30–40 % [15].

Известно много конструкций ионообменных фильтров непрерывного действия (ФНД), разработанных в Российской Федерации и странах ЕС. По данным опытно-промышленных испы-

таний, Na-катионирование воды в ФНД при использовании катионита КУ-2-8 позволяет снизить расход соли на 30–40 %, объем сточных вод – в 2–3 раза [16] по сравнению с установками периодического действия.

Однако разработанные в РФ конструкции ФНД основаны на движущемся слое ионита, обуславливающим повышенный износ последнего, сложность эксплуатации установки, и в практике промышленного водоснабжения получили весьма ограниченное применение [17].

Известен метод сокращения объема сточных вод ионитовых фильтров путем повышения концентрации регенерационного раствора. Как отмечается [18], этот метод весьма перспективен при необходимости переработки отработанного регенерационного раствора в товарные продукты. Однако в отношении к Na-катионитным фильтрам технология их регенерации не разработана.

В настоящее время с целью сокращения использования реагентов на станциях водоподготовки ионообменные установки заменяются на более современные мембранные [19]. Эта тенденция обусловлена как экономическими, так и эксплуатационными преимуществами новых технологий водоподготовки по отношению к традиционным. Концепция интегрированных мембранных технологий, в частности для энергетики, может включать в себя следующие мембранные установки или их комбинации: установки ультрафильтрации и нанофильтрации, обратного осмоса, мембранной дегазации, электродеионизации.

Внедрение мембранных технологий позволяет не только значительно сократить использование химических реагентов, потребление воды на собственные нужды и занимаемые площади под сооружениями водоподготовки, но повысить качество обессоленной воды и выйти на новый уровень управления процессом производства. Первым шагом на пути внедрения таких систем явилось использование установок обратного осмоса (УОО) на предприятиях энергетики для частичного обессоливания воды [20]. Эти установки заменили ранее существовавшие ионообменные фильтры первой ступени и позволили значительно (более чем в 20–40 раз) снизить потребление кислоты и щелочи для целей водоподготовки [21].

Мембраны обратного осмоса работают с давлением 0,5–8,0 МПа и задерживают ионы солей, в меньшей степени – неионные молекулы и очень малую долю растворенных газов. Для мембран обратного осмоса проход соли составляет 0,3–5 % для одновалентных ионов и 0,05–1 % для двухвалентных ионов. В настоящее время практически все модули для установок обратного осмоса изготавливаются в виде спиральных рулонных модулей. Пример спирального модуля приведен на рис. 1.

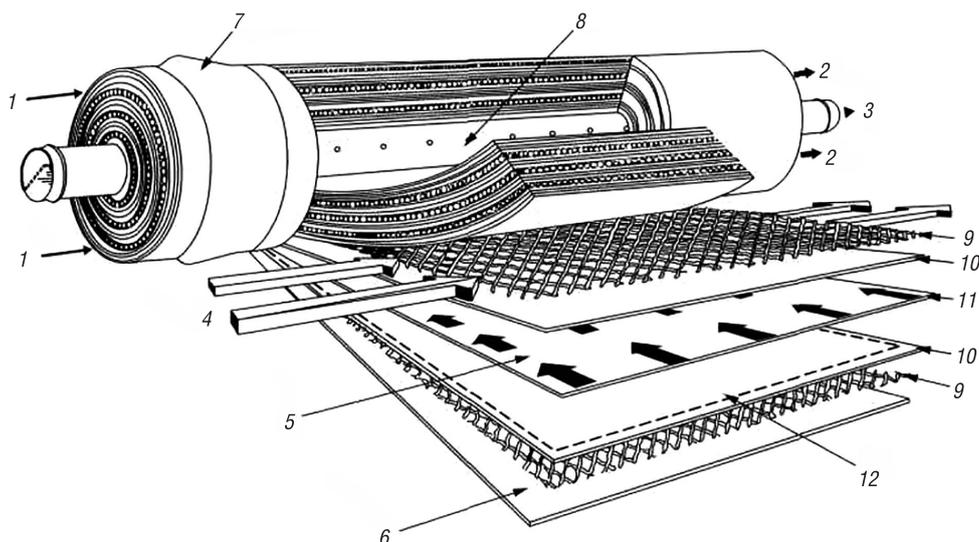


Рис. 1. Спиральный рулонный модуль [22]: 1 – поступление воды; 2 – выход концентрата; 3 – труба-коллектор пермеата; 4 – направление движения исходной воды; 5 – направление движения пермеата; 6 – защитный материал; 7 – герметичная прокладка между модулем и корпусом; 8 – отверстия коллектора пермеата; 9 – прокладка; 10 – мембрана; 11 – коллектор пермеата; 12 – линия спайки двух мембран

Диаметр элемента может варьироваться от 5 до 30 см. За счет изменения длины мембранная поверхность может составлять от 0,3 до 41 м² [22]. Несколько элементов устанавливают последовательно в едином цилиндрическом картере и присоединяют к трубке-коллектору с помощью соединителей, снабженных кольцеобразными прокладками, которые должны обеспечивать идеальную герметичность и выдерживать компрессионные нагрузки, вызванные падением напора при движении жидкости сквозь прокладки модулей.

Отрицательным аспектом использования мембран являются высокие требования к качеству и стабильности предварительной подготовки воды. Предварительная подготовка воды, применяемая сегодня на крупных объектах теплоэнергетики Республики Беларусь в виде следующего состава оборудования: осветлитель, механические фильтры, подходит не в полной мере, поскольку она больше зависит от показателей исходной воды и имеет меньшую надежность, чем ультрафильтрация.

Ультрафильтрация представляет собой процесс очистки под давлением с отделением твердых частиц от растворимых компонентов. Мембраны задерживают частицы размером 0,01 мкм и более, что способствует высокой степени очистки. В воде после ультрафильтрационных элементов полностью отсутствуют бактерии, вирусы, микроорганизмы, взвешенные вещества и коллоиды.

Как показал мировой опыт внедрения технологии ультрафильтрации в промышленности, использование ультрафильтрации перед обратным осмосом, помимо указанных ранее преимуществ, значительно снижает частоту химических моек установок обратного осмоса и значительно уменьшает себестоимость предварительной обработки воды [23]. Кроме того, ультрафильтрация, обладая высокой задерживающей способностью по микроорганизмам, позволяет весьма существенно снизить риски микробиологического загрязнения обратноосмотических мембран, а значит, эффективно бороться с проскоками эндотоксинов и бактерий в фильтрат установок обратного осмоса. Классическая схема модуля ультрафильтрации с внутренней поверхностью фильтрации представлена на рис. 2. Он содержит приблизительно 35 600 волокон с размером 0,9 мм, что составляет площадь фильтрации 125 м² [22].

Помимо использования мембран в «чистом» виде, в последние годы ведутся разработки по комбинированному использованию различных методов обессоливания с целью снижения расхода реагентов, особенно когда для технического процесса требуется глубокое обессоливание

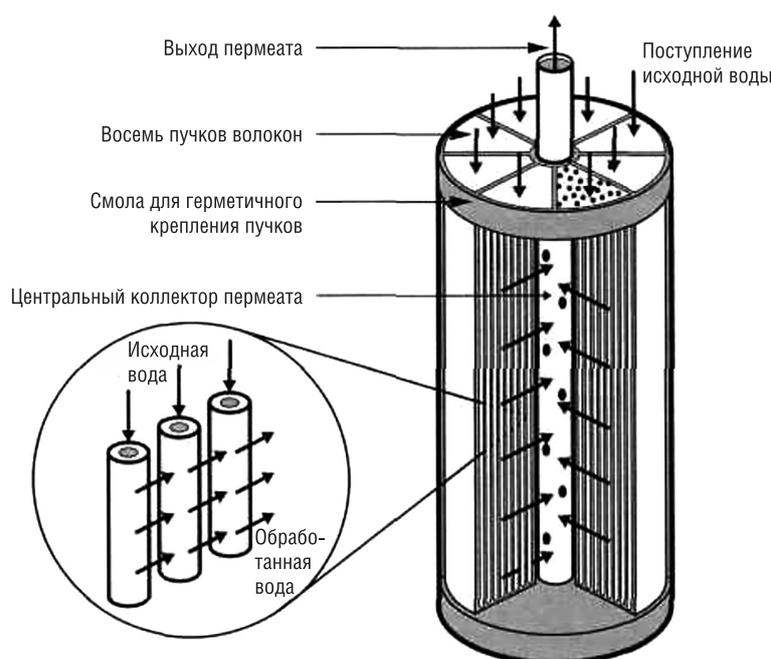


Рис. 2 Модуль с полыми волокнами [22]

воды. Так, комбинированная схема, при которой первая стадия обессоливания осуществляется безреагентным методом – обратным осмосом, а глубокая доочистка – ионным обменом, позволяет сократить по сравнению с использованием одного метода ионного обмена расход реагентов и объем высокоминерализованных сточных вод примерно в 10 раз.

Комбинированная мембранно-ионообменная установка работает следующим образом: исходная вода после емкости разрыва струи с декарбонизатором подается на механический самопромывной фильтр, где происходит удаление загрязнений крупнее 100–400 мкм. Затем в воду вводятся реагенты, она выдерживается заданное время в буферной емкости, после чего поступает на модуль ультрафильтрации, в результате чего получают 85–90 % фильтрата и 10–15 % промывной воды, содержащей механические, органические и микробиологические загрязнения. Промывная вода сбрасывается в дренаж или направляется в осветлитель и на повторное использование. Фильтрат поступает на вход насоса высокого давления модуля обратного осмоса. В последнем происходит выделение из раствора основной массы солей, которые в виде концентрата сбрасываются. Частично обессоленный пермеат после декарбонизации подается для доочистки на вход ионообменной установки. Возможна установка второй ступени обратного осмоса, которая обеспечивает получения фильтрата с удельной электропроводностью на уровне 1 мкСм/см, что тем не менее не исключает необходимости дальнейшей доочистки.

Надежность данной схемы водоподготовки достаточно высокая, поскольку даже при возможных нарушениях работы системы обратного осмоса, узел доочистки обеспечит заданное качество воды. Вместе с тем сохраняется необходимость в использовании кислоты и щелочи, так что данная технология, хоть и в меньшей степени, имеет те же недостатки, что и традиционная.

Основным недостатком мембранных систем является достаточно низкий коэффициент использования исходной воды. Если в традиционной ионообменной схеме с коагуляцией и механической фильтрацией на выходе достигается производительность 85–90 % от расхода исходной воды, то для типичного сочетания ультрафильтрации и обратного осмоса этот показатель не превышает 60 %.

Комбинированные мембранно-ионообменные схемы, имеющие высокую степень экономической эффективности и надежности, являются оптимальным и рекомендуемым методом при реконструкции существующих водоподготовительных установок, где уже имеются ионообменные фильтры, кислотно-реагентное хозяйство и системы сбора и нейтрализации сточных вод. Количество концентрированных сточных вод и расход реагентов в этом случае до десяти раз меньше, чем при только ионообменной схеме.

С точки зрения обеспечения снижения расхода реагентов при высоком качестве обессоленной воды наибольшую эффективность имеют установки, состоящие исключительно из мембранных модулей различного назначения: ультра- и нанофильтрации, обратного осмоса, мембранной дегазации и электродеионизации [24].

Для сокращения объемов сточных вод кислотных промывок мембранных модулей в конструкции установки должна быть предусмотрена более эффективная и экономичная циркуляционная регенерация через мембранные элементы, позволяющая минимизировать объем регенерирующего раствора.

Сброс высокоминерализованных сточных вод оказывает негативное воздействие не только на флору и фауну водных объектов, но и на работу промышленных предприятий, расположенных ниже по течению. Увеличение минерализации воды приводит к повышению затрат на обработку воды и увеличению количества сточных вод [25].

Из существующих схем водоподготовки с применением ионитных материалов наибольшее распространение на территории Республики Беларусь и стран СНГ получили Na-катионирование. Метод умягчения воды на ионообменных фильтрах является основным на объектах теплоэнергетики и используется в 75 % [14]. Однако с рассматриваемых позиций применение Na-катионирования при относительной дешевизне поваренной соли связано с большим сбросом растворимых солей с химводоочистки, поскольку удельный расход NaCl на регенерацию в 2,5–3,5 раза превышает количество удаляемых катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} [26].

Сточные воды Na-катионитовых фильтров содержат хорошо растворимые соли: хлориды кальция, магния, натрия в концентрации 5–20 г/л, а их объем составляет 5–15 % от производительности установки [27]. При этом концентрация катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в сточных водах превышает их концентрацию в исходной воде.

Сброс сточных вод с повышенной минерализацией в местах интенсивного водопользования ставит предприятия в неравные условия водопользования, поскольку расположенные ниже по течению предприятия от источников сброса высокоминерализованных сточных вод должны затрачивать больше усилий для предварительной водоподготовки забираемой воды. Например, влияние качества исходной воды на количество и состав сточных вод на примере ТЭС ОАО «Мосэнерго». ТЭС ОАО «Мосэнерго» для технического водоснабжения используют преимущественно воду из Москвы-реки, ряда других водных объектов и частично из городского водопровода.

Подготовка питательной воды котлов осуществляется путем химического обессоливания исходной воды после коагуляции или коагуляции с известкованием, подпиточной воды теплосети – путем одноступенчатого натрий-катионирования воды, прошедшей осветление, коагуляцию или коагуляцию с известкованием. Регенерация натрий-катионитных фильтров производится рассолом.

В этих условиях качество обработанной воды, а также количество и состав сточных вод зависят от состава исходной воды. Результаты многолетнего анализа показывают, что при прохождении Москвы-реки в черте города происходит значительное ухудшение качества ее воды. Тепловые электростанции ТЭЦ-12, ТЭЦ-21 и ТЭЦ-22 расположены соответственно на входе реки в город, в ее средней части и на выходе из города. Проведенные анализы свидетельствуют о том, что техногенное воздействие тепловых электростанций на речную воду приводит к увеличению ее минерализации и содержания хлоридов более чем в 2 раза и, как следствие, к значительному повышению расхода реагентов на умягчение воды. При этом со сточными водами обессоливающих установок сбрасывается в 7–10 раз больше хлоридов, чем их поступило с исходной водой, что способствует повышенному расходу воды для их разбавления до нормируемого содержания.

В этих условиях перевод некоторых объектов теплоэнергетики, использующих в настоящее время для приготовления химобессоленной воды воду с пониженным солесодержанием из городского водопровода, на речную вызовет рост расхода реагентов и количества сбрасываемых солей, а также дополнительное ухудшение качества воды в Москве-реке. В наиболее сложных условиях находится ТЭЦ-26 (ее водозабор расположен вблизи ТЭЦ-22), которая вынуждена использовать наиболее загрязненную воду. В связи с этим вопрос о целесообразности перевода всех ТЭС на речную воду должен рассматриваться и решаться с учетом всего комплекса проблем.

Большое количество хлоридов натрия, кальция и магния сбрасывается с установок приготовления подпиточной воды теплосети, особенно при так называемых «сухих» регенерациях фильтров, когда катионит заливается концентрированным природным рассолом. При существующих ограничениях содержания хлоридов и сульфатов в сточных водах (300 и 100 мг/л соответственно) они перед сбросом разбавляются водами малой минерализации, в первую очередь продувочной водой системы оборотного охлаждения. Однако с ростом минерализации исходной воды может увеличиваться и расход разбавляющей воды, что приведет к повышению затрат на утилизацию сточных вод.

В связи с этим создание установок, работающих по без- или малоотходной технологии, является важной задачей. Это возможно при соблюдении следующих условий:

- уменьшении количества сбрасываемых солей до значений, близких к извлекаемому из обрабатываемой воды;
- снижении концентрации сбросных вод до уровня, сопоставимого с солесодержанием природной воды;
- однородности состава сбросных солей примесям природной воды.

Проведенный анализ объектов теплоэнергетики Республики Беларусь для разработки наилучших доступных технических методов позволил их классифицировать следующим образом:

- по виду деятельности в соответствии с ОКЭД-2016: снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой, кондиционированным воздухом (секция Д ОКЭД-2016);
- по получению электроэнергии, пара и горячей воды проектной суммарной (тепловой и электрической) установленной мощностью: малые – мощностью до 30 МВт с агрегатами единичной мощностью до 10 МВт, средние – мощностью от 30 до 100 МВт, крупные – мощностью 100 МВт и более;
- по видам сжигания топлива: твердое, жидкое, газообразное, дисперсные системы.

На объектах теплоэнергетики могут применяться четыре этапа водоподготовки: предварительная подготовка, умягчение, обессоливание, обеззараживание.

В результате водоподготовки обрабатываемая вода разделяется на очищенную воду и концентрат (сточные воды). Воздействие сточных вод, образовавшихся в процессе водоподготовки, на окружающую среду возникает в результате их сброса напрямую в водные объекты или через сети городской хозяйственной канализации, в результате хранения на фильтруемых картах шламонакопителей.

Помимо концентрирования загрязняющих веществ, воздействие на качество сточных вод оказывается привнесением в процессе водоподготовки химических реагентов. За исключением фильтрации воды через механические фильтры все этапы водоподготовки производятся с использованием реагентов. В процессе известкования с коагуляцией реагенты добавляются в обрабатываемую воду с целью умягчения воды и объединения мелкодисперсных частиц.

Снизить объем используемых реагентов возможно путем использованием ступенчатой регенерации, при которой сначала производится регенерация фильтра второй ступени, а затем отработанный регенерационный раствор пропускается перед подачей свежего регенерационного раствора на первую ступень. Нейтрализацию регенерационных растворов Н-катионитовых фильтров целесообразно производить отработанным регенерационным раствором анионитовых фильтров, что позволит экономить объемы используемой щелочи.

Снизить объем используемых реагентов возможно также путем перехода к более передовым схемам и технологиям обессоливания. К передовым схемам водоподготовки будут относиться схемы с минимальными затратами воды и реагентов на собственные нужды. К передовым технологиям водоподготовки, которые рекомендованы в документах о наилучших доступных технических методах, но которые не получили должного развития в Республики Беларусь, можно отнести нанофильтрацию и обратный осмос (рис. 3–5).

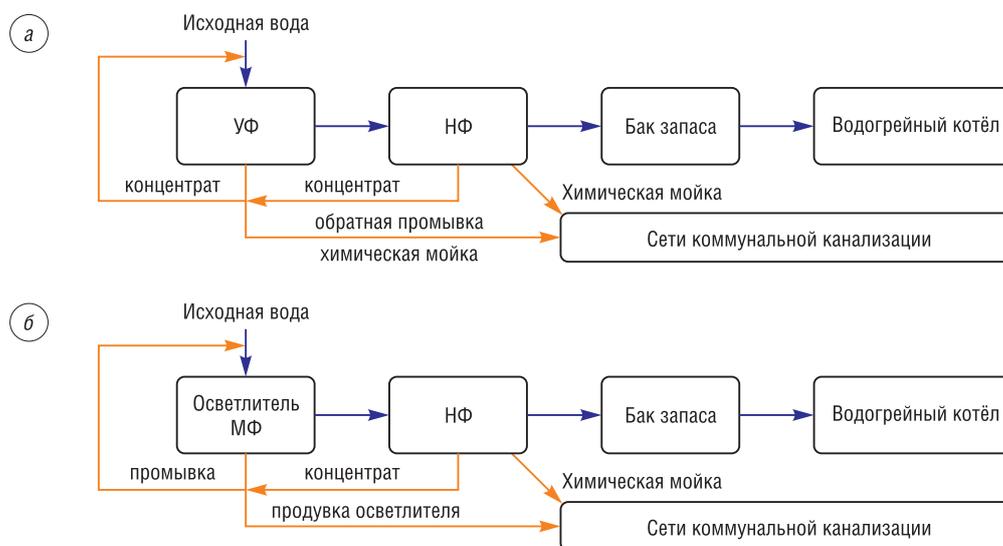


Рис. 3. Схемы установки для умягчения воды

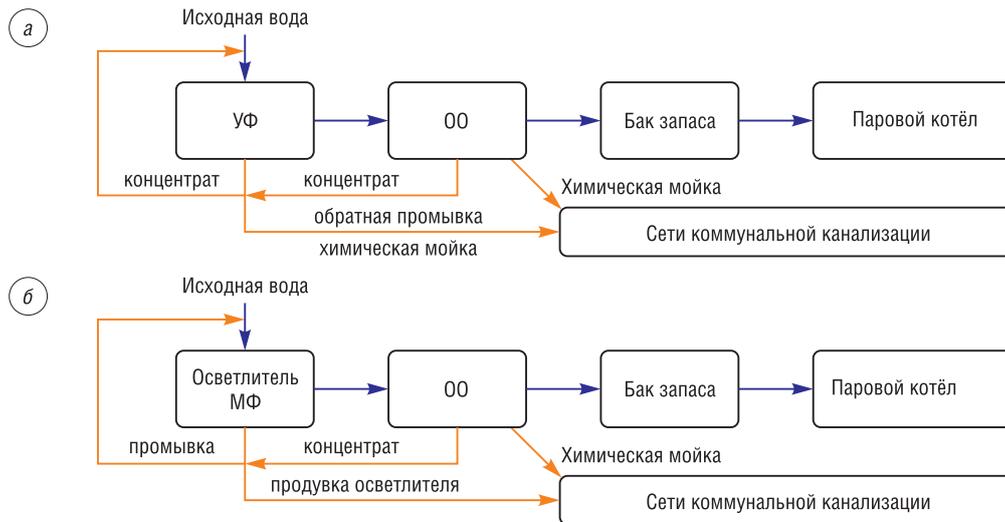


Рис. 4. Схемы установки для глубокого умягчения воды

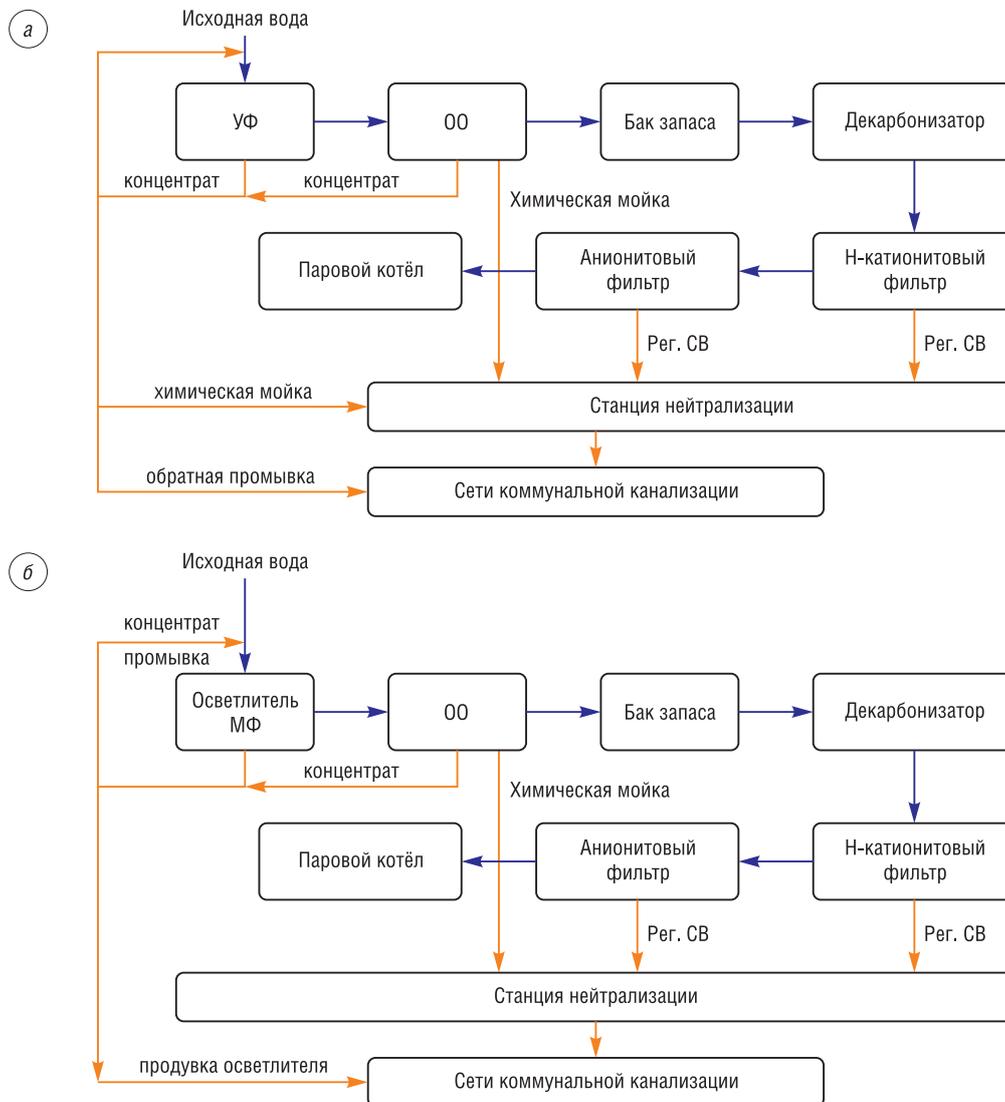


Рис. 5. Схемы установки для глубокого обессоливания вод

В рамках выполнения исследования рассмотрена возможность и экономическая целесообразность модернизации технологий водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь различной мощности: районная котельная (РК) «Шабаны» и Лукомльская ГРЭС.

В качестве альтернативы существующей технологии водоподготовки для паровой котельной предлагается четыре следующих варианта:

- предварительная очистка на установке ультрафильтрации, установка обратного осмоса для умягчения и обессоливания;
- предварительная очистка на установке ультрафильтрации, установка нанофильтрации для умягчения с последующей доочисткой на существующих фильтрах Na-катионирования;
- предварительная очистка на осветлителе и механических фильтрах, установка обратного осмоса для умягчения и обессоливания;
- предварительная очистка на осветлителе и механических фильтрах, установка нанофильтрации для умягчения с последующей доочисткой на существующих фильтрах Na-катионирования.

В качестве альтернативы существующей технологии водоподготовки для ГРЭС предлагаются два следующих варианта:

- предварительная очистка на установке ультрафильтрации, установка нанофильтрации для умягчения, установка обратного осмоса для обессоливания, глубокое обессоливание на существующих катионитовых и анионитовых фильтрах;
- предварительная очистка на осветлителе и механических фильтрах, установка нанофильтрации для умягчения, установка обратного осмоса для обессоливания, глубокое обессоливание на существующих катионитовых и анионитовых фильтрах.

В рамках выполнения исследования рассмотрена возможность и экономическая целесообразность модернизации технологий водоподготовки на РК «Шабаны» и на Лукомльской ГРЭС. Водоподготовительная установка РК «Шабаны» предназначена для приготовления воды, идущей на восполнение потерь воды и пара в цикле котельной, для обеспечения паром потребителей; приготовления химически очищенной воды на восполнение потерь воды теплосети. Источником водоснабжения котельной является Чижовское водохранилище.

В настоящее время приготовление химически очищенной воды производится по следующей схеме: известкование с коагуляцией исходной воды сернокислым железом в осветлителях – фильтрования на механических фильтрах, Na-катионирование на I и II ступенях. Для повышения степени очистки воды в осветлителях, укрупнения хлопьев, усреднения их образования по проекту в осветлитель вводится флокулянт. Для подпитки теплосети химически очищенная вода поступает после первой ступени Na-катионирования, а для подпитки котлов – после второй. Проектная производительность установок: для подпитки теплосети – 165 м³/ч; для подпитки котлов (Na-катионитовые фильтры II ступени) – 130 м³/ч.

Предварительная очистка исходной воды осуществляется в осветлителе, где происходит частичное снижение жесткости, щелочности, снижение концентраций кремнекислоты и железа, взвешенных и органических веществ в исходной воде. Снижение названных показателей происходит в результате известкования и коагуляции исходной воды с помощью реагентов: известки и коагулянта сернокислого железа.

Непрерывная продувка осветлителей предназначена для удаления шлама и устанавливается в размере 2 % от производительности осветлителя, что в годовом разрезе составляет 726 468 м³. Следовательно, суммарный расход на непрерывную продувку осветлителей в годовом разрезе составляет:

$$W_{\text{осб}} = 0,02 \times 726\,468 = 14\,529,36 \text{ м}^3.$$

Данные сточные воды с влажностью осадка до 90 % в полном объеме отводятся на станцию уплотнения шлама, где на вакуум-фильтре БОУ-10-1,8 происходит уплотнение шлама, в результате 11 % сточной воды возвращается в технологический процесс.

$$W'_{\text{осб}} = 0,89 \times 14\,529,36 = 12\,931,13 \text{ м}^3.$$

Уплотненный шлам отводится на нефильтруемую карту шламоотвала.

Для удаления из воды хлопьев, скоагулированных коллоидных частиц, не осевших в осветлителях, применяется фильтрование через механические (осветлительные) фильтры, т.е. пропуск воды сверху вниз через слой зернистого материала.

На станции химической водоочистки установлены двухкамерные механические фильтры. В процессе осветления исходная вода поступает в каждую камеру фильтра сверху вниз. Рабочий цикл механического фильтра заканчивается при увеличении перепада давления на входе и выходе воды из фильтра больше 1 атм, или после пропуска воды в объеме, равном 16 000 м³. Промывка антрацита производится водой совместно со сжатым воздухом снизу вверх каждой камеры отдельно до осветления сбрасываемой промывочной воды. Данные сточные воды в полном объеме относятся к оборотному водоснабжению котельной.

На Na-катионитовых фильтрах происходит умягчение осветленной воды. В процессе фильтрования идет удаление из обрабатываемой воды катионов кальция и магния. Отключение фильтра на регенерацию производится при достижении жесткости граничного значения умягченной воды на выходе из фильтра.

Взрыхление фильтрующего материала производится перед регенерацией для улучшения возможности обработки его регенерационным раствором и удаления загрязнений. Регенерация катионита предназначена для удаления из катионита поглощенных им из воды катионов кальция и магния путем замены их на катионы натрия из регенерационного раствора (производится 10%-ным раствором для I ступени и 12%-ным раствором для II ступени).

Отмывка фильтра предназначена для удаления из фильтра регенерационного раствора и продуктов регенерации и получения умягченной воды необходимого качества. Исходные данные для расчета водопотребления на нужды водоподготовки на Na-катионитовых фильтрах I и II ступеней представлены в табл. 2.

Расход воды на регенерацию Na-катионитовых фильтров в годовом разрезе составляет:

$$W_{Na} = 11269,12 + 644,87 = 11913,99 \text{ м}^3.$$

Сточные воды, образующиеся в процессе регенерации Na-катионитовых фильтров, отводятся в сети хозяйственно-бытовой канализации и имеют высокую концентрацию хлорид-иона. С целью достижения допустимой концентрации, установленной предприятию на сбросе сточных вод в сети хозяйственно-фекальной канализации г. Минска, сточные воды подвергаются разбавлению. Концентрация хлорид-иона (Cl⁻) в сточных водах определяется по формуле:

$$C_{Cl} = (G_c \times 35,5 \times 1000) / (58,5 \times S_{Na}), \text{ мг/л},$$

где G_c – количество соли на регенерацию, кг; 35,5 – молекулярная масса Cl⁻, г/моль; 58,5 – молекулярная масса NaCl, г/моль; S_{Na} – объем сточных вод образовавшихся в процессе регенерации.

Т а б л и ц а 2. Исходные данные для расчета водопотребления на нужды водоподготовки на Na-катионитовых фильтрах I и II ступеней

Наименование показателей и операций		Назначение фильтра	
		Na-катионирование I ступени	Na-катионирование II ступени
Взрыхление	$q_{взр}$, м ³ /ч	100	100
	$t_{взр}$, мин	80	80
Регенерация	Количество соли, кг	2200	700
	$C_{р-ра}$, г/л	107,1	130
Отмывка	$q_{от}$, м ³ /ч	100	90
	$t_{от}$, мин	15	15
Суммарный расход воды на регенерацию фильтра, $V_{сум}$, м ³		178,87	161,21
Число регенераций в год		63	4
Объем водопотребления, м ³ /год		11269,12	644,87

Концентрация Cl^- для регенерации первой ступени:

$$C_{\text{Cl}} = (2200 \times 35,5 \times 1000) / (58,5 \times 178,87) = 7463,56 \text{ мг/л.}$$

Концентрация Cl^- для регенерации второй ступени:

$$C_{\text{Cl}} = (700 \times 35,5 \times 1000) / (58,5 \times 161,22) = 2634,86 \text{ мг/л.}$$

Количество технической воды, необходимой для разбавления высокоминерализованных сточных вод, определяется по формуле:

$$W_{\text{ТВ}} = S_{\text{Na}} \times (C_{\text{Cl}} - C_{\text{дк}}) / (C_{\text{дк}} - C_{\text{ТВ}}), \text{ м}^3,$$

где $C_{\text{дк}}$ – допустимая концентрация Cl^- , 450 мг/л; $C_{\text{дк}}$ – концентрация Cl^- в технической воде, 80 мг/л.

Количество технической воды, необходимой для разбавления высокоминерализованных сточных вод первой ступени, следующее:

$$W_{\text{ТВ I}} = 11269,12 \times (7463,56 - 450) / (450 - 80) = 213612,4 \text{ м}^3.$$

Количество технической воды, необходимой для разбавления высокоминерализованных сточных вод второй ступени:

$$W_{\text{ТВ II}} = 644,87 \times (2634,86 - 450) / (450 - 80) = 3807,98 \text{ м}^3.$$

Суммарный расход воды на разбавление высокоминерализованных сточных вод составляет:

$$W_{\text{разб}} = 213612,4 + 3807,98 = 217420,38 \text{ м}^3.$$

Суммарный расход воды на собственные нужды водоподготовки РК «Шабаны» равен:

$$W_{\text{ХВО}} = 12931,13 + 11913,99 + 217420,38 = 242265,5 \text{ м}^3.$$

Сточные воды, образующиеся на станции химической водоподготовки, отводятся в сети хозяйственно-бытовой канализации в полном объеме – 242265,5 м³.

При регенерации Na-катионитовых за анализируемый период израсходовано 141400 кг таблетированной соли. Стоимость 1 кг таблетированной соли для регенерации Na-катионитовых фильтров производства ОАО «Мозырьсоль» составляет 40 копеек. Суммарный расход денежных средств на закупку таблетированной соли при регенерации Na-катионитовых фильтров составляет:

$$D_{\text{рег}}^{\text{Na}} = 141400 \times 0,40 = 56560 \text{ руб./год.}$$

В осветлитель добавляется 0,5 мг коагулянта и 0,5 г флокулянта на 1 л обрабатываемой воды, 1 кг реагента (коагулянта и флокулянта) стоит 6 рублей 15 копеек. Суммарный расход денежных средств на закупку реагентов добавляемых в осветлитель составляет:

$$D_{\text{реаг}}^{\text{ос}} = 726468 \times 1 \times 6,15 / 1000 = 44678 \text{ руб./год.}$$

При регенерациях ионообменных фильтров происходит частичный вынос ионообменных смол, нормативный расход ионита составляет 10 %. На РК «Шабаны» в качестве ионообменной смолы используется КУ-2-8 (Na), стоимость 1 л составляет 2 рубля 76 копеек. На котельной установлено 5 фильтров с объемом загрузки 13,61 м³ и 2 фильтра с объемом загрузки 10,60 м³. Расход денежных средств на восполнение ионита составляет:

$$D_{\text{ио}} = (5 \times 13,61 + 2 \times 10,60) \times 2,76 \times 1000 = 246330 \text{ руб./год.}$$

I вариант модернизации (предварительная очистка на установке ультрафильтрации, установка обратного осмоса для умягчения и обессоливания). За анализируемый период (данные 2015 г.) на РК «Шабаны» подготовлено 701622,88 м³ умягченной воды. Собственные нужды установки обратного осмоса составляют 30 % от объема подаваемой на установку воды, объем воды, подаваемый на установку, составляет 912109,74 м³.

Образованный концентрат возвращается на установку ультрафильтрации. Собственные нужды установки ультрафильтрации составляют 10 % от объема подаваемой на установку воды, объем воды, подаваемый на установку, составляет 1003320,71 м³.

Химическая мойка осуществляется ежеквартально, суммарное количество химических моек для установки ультрафильтрации и обратного осмоса – 8 (раз). Для установки производительностью 165 м³/ч на одну химическую мойку расходуется 4125 кг 0,2%-ного раствора соляной кислоты и 4125 кг 0,2%-ного раствора гидроксида натрия. Для приготовления 4125 кг 0,2%-ного раствора соляной кислоты необходимо 289 кг соляной кислоты марки А (35 %) ГОСТ 857-95 и 3,836 м³ воды. Для приготовления 4125 кг 0,2%-ного раствора гидроксида натрия необходимо 8 кг каустической гранулированной соды и 4,117 м³ воды. Учитывая, что стоимость 1 кг каустической гранулированной соды составляет 3 рубля 50 копеек, а стоимость 1 кг соляной кислоты марки А (35 %) ГОСТ 857-95 составляет 38 копеек, расход денежных средств составит:

$$D_{\text{реар}} = 8 \times (289 \times 0,38 + 8 \times 3,5) = 1102,56 \text{ руб./год.}$$

Расход денежных средств на закупку и монтаж оборудования производительностью 165 м³/ч составит:

$$D_{\text{уст}} = 165 \times 1,1 \times (7000 + 8000) = 2722500 \text{ руб.}$$

Мембранные модули заменяются каждые два года, годовой расход денежных средств на замену мембранных модулей для установок 165 м³/ч составит:

$$D_{\text{мм}} = 165 \times (1050 + 1200) / 2 = 185625 \text{ руб./год.}$$

Расход воды на собственные нужды водоподготовки равен:

$$W_{\text{хво}} = 1003320,71 - 912109,74 + (3,836 + 4,117) \times 8 = 91274,6 \text{ м}^3.$$

Сточные воды, образующиеся на станции химической водоподготовки, отводятся в сети хозяйственно-бытовой канализации в полном объеме – 91274,6 м³. Аналогично производился расчет для II–IV вариантов. Данные расчета приведены в табл. 3.

Водоподготовка Лукомльской ГРЭС предназначена для восполнения потерь воды в цикле станции и в теплосети. Предварительная подготовка включает известкование с коагуляцией (сернокислое железо) в осветлителе, осветление известково-коагулированной воды на механических фильтрах.

Т а б л и ц а 3. Данные расчета при модернизации технологии водоподготовки

Применение технологий	Действующие технологии	Вариант I	Вариант II	Вариант III	Вариант IV
Объемы водопотребления и водоотведения, м ³	242 265,5	91 274,6	93 854,1	25 247,5	27 827,0
Годовой расход на расходуемые реагенты и комплектующие, BYN	347 568	246 359,6	221 609,6	157 632,7	192 514,7
Капитальные затраты на закупку и монтаж, BYN	–	2 722 500	2 359 500	1 452 000	1 089 000
Годовой расход на водоснабжение из сетей водоканала, BYN	193 812,40	211 236,28	206 937,46	181 837,86	183 901,45
Годовой расход на водоотведение в сети водоканала, BYN	145 359,30	158 427,21	155 203,10	136 378,38	137 926,09
Годовой расход на изъятие поверхностных вод, BYN	7267,97	7921,36	7760,15	6818,92	6896,30
Годовой расход на сброс сточных вод в водный объект, BYN	19 381,24	21 123,63	20 693,75	18 183,79	18 390,14
Коэффициент потребления воды на собственные нужды водоподготовки	0,35	0,14	0,13	0,04	0,04
Коэффициент расхода средств на эксплуатацию, BYN/м ³	0,98 ¹ / 0,53 ²	0,54 ¹ / 0,37 ²	0,50 ¹ / 0,33 ²	0,28 ¹ / 0,23 ²	0,33 ¹ / 0,28 ²
Окупаемость, лет	–	8,84 ¹ / 23,23 ²	7,07 ¹ / 16,58 ²	2,94 ¹ / 6,79 ²	2,39 ¹ / 6,10 ²

П р и м е ч а н и е. 1 – при водопользовании из сетей городского водопровода – рассчитан на объем подготовленной воды; 2 – при водопользовании из водного объекта – рассчитан на объем подготовленной воды.

Схема полного химического обессоливания предусматривает три ступени очистки воды: вода проходит последовательную обработку на Н-катионитовых и анионитовых фильтрах I ступени, декарбонизаторе, Н-катионитовых и анионитовых фильтрах II ступени и фильтрах смешанного действия. Проектная производительность установки – 350 м³/ч обессоленной воды, фактическая производительность – около 110 м³/ч. В 2017 г. на ГРЭС подготовлено 950 000 м³ воды.

Сточные воды, образованные в процессе предварительной подготовки при продувке осветлителя (2 %) и промывке механических фильтров на Лукомльской ГРЭС, используются повторно. Сточные воды, образованные в процессе регенерации ионообменных фильтров (12 %), после нейтрализации отводятся на шламоотвал, откуда после отстаивания попадают в р. Лукомку (при необходимости сточные воды разбавляются технической водой из Лукомского водохранилища).

Данные о количестве ионообменных фильтров, периодичности регенерации, расходе воды на собственные нужды ионообменных фильтров, марка ионообменных смол, нормативное значение выноса ионита, объем загрузки, расход реагентов, а также стоимость расходуемых материалов представлены в табл. 4.

Расчеты для двух вариантов модернизации технологии водоподготовки ГРЭС произведены аналогично расчетам для паровой котельной и представлены в табл. 5.

Т а б л и ц а 4. Данные по ионообменным фильтрам обессоливания Лукомльской ГРЭС

Наименование фильтра	Н-катионитовый фильтр первой ступени	Анионитовый фильтр первой ступени	Н-катионитовый фильтр второй ступени	Анионитовый фильтр второй ступени	Фильтр смешанного действия
Количество, шт.	5	5	1 2	3	3
Объем загрузки, м ³	16,96	14,14	10,6 10,6	10,6	1,88 3,14
Наименование ионита	KY-2-8	A-845	KY-2-8 C-100	AB-17-8	KY-2-8 AB-17-8
Норма годового расхода ионита, %	10	15	10	10	10 15
Стоимость 1л ионита, BYN	2,76	14	2,76 5,60	4,69	2,76 4,69
Фильтроцикл	3500	14 000	120 000	40 000	210 000
Количество регенераций	271	68	8	24	4
Объем сточных вод, образовавшихся в процессе одной регенерации, м ³	88	330	120	85	110
Масса расходуемого реагента на 1 м ³ загрузки	50 кг 100 % H ₂ SO ₄	80 кг 100 % NaOH	200 кг 100 % H ₂ SO ₄	100 кг 100 % NaOH	120 кг 100 % H ₂ SO ₄ 100 кг 100 % NaOH
Стоимость 1 кг расходуемого реагента, BYN	0,25	2,75	0,25	2,75	0,25 2,75
Объем сточных ¹ вод, м ³	23 848	22 440	960	2040	Возвращаются в технологический процесс
Расход денежных средств на закупку ионита, BYN	23 404,8	148 470	14 797,6	14 914,2	8183,61
Расход денежных средств на закупку реагентов, BYN	1060	15 554	1590	8745	2759,7
Годовой расход ² на водоснабжение из сетей водоканала, BYN	19 078,40	17 952,00	768,00	1632,00	0,00
Годовой расход ² на водоотведение в сети водоканала, BYN	14 308,80	13 464,00	576,00	1224,00	0,00
Годовой расход ² на изъятие поверхностных вод, BYN	715,44	673,20	28,80	61,20	0,00
Годовой расход ² на сброс сточный вод в водный объект, BYN	1907,84	1795,20	76,80	163,20	0,00
Коэффициент потребления воды на собственные нужды	0,025	0,024	0,001	0,002	0,000
Коэффициент расхода денежных средств на эксплуатацию, BYN/м ³	0,026	0,173	0,017	0,025	0,012

П р и м е ч а н и е. 1 – без учета расхода воды на разбавление; 2 – без учета расхода воды на разбавление.

Т а б л и ц а 5. **Варианты модернизации технологии водоподготовки для крупного объекта теплоэнергетики**

Применение технологий	Действующие технологии	Вариант I	Вариант II
Объемы водопотребления и водоотведения, м ³	49 288	176 700,4	32 173,62
Годовой расход средств на расходные реагенты и комплектующие, BYN	239 478,91	185 295,87	133 020,85
Капитальные затраты на закупку и монтаж, BYN	–	2 541 000	1 694 000
Годовой расход на водоснабжение из сетей водоканала, BYN	148 400	141 360,3	25 738,9
Годовой расход на водоотведение в сети водоканала, BYN	111 300	106 020,3	19 304,2
Годовой расход на изъятие поверхностных вод, BYN	5 565	5 301,0	965,2
Годовой расход на сброс сточный вод в водный объект, BYN	14 840	14 136,0	2 573,9
Коэффициент потребления воды на собственные нужды водоподготовки	0,20	0,19	0,03
Коэффициент ¹ расхода средств на эксплуатацию, BYN/м ³	0,53	0,46	0,40
Коэффициент ² расхода средств на эксплуатацию, BYN/м ³	0,27	0,22	0,16
Окупаемость, лет	–	38,21 ¹ / 46,07 ²	5,28 ¹ / 13,74 ²

П р и м е ч а н и е. 1 – при водопользовании из сетей городского водопровода – рассчитан на объем подготовленной воды; 2 – при водопользовании из водного объекта – рассчитан на объем подготовленной воды.

По данным государственной статистической отчетности по форме 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании воды» за 2017 г. предприятием сброшено в р. Лукомка 185 500 м³ сточных вод. Следовательно, на разбавление было использовано 136 212 м³ технической воды. Данные о действующих технологиях представлены с учетом разбавления сточных вод.

При внедрении предлагаемых решений потребление воды на собственные нужды водоподготовки на РК «Шабаны» снизится в 8,75 раза, а на Лукомльской ГРЭС – в 6,67 раза.

Сравнительный анализ данных расчета модернизации технологии водоподготовки для котельных позволяет сделать следующие выводы о модернизации технологий водоподготовки на паровых котельных:

- внедрение любого из предложенных вариантов приведет к снижению потребления воды на собственные нужды водоподготовки, это связано с уменьшения объема водопотребления на разбавление высокоминерализованных сточных вод, образованных при регенерации ионообменных фильтров;

- внедрение любого из предложенных вариантов приведет к снижению расхода денежных средств на закупку расходных материалов (реагенты, ионообменные смолы, мембранные модули);

- наименьшее потребление воды на собственные нужды водоподготовки достигается при использовании существующей технологии предварительной подготовки;

- наименьшие расходы денежных средств на закупку расходных материалов достигаются при внедрении технологии обратного осмоса;

- наименьшие капитальные затраты на закупку и монтаж оборудования наблюдаются при внедрении нанофильтрационной установки;

- наибольшие капитальные затраты будут при использовании утрафильтрационной установки для предварительной подготовки и обратноосмотической установки для умягчения воды;

- наименьший срок окупаемости затраченных средств достигается при внедрении нанофильтрационной установки в технологический цикл водоподготовки, это обусловлено наилучшим соотношением капитальных затрат и коэффициента расхода средств на эксплуатацию.

Сравнительный анализ данных расчета модернизации технологии водоподготовки позволяет сделать следующие выводы о модернизации технологий водоподготовки на крупных объектах теплоэнергетики:

- внедрение любого из предложенных вариантов приведет к снижению потребления воды на собственные нужды водоподготовки, это связано с уменьшения объема водопотребления на разбавление высокоминерализованных сточных вод, образованных при регенерации ионообменных фильтров;

- внедрение любого из предложенных вариантов приведет к снижению расхода денежных средств на закупку расходных материалов;
- наименьшее потребление воды на собственные нужды водоподготовки, а также наименьшие капитальные затраты и расходы денежных средств на закупку расходных материалов достигается при использовании существующей технологии предварительной подготовки;
- наибольшие капитальные затраты будут при использовании умягчающей установки для предварительной подготовки;
- наименьший срок окупаемости затраченных средств достигается при внедрении нанофильтрационной и обратноосмотической установок в технологический цикл водоподготовки для крупных объектов теплоэнергетики, потребляющих воду из сетей городского водопровода.

Поскольку при использовании предлагаемых технологий и схем водоподготовки значение коэффициента потребления воды на собственные нужды и коэффициента расхода денежных средств на эксплуатацию ниже, чем при использовании существующих технологий, то предлагаемые технологии и схемы могут рассматриваться и при строительстве новых объектов теплоэнергетики.

Для оценки воздействия на окружающую среду сточных вод, образовавшихся на действующих установках водоподготовки, объектов теплоэнергетики Республики Беларусь проанализированы данные государственной статистической отчетности по форме 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании воды» за 2016 г.

Всего по отрасли теплоэнергетики за 2016 г. отчиталось 38 водопользователей, в том числе: 5 водопользователей в Брестской области; 7 водопользователей в Витебской области; 6 водопользователей в Гомельской области; 4 водопользователя в Гродненской области; 5 водопользователей в Минской области; 4 водопользователя в г. Минске; 7 водопользователей в Могилевской области.

Было обследовано 18 объектов теплоэнергетики Республики Беларусь, усредненный коэффициент потребления воды на собственные нужды для существующих технологий водоподготовки составляет 0,20. По расчетам, произведенным выше, установлено, что после модернизации технологий и схем водоподготовки коэффициент потребления воды на собственные нужды достигает значения 0,03.

По данным государственной статистической отчетности за 2016 г. объектами теплоэнергетики изъято, добыто и получено 122 008 380 м³ воды. Учитывая коэффициенты потребления воды на собственные нужды, представленные выше, можно сделать вывод, что на действующих установках водоподготовки рассмотренных объектов образовалось и сброшено 24 401 676 м³ сточных вод, а при внедрении предлагаемых технологий и схем водоподготовки объем водоотведения можно снизить до 3 660 251 м³ (на 85 %).

Основные привносимые в процессе водоподготовки загрязняющие вещества – сульфат-ион и хлорид-ион. На объектах теплоэнергетики сточные воды образуются при продувке и промывке котлов, а также при промывках, продувках, регенерации оборудования водоподготовки. По данным государственной статистической отчетности за 2016 г. объектами теплоэнергетики сброшено 306 536 кг сульфат-иона и 263 849 кг хлорид-иона.

Высокоминерализованные сточные воды, образовавшиеся в процессе реагентной регенерации H-катионитовых и анионитовых фильтров на объектах теплоэнергетики, обязательно подаются на станцию нейтрализации, а после процесса нейтрализации разбавляются преимущественно водой от охлаждения оборудования и отводятся в сети городской хозяйственной канализации или на соответствующую карту шламонакопителя, после отстаивания на которой сбрасываются в водные объекты. Высокоминерализованные сточные воды, образовавшиеся в процессе реагентной регенерации Na-катионитовых фильтров на объектах теплоэнергетики малой мощности, могут отводиться без нейтрализации в сети коммунальной канализации. Из вышеуказанного следует, что наибольшее влияние на водные объекты Республики Беларусь из общего процесса водоподготовки будет оказывать процесс регенерации ионообменных смол ионообменных фильтров. При применении ионообменных фильтров (Na-катионитные,

Н-катионитовые и анионитовые фильтры) для умягчения или обессоливания воды в результате регенерации их загрузок существенно увеличивается содержание сульфат-иона и хлорид-иона в составе сточных вод. В процессе регенерации Na-катионитовых фильтров в среднем образуется 100–150 м³ при этом концентрация хлорид-иона достигает 30 000 мг/л.

В процессе регенерации Н-катионитовых фильтров первой ступени образуется 120–200 м³ сточных вод, анионитовых фильтров первой ступени – 200–330 м³ сточных вод. В процессе регенерации Н-катионитовых фильтров и анионитовых фильтров второй ступени суммарно образуется 100–180 м³ сточных вод. Сточные воды, образовавшиеся в процессе регенерации Н-катионитовых и анионитовых фильтров первой и второй ступени, смешиваются между собой в баке-нейтрализаторе в результате чего итоговая средняя концентрация сточных вод достигает следующих значений: сульфат-ион – 4000 мг/л, хлорид-ион – 450 мг/л. При химической мойке мембранных модулей образуется около 5 м³ сточных вод на каждые 100 м³ производительности установки, а концентрация сульфатов составит 125–200 мг/л (значение может отличаться в зависимости от качества исходной воды). Расчет массы загрязняющих веществ был произведен для РК «Шабаны» и Лукомльской ГРЭС.

Анализируя данные проведенного расчета можно сделать следующие выводы:

- при использовании существующих технологий водоподготовки на РК «Шабаны» сбрасывается 85 806,9 кг хлорид-иона;
- при внедрении варианта 4 для модернизации РК «Шабаны» в результате химических моек и регенерации ионообменных фильтров будет сброшено 1705,5 кг хлорид-иона;
- при внедрении варианта 3 для модернизации РК «Шабаны» в результате химических моек будет сброшено 12,72 кг хлорид-иона;
- при использовании существующих технологий водоподготовки на Лукомльской ГРЭС сбрасывается 3686,75 кг сульфат-иона;
- при внедрении варианта 2 для модернизации Лукомльской ГРЭС в результате химических моек и регенерации ионообменных фильтров будет сброшено 221,27 кг сульфат-иона и 687,5 кг хлорид-иона.

Еще одним способом экономии реагентов на действующих установках водоподготовки является использование метода регенерации «цепочкой». Использование нейтрализованных высокоминерализованных сточных вод от установки обессоливания для регенерации Na-катионитовых фильтров на одной из ТЭЦ Республики Беларусь позволяет практически полностью отказаться от приготовления регенерационного раствора NaCl и сократить концентрацию хлоридов более чем в 60 раз.

Учитывая, что коэффициент потребления воды на собственные нужды достигает значения 0,03, а усредненный коэффициент потребления воды на собственные нужды для существующих технологий водоподготовки принят 0,20 (данные анализа 18 объектов теплоэнергетики) объем водопользования при внедрении наилучших доступных технических методов сократится в 6,67 раза (за счет повторного использования). Таким образом, плата за водопользование на объектах теплоэнергетики после модернизации всех объектов составит 1 679 259 рублей, а годовая экономия составит 9 521 401 рубль. Данными о добычи, изъятии, получения воды, а также платы за водопользование представлены в табл. 6.

По результатам расчетов экономической эффективности установлено, что наиболее короткий срок окупаемости соответствует использованию существующей предварительной подготовки, поэтому расходами денежных средств на закупку коагулянта и флокулянта пренебрегали. Помимо флокулянта и коагулянта на РК «Шабаны», для регенерации ионообменных смол закупается таблетированная соль. По данным расчета на закупку необходимого количества таблетированной соли израсходовано 56 560 рублей. При внедрении 3 варианта модернизации потребуются закупка реагентов для химической мойки, расчетный расход денежных средств составляет 551 рубль. При внедрении 4 варианта модернизации потребуются закупка реагентов для химической мойки, а также таблетированная соль для регенерации Na-катионитовых фильтров, расчетный расход денежных средств составляет 1671 рубль.

Т а б л и ц а 6. Данные о плате за водопользование за 2016 г.

Регион	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область
Добыто, тыс. м ³	855,12	48,58	14,53	80,00
Изъято, тыс. м ³	2263,61	61839,16	2284,75	0,00
Получено, тыс. м ³	987,08	2164,98	8113,63	4322,99
Передано без использования, тыс. м ³	410,92	18722,00	1589,28	130,50
Передано после использования, тыс. м ³	141,51	1652,40	1591,44	399,39
Сброшено в водотоки, тыс. м ³	0,00	30868,22	9,97	0,00
Сброшено в водоемы, тыс. м ³	275,34	3,84	0,00	0,00
Отведено на поля фильтрации, накопители, тыс. м ³	143,85	134,61	7,00	440,88
Сумма экологического налога, BYN	41919,10	1523491,16	1497,60	44088,00
Сумма налога на добычу/изъятие, BYN	86773,38	1296749,40	67188,90	2400,00
Сумма выплат по тарифам за получение воды из сетей водоснабжения, BYN	128389,60	336918,40	1053440,00	670798,40
Сумма выплат по тарифам за отведение сточных вод в сети канализации, BYN	16981,56	198288,00	190972,80	47926,80
Добыто, тыс. м ³	878,52	1060,39	2,40	2939,54
Изъято, тыс. м ³	3442,21	1695,83	84,43	71609,98
Получено, тыс. м ³	2437,95	22672,73	6759,50	47458,86
Передано без использования, тыс. м ³	441,89	5147,38	614,78	27056,75
Передано после использования, тыс. м ³	1025,27	5429,19	2364,78	12603,98
Сброшено в водотоки, тыс. м ³	751,69	476,60	0,00	1238,26
Сброшено в водоемы, тыс. м ³	0,00	0,00	0,00	279,18
Отведено на поля фильтрации, накопители, тыс. м ³	8,94	0,00	8,63	743,91
Сумма экологического налога, BYN	61029,04	38128,00	863,00	1711015,90
Сумма налога на добычу/изъятие, BYN	129151,47	82686,60	72,00	1665021,75
Сумма выплат по тарифам за получение воды из сетей водоснабжения, BYN	321878,72	2804056,00	996664,00	6312145,12
Сумма выплат по тарифам за отведение сточных вод в сети канализации, BYN	123032,16	651502,80	283773,60	1512477,72

На Лукомльской ГРЭС для регенерации ионообменных фильтров закупается серная кислота и каустическая гранулированная сода. По данным расчета на закупку необходимого количества реагентов для регенерации существующих ионообменных фильтров израсходовано 29709 рублей. При внедрении 2 варианта модернизации потребуется закупка реагентов для химической мойки и регенерации ионообменных фильтров, расчетный расход денежных средств составляет 3863 рубля.

Эколого-экономический расчет внедрения предлагаемых схем водоподготовки, проведенный для РК «Шабаны» и Лукомльской ГРЭС, а также анализ условий водопользования, включая процессы водоподготовки, на 18 обследованных объектах теплоэнергетики страны позволил получить следующие результаты и провести предварительную оценку оптимизации водопользования на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь:

– снижение объемов водопользования на собственные нужды водоподготовки для котельных в 8,75 раза, для крупных объектов теплоэнергетики – в 6,67 раза, что позволит сократить объем водопользования на 20,5 млн м³ в год (85 % от объемов использования воды на собственные нужды водоподготовки);

– сокращение платы за водопользование на объектах теплоэнергетики после модернизации всех объектов Республики Беларусь приведет к ежегодной экономии средств предприятий в размере более 9,5 млн рублей;

– сокращение расхода реагентов, что позволит снизить затраты на их закупку для котельных в 33,8 раза, для крупных объектов теплоэнергетики – в 7,7 раза.

Выводы

1. Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что объекты теплоэнергетики являются источниками интенсивного воздействия на водные ресурсы за счет значительных объемов водопользования. При сбросе сточных вод в окружающую среду объекты теплоэнергетики привносят значительное количество минеральных загрязнений, основная масса которых образуется в процессе водоподготовки. При этом в Республике Беларусь проблема сокращения сброса сточных вод от водоподготовки изучена слабо, а вопрос снижения объемов используемых реагентов практически не исследован.

2. По результатам исследований систематизированы международные подходы к определению наилучших доступных технических методов для топливосжигающих установок и предложены принципиальные схемы водоподготовки для объектов теплоэнергетики, позволяющие сократить сброс высокоминерализованных сточных вод.

3. Внедрение наилучших доступных технических методов водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь позволит снизить воздействие на водные ресурсы и сократить удельные затраты на водоподготовку: снизить годовые объемы водопользования на собственные нужды водоподготовки для котельных в 8,75 раза, для крупных объектов теплоэнергетики – в 6,67 раза; снизить суммарную массу сброса хлорид- и сульфат-ионов в составе сточных вод в 50 раз для котельных и 4 раза для крупных объектов теплоэнергетики; сократить расход реагентов, что позволит снизить затраты на их закупку для котельных в 33,8 раза, для крупных объектов теплоэнергетики – в 7,7 раза.

Список использованных источников

1. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 № 149-3. URL: <http://kodeksy.by/vodnyy-kodeks>. – Дата обращения: 06.08.2018.
2. Указ Президента Республики Беларусь от 17 ноября 2011 г. № 528 О комплексных природоохранных разрешениях с изм. от 9 марта 2016 г. URL: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P31100528>. – Дата обращения: 06.03.2018.
3. Комплекс по предотвращению и контролю загрязнений. Справочный документ по наилучшим доступным техническим методам для крупных топливосжигающих установок, июль 2006 г. URL: http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1132&etkstructure_id=1872. – Дата обращения: 06.03.2018.
4. Мартынова, О. И. Проблемы и некоторые пути экологического совершенствования водопользования на тепловых электростанциях / О. И. Мартынова, А. С. Седлов, Б. С. Федосеев // Теплоэнергетика. – 1995. – № 2. – С. 2–8.
5. Мамет, А. П. Технология переработки стоков водоподготовительных установок ТЭС / А. П. Мамет, Е. Б. Юрчевский. – М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1990.
6. Мамет, А. П. К вопросу о создании «бессточных» электрических станций / А. П. Мамет, Е. Б. Юрчевский // Теплоэнергетика. – 1981. – № 4. – С. 59–60.
7. Водоснабжение, водоподготовка и очистка сточных вод. Цикл лекций для студентов спец. «Промышленная теплоэнергетика» URL: <http://stringer46.narod.ru/WPAdvertisement>. – Дата обращения: 06.03.2018.
8. Высоцкий, С. П. Применение экологически чистых схем подготовки воды на ТЭС / С. П. Высоцкий // Теплоэнергетика. – 1981. – № 7. – С. 57–60.
9. Использование электродиализных аппаратов для обработки регенерационных стоков водоподготовительных установок / А. Я. Ялова [и др.] // Теплоэнергетика. – 1986. – № 2. – С. 46–50.
10. Джалилов, М. Ф. Некоторые аспекты повышения эффективности химического обессоливания воды и разработки схемы бессточной водоподготовительной установки / М. Ф. Джалилов, А. М. Кулиев, Э. А. Сафиев // Промышленная энергетика. – 1991. – № 11. – С. 34–36.
11. Ибрагимов, Г. Ш. Совершенствование технологии регенерации катионитовых фильтров с сокращением регенерационных стоков / Г. Ш. Ибрагимов, А. В. Мамощин // Энергетик. – 197. – № 1. – С. 15–16.
12. Технические указания по схемам умягчения воды с утилизацией засоленных стоков водоподготовительной установки. – М., 1983.
13. Jackson, E. W. Make-up treatment counter current regeneration / E. W. Jackson, J. H. Smith. – Effluent and Water Treat J. – 1978. – Vol. 18, № 3. – С. 131–135.
14. Юрчевский, Е. Б. Современное отечественное водоподготовительное оборудование для обессоливания и умягчения воды на ТЭС / Е. Б. Юрчевский // Теплоэнергетика. – 2002. – № 3. – С. 62–65.
15. Водоподготовка. Процессы и аппараты; под ред. О. И. Мартыновой. – М.: Атомиздат, 1980. – 352 с.
16. Никитин, И. В. Малоотходная технология ионообменного умягчения воды в аппаратах с подвижным слоем катионита / И. В. Никитин, И. В. Старостина, С. Е. Талтыкин // Теплоэнергетика. – 1996. – № 8. – С. 63–64.
17. Исследование и внедрение процессов непрерывного ионирования с неподвижным слоем ионита с целью уменьшения расходов реагентов и количества стоков: Отчет о НИР (промеж.) / Ставропольский политехнический институт – № ГР 01870006285. – Ставрополь, 1988. – 71 с.
18. Когановский, А. М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водо подготовки и очистки сточных вод / А. М. Когановский. – Киев: Наук. думка, 1983. – 240 с.
19. Water Desalination Report. – 22 January, 2007. – Vol. 43, № 3.

20. Обратный осмос и ионный обмен: Какая технология победит в водоподготовке XXI века / А. Г. Первов [и др.] // Экология производства. Энергетика. – 2006. – № 1(2). – С. 1–5.
21. Использование метода обратного для водоподготовки в энергетике / А. Н. Самодуров [и др.] // Теплоэнергетика. – 2006. – № 6. – С. 26–30.
22. Технический справочник по обработке воды: в 2 т.: пер. с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 1696 с.
23. Водоподготовка: Справ. / под ред. С. Е. Беликова. – М.: Аква-Терм, 2007 – 240 с.
24. Авдеев, А. А. Водоподготовительные установки АЭС – современные технические решения на основе интегрированных мембранных технологий / А. А. Авдеев // Атомкон. – 2010. – № 1. – 44 с.
25. Промышленное освоение и унификация малоотходной технологии термохимического умягчения и обессоливания воды / А. С. Седлов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2001. – № 8. – С. 28–32.
26. Лепилин, Р. С. Малоотходная технология подготовки воды для теплосетей с применением ионитных материалов / Р. С. Лепилин, Н. П. Субботина // Промышленная энергетика. – 1993. – № 5. – С. 33–34.
27. Жульков, Н. И. Бессточная технология подготовки подпиточной воды теплосети применительно к условиям атомной станции теплоснабжения (АСТ) / Н. И. Жульков, В. С. Петин, Г. Н. Маркина // Создание замкнутых систем водопользования, очистка и переработка сточных вод электростанций. – Челябинск, 1984. – С. 17–27.

Поступила 02.10.2018

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES
БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 547.454.456

С. М. Дробенков

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

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ГЕРПЕТОФАУНЫ БЕЛАРУСИ**

Герпетофауна Беларуси характеризуется сравнительно невысоким видовым богатством (13 видов амфибий и 7 рептилий), однако значительным экологическим и таксономическим разнообразием этих позвоночных животных (5 отрядов, 11 семейств, 16 отрядов). Благодаря широкому диапазону занимаемых местообитаний, высокой численности и биомассе популяций земноводные и пресмыкающиеся играют существенную и нередко ключевую роль в структурной организации и биоэнергетике природных экосистем. В настоящее время в составе региональной герпетофауны отсутствуют виды, находящиеся в критическом состоянии и нуждающиеся в разработке экстренных мер охраны. Лишь четыре вида (гребенчатый тритон, камышовая жаба, болотная черепаха и обыкновенная медянка) выделяются низкой численностью и спорадичным распространением, в связи с чем отнесены к категории угрожаемых и включены в Красную книгу Республики Беларусь. Наибольшее практическое значение имеют виды, продуцирующие биологически активные вещества, которые нашли применение в области производства лекарственных препаратов. Наиболее ценным компонентом региональной герпетофауны является обыкновенная гадюка, яд которой используется в медицине в качестве основы ряда препаратов (Випраксин, Випробел, Випросал В, Нижвисал В и Алвипсал). Высокую ценность для химико-фармацевтической отрасли имеют также кожные выделения серой и зеленой жаб, краснобрюхой жерлянки и обыкновенной чесночницы, компоненты которых обладают выраженными лечебными свойствами. Значительный коммерческий интерес представляют три вида зеленых лягушек (прудовая, озерная и съедобная), выделяющиеся как деликатесный пищевой продукт в Южной и Центральной Европе. Приведены результаты оценки численности и промыслового потенциала популяций трех наиболее ценных представителей фауны – обыкновенной гадюки, серой жабы и краснобрюхой жерлянки.

Ключевые слова: биологические ресурсы, промысловый потенциал, земноводные, пресмыкающиеся, практическое использование

S. M. Drobenkov

*Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources, Minsk, Belarus,
e-mail: bel_gerpetology@rambler.ru*

**PRESENT STATE AND POSSIBLE USE OF BIOLOGICAL RESOURCES
OF THE HERPETOFAUNA OF BELARUS**

Current herpetofauna of Belarus is characterized by a relatively low species richness (13 species of amphibians and 7 reptiles), but significant ecological and taxonomic diversity (5 orders, 11 families, 16 genera). 20% of all the species assigned to rare ones and included into the Red data book of the Republic of Belarus (crested newt, natterjack, pond turtle and smooth snake). Due to the wide range of habitats, high abundance and biomass of these groups of populations of vertebrates play a significant and often decisive role in structural organization and bioenergetics of natural ecosystems. Amphibians because of staged development serve as a link between terrestrial and aquatic ecosystems. The species which produce zootoxins and use in medication production have greatest practical importance at present time. The green frogs (pond, edible and pool frogs) traditionally used as a food in the regions of South and Central Europe represent the commercial interest. The results of the number and resource potential estimation for the regional populations of three toxic species of herpetofauna – common adder, common toad and fire-bellied toad are presented, too.

Keywords: biological resources, resource potential, amphibians, reptiles, practical utilization

С. М. Драбянкоў

Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсам, Мінск, Беларусь,
e-mail: bel_gerpetology@rambler.ru

СУЧАСНЫ СТАН І МАГЧЫМАСЦІ ПРАКТЫЧНАГА ВЫКАРЫСТАННЯ БІЯЛАГІЧНЫХ РЭСУРСАЎ ГЕРПЕТАФАУНЫ БЕЛАРУСІ

Сучасная герпетофаўна Беларусі, пры параўнальна невысокім відавым багацці (13 відаў амфібіяў і 7 рэптылій), характарызуецца значнай экалагічнай і таксанамічнай разнастайнасцю (5 атрадаў, 11 сямействаў, 16 родаў). 20 % відаў аднесены да катэгорыі рэдкіх і ўключаны ў Чырвоную кнігу Рэспублікі Беларусь (чаротавая жаба, грэбенчаты трытон, балотная чарапаха, звычайная мядзянка). Дзякуючы шырокаму дыяпазону займаных месцапражыванняў, высокай колькасці і біямасе папуляцый гэтых групы храбетных жывёл выконваюць істотную, нярэдка выключную ролю ў структурнай арганізацыі і біяэнергетыцы прыродных экасістэм. Земнаводныя, якія адрозніваюцца стадыённым развіццём, служаць злучным звяном паміж наземнымі і воднымі экасістэмамі. Найбольшае практычнае значэнне ў цяперашні час маюць віды, якія прадукуюць зоатаксіны, і выкарыстоўваюцца пры вытворчасці лекавых прэпаратаў. Камерцыйную цікавасць уяўляюць зялёныя жабы (сажалкавая, ядомая і азёрная), якіх традыцыйна выкарыстоўваюць у ежу ў рэгіёнах Паўднёвай і Цэнтральнай Еўропы. Прыведзены вынікі ацэнкі колькасці і прамысловага патэнцыялу рэгіянальных папуляцый трох таксічных прадстаўнікоў герпетофаўны – звычайнай гадзюкі, шэрай жабы і чырвонабрухай жарлянкі.

Ключавыя словы: біялагічныя рэсурсы, прамысловы патэнцыял, земнаводныя, паўзуны, практычнае выкарыстанне

Введение. Земноводные и пресмыкающиеся (герпетофауна) – одни из наиболее распространенных, массовых и ценотически важных групп наземных позвоночных животных Беларуси, имеющие значительные перспективы практического использования [1–3]. Проблемам комплексного разностороннего изучения и ресурсоведения герпетофауны в стране до последнего времени уделялось значительно меньше внимания, чем другим группам позвоночных. Основной причиной недостаточной разработанности экологических и прикладных аспектов изучения этих таксонов является недооценка их функциональной и практической значимости, а также относительно короткая история использования в практических целях [4]. Вместе с тем организация хозяйственного использования биологических ресурсов ценных видов фауны и повышение продуктивности природных экосистем рассматривается как одна из важнейших социально-экономических задач современного общества.

Материалы и методы. Видовой состав герпетофауны Беларуси, состояние природных популяций и биологических запасов ценных видов амфибий и рептилий оценивали в 2000–2017 гг. Ресурсная оценка проведена для региональных популяций обыкновенной гадюки (*Pelias berus*), серой жабы (*Bufo bufo*) и краснобрюхой жерлянки (*Bombina bombina*), представляющих наибольший практический интерес (рисунок).

При оценке численности и промысловых запасов природных популяций амфибий и рептилий использовали наиболее применяемые для этих целей методические руководства [5]. Общую численность территориальных группировок ресурсных видов рассчитывали на основе данных о плотности популяции, а также структуре и площади занимаемых ими местообитаний. Плотность популяции обыкновенной гадюки оценивалась методом маршрутных учетов на трансектах фиксированной ширины [5], земноводных – по данным визуальных учетов в период их размножения с пересчетом на единицу площади акватории водоема.

Результаты и их обсуждение

Современное состояние герпетофауны Беларуси. Герпетофауна Беларуси включает 20 видов – 13 видов земноводных и 7 пресмыкающихся, составляющих соответственно 0,17 % и 0,07 % от всего мирового списка этих групп животных. Несмотря на сравнительно невысокое видовое богатство местная герпетофауна характеризуется значительным экологическим и таксономическим разнообразием (5 отрядов, 11 семейств, 16 отрядов). По видовому богатству она занимает промежуточное положение между территориями более разнообразных в этом отношении соседних южных стран – Украины (37 видов) и Польши (27 видов), с одной стороны, и северных государств – Литвы, Латвии, Эстонии и северо-западной части России (16–18 видов) – с другой [6–9]. Различия в видовом составе рецентной герпетофауны Беларуси и соседних регионов Восточной Европы связаны с влиянием климатогеографических факторов и историческими причинами, определившими характер ее формирования в послеледниковый период [10, 11].



Ценные ресурсные виды герпетофауны Беларуси: а – обыкновенная гадюка (*Pelias berus*); б – серая жаба (*Bufo bufo*); в – краснобрюхая жерлянка (*Bombina orientalis*)

биоклиматических факторов, характеризующихся континуальностью. Среди естественных причин, влияющих на распространение этих хладнокровных животных, выделяются климатические условия, и прежде всего температура и влажность окружающей среды. Так, установлено, что пределы распространения болотной черепахи в ареале и в Беларуси, в частности, связаны с изотермой июня, соответствующей температуре $+18,5^{\circ}$, ниже которой развитие эмбрионов останавливается.

Структура ареала большинства видов региональной герпетофауны характеризуется относительной однородностью, т.е. сплошным распространением и регулярной встречаемостью вида в соответствующих его потребностям местообитаниях.

Лишь для одного вида – широко распространенной и многочисленной травяной лягушки (*Rana temporaria*) отмечена существенная особенность структуры ареала. Установлено, что в южной зоне страны в центральной части бассейна р. Припять существует обширный участок

В списке местной фауны отсутствуют эндемичные формы (подвиды, виды и таксоны более высокого ранга) и большинство слагающих ее элементов характеризуется обширными европейскими или евроазиатскими ареалами. Область обитания некоторых видов охватывает значительные территории (краснобрюхая жерлянка *Bombina orientalis*, обыкновенная чесночница *Pelobates fuscus*, обыкновенная гадюка *Pelias berus*, обыкновенный уж *Natrix natrix*), в то же время в ней присутствуют и узкоареальные виды (камышовая жаба *Epidalea calamita*).

Ограниченное распространение в Беларуси имеют 3 наиболее теплолюбивых вида земноводных и 1 вид пресмыкающихся, обитающие здесь на северной, северо-восточной или восточной границах своих ареалов: краснобрюхая жерлянка, камышовая жаба, обыкновенная квакша (*Hyla arborea*) и болотная черепаха (*Emys orbicularis*).

Пределы распространения обыкновенной квакши – представителя центрально-европейской и средиземноморской фауны, соответствуют границам предпоследнего (сожско-го) оледенения, незатронувшего южную часть страны – Белорусское Полесье.

Краснобрюхая жерлянка не встречается в северной части республики в области Белорусского Поозерья, а камышовая жаба освоила только западную и ее юго-западную часть. Северная граница ареала болотной черепахи в общих чертах совпадает с рубежами Белорусского Полесья.

Область обитания узкоареальных представителей герпетофауны на территории Беларуси не совпадает с какими-либо растительными или ландшафтными зонами. Современное распространение этих видов определяется, по всей видимости, влиянием

дизъюнкции ареала, где этот вид не встречается или крайне редок [2]. Отсутствие этого вида, зимующего в воде, на значительной территории Полесья связывается с ежегодными обширными половодьями, заливающими места размножения. Область дизъюнкции *R. temporaria* в последнее время заметно сократилась, что связано с обвалованием русловой зоны Припяти и канализацией ее некоторых крупных притоков.

В состав местной батрахофауны входит комплекс европейских зеленых лягушек (*Pelophylax esculentus* compl.), представленных 3 видами: озерной (*Pelophylax ridibundus*, Pallas, 1771), прудовой (*Pelophylax lessonae*, Cernano, 1882) и съедобной или гибридной лягушкой (*Pelophylax kl. esculentus*, Linnaeus, 1758). Из-за морфологического сходства и возникающих по этой причине сложностей с видовой идентификацией их распространение и структура ареала в стране в целом и в отдельных регионах в частности, изучены в меньшей степени, чем для большинства других видов.

До конца прошлого столетия было известно лишь несколько достоверных точек, где встречались точно идентифицированные виды этого комплекса. Один из них – съедобная лягушка был зарегистрирован только в центральной части – в прудах рыбхоза «Альба» (Несвижский район Минской области), что было установлено в результате анализа выборок, обработанных с помощью метода электрофореза альбуминов сыворотки крови [2].

Современные исследования позволили уточнить географическое распространение и современный статус зеленых лягушек в этой части их общего ареала. Согласно полученным данным, относительно редким представителем зеленых лягушек оказалась озерная лягушка, распространение которой связано с наличием крупных открытых водоемов. Два других вида – прудовая и съедобная лягушки отнесены к категории обычных представителей фауны.

Исследованиями последних лет показана полиморфность некоторых таксонов земноводных, например гребенчатого тритона (*Triturus cristatus*) и обыкновенной чесночницы (*Pelobates fuscus*), что в дальнейшем за счет повышения их таксономического ранга может расширить региональный список герпетофауны.

В последнее время в Европе проявилось влияние нового фактора, способного изменить состав и структуру фаунистических комплексов земноводных и пресмыкающихся. В последние десятилетия в Южной, Центральной и в меньшей степени в Восточной Европе отмечается активная экспансия агрессивных американских красноухих черепах, распространяющихся из аквариумов любителей. Один из них – *Trachemys scripta elegans* – проникающий в фауну все новых стран на всех континентах земли, может нанести серьезный ущерб биоразнообразию Беларуси и прежде всего ее южных регионов. В последнее десятилетие этот инвазивный вид уже отмечался в некоторых регионах страны, а в южных районах даже успешно зимовал в водоемах.

В составе современной герпетофауны Беларуси присутствуют значительно различающиеся по характеру распространения, численности популяций и участию в структуре природных сообществ виды (табл. 1). Согласно данным многолетнего биологического мониторинга, за 35-летний период, т.е. с начала 80-х годов прошлого века по настоящее время, состояние популяций как редких, так и большинства других прежде всего фоновых и биоценотически важных видов в Беларуси остается относительно стабильным.

В настоящее время в составе герпетофауны Беларуси отсутствуют виды, находящиеся в критическом состоянии и нуждающиеся в разработке экстренных мер охраны. Вместе с тем четыре вида (гребенчатый тритон, камышовая жаба, болотная черепаха и обыкновенная медянка) отнесены к категории угрожаемых и требуют постоянного контроля.

Тритон гребенчатый (*Triturus cristatus* Laurenty, 1768) – один из наиболее редких представителей региональной батрахофауны, встречается по всей стране, однако очень спорадично. Отмечен лишь в 2,9 % наземных биоценозов Беларуси. Численность повсеместно низка и в последние три десятилетия постепенно, но неуклонно снижается. Основная причина сокращения региональной популяции *T. cristatus* – влияние разнообразных антропогенных факторов. Негативное воздействие на состояние вида оказывают уничтожение и химическое загрязнение небольших водоемов, где происходит размножение. Этот вид включен в Красную книгу

Т а б л и ц а 1. Распространение, плотность популяции и природоохранный статус земноводных и пресмыкающихся в Беларуси

Вид	Характеристики региональной популяции		
	встречаемость в биоценозах, %	плотность популяции, экз./га	охранный статус
<i>Земноводные</i>			
<i>Lissotriton vulgaris</i>	2,9	56,2±3,7	О
<i>Triturus cristatus</i>	0,8	133,6±11,5	Р, КК
<i>Bombina</i>	7,6	459,1±32,8	ОЗ
<i>Pelobates fuscus</i>	2,5	16,1±1,9	О
<i>Bufo bufo</i>	7,6	52,0±4,9	О
<i>Pseudepidalea viridis</i>	1,5	65,3±6,6	О
<i>Epidalea calamita</i>	1,2	400,0±31,8	Р, КК
<i>Hyla arborea</i>	3,9	100,2±8,9	ОЗ
<i>Pelophylax esculentus</i> compl.	16,2	348,5±19,6	ОЗ
<i>Rana temporaria</i>	28,5	283,6±19,3	О
<i>Rana arvalis</i>	42,1	340,0±21,8	О
<i>Пресмыкающиеся</i>			
<i>Emys orbicularis</i>	0,9	2,5±0,3	Р, КК
<i>Anguis fragilis</i>	3,5	14,5±1,6	О
<i>Lacerta agilis</i>	15,3	55,0±4,3	О
<i>Zootoca vivipara</i>	23,3	98,1±7,6	О
<i>Natrix natrix</i>	14,7	36,1±2,9	О
<i>Coronella austriaca</i>	1,8	12,5±1,5	Р, КК
<i>Pelias berus</i>	9,5	25,9±1,9	О

П р и м е ч а н и е. О – обычный; ОЗ – обычный в пределах зоны распространения; Р – редкий; КК – внесен в списки Красной книги Беларуси.

Республики Беларусь (2015), отнесен к категории IV (потенциально уязвимый). Редок и охраняется почти во всех странах Европы. Внесен в списки Красной книги МСОП (категория LC), Приложение II Бернской Конвенции, Приложение II и IV Директивы о местообитаниях Евросоюза.

Жаба камышовая (*Epidalea calamita* Laurenty, 1768) – ограниченный в распространении, малочисленный, спорадично встречающийся в Беларуси вид. Естественный ареал охватывает лишь западную и юго-западную часть страны, где встречается только в 2,5 % наземных биоценозов. Основную угрозу существованию *E. calamita* в настоящее время несут антропогенные факторы, в первую очередь те, которые способствуют деградации и разрушению стаций размножения – мелких водоемов в открытых ландшафтах. Численность популяции низка, но относительно стабильна. Включена в Красную книгу Республики Беларусь (2015) в категорию III (уязвимый вид). Камышовая жаба редка в большинстве стран Южной, Центральной и Восточной Европы, в связи с чем внесена в Красную книгу МСОП (категория LC), Приложение II Бернской Конвенции и Приложение IV Директивы о местообитаниях Евросоюза.

Черепаша болотная (*Emys orbicularis* Linnaeus, 1758) – редкий, узкоареальный вид региональной герпетофауны, встречающийся лишь в южной и юго-западной части страны в основном в Полесье. В настоящее время отмечается лишь в 1,2 % всех водоемов. Редкий по всему ареалу вид, очень чувствительный к антропогенному воздействию. Численность постепенно снижается. Сокращению популяции способствовала широкомасштабная осушительная мелиорация Белорусского Полесья, проведенная во второй половине XX века, интенсификация сельского хозяйства, автомобильное движение на дорогах, урбанизация и увеличение мозаичности среды. Болотная черепаха включена в Красную книгу Республики Беларусь (2015) в категорию III (уязвимый вид). Включена в Красную книгу МСОП (категория LR/nt), Приложение II Бернской Конвенции, Приложение IV Директивы о местообитаниях Евросоюза.

Медянка обыкновенная (*Coronella austriaca* Laurenty, 1768) – наиболее редкий представитель герпетофауны Беларуси, область распространения которого охватывает всю ее территорию. Встречается очень спорадично, повсеместно редка, популяции малочисленны. Предпочитает лесные холмистые ландшафты – как правило, сухие сосняки, тогда как пойменные и болотные участки заметно избегает. В настоящее время встречается лишь в 0,9 % наземных биоценозов. Редкая встречаемость и низкая численность вида обусловлены преимущественно особенностями его экологии и поведения. Численность популяции связана с обилием основного кормового объекта – ящериц (*Z. vivipara*, *L. agilis*). Площадь местообитаний снижается под влиянием некоторых форм антропогенной трансформации экосистем (сплошные рубки леса, сельское хозяйство, урбанизация, автомобильное движение на дорогах). Численность региональной популяции крайне низка, хотя и относительно стабильна. *C. austriaca* включена в списки Красной книги Республики Беларусь (2015), категория III (уязвимый вид), Красную книгу МСОП (категория LC), Приложение II Бернской Конвенции и Приложение IV Директивы о местообитаниях Евросоюза.

В регулярном контроле состояния региональных популяций нуждаются также еще два вида земноводных, не включенные в основную «группу риска»: обыкновенная квакша и краснобрюхая жерлянка, ареал которых охватывает лишь часть (южные и юго-западные регионы) страны. К категории потенциально угрожаемых следует отнести также виды, относительно благополучные в Беларуси, но сокращающиеся в численности в большинстве других районов ареала (*Pseudepidalea viridis*, *Lacerta agilis*).

При оценке природоохранного статуса особого внимания требуют виды, состояние которых в настоящее время пока еще благополучно, но в последнее время отмечается некоторая тенденция сокращения численности (*Lissotriton vulgaris*).

Ситуация с популяциями охраняемых, а также редких или слабоизученных видов, требующих внимания, в различных природных зонах и административных районах Беларуси из-за ландшафтно-экологической дифференциации и местных особенностей хозяйственного освоения территории существенно отличается, что требует соответствующих региональных программ и особых подходов к их сохранению.

Перспективные пути использования герпетофауны. Согласно современным представлениям, биологический ресурс – это целый комплекс самых разнообразных количественных и качественных показателей вида, таких, как общая численность, характеризующая потенциал и разнообразие его адаптаций; количество популяций, в которых реализуются процессы микроэволюции и обеспечивается генетическое единство и жизнеспособность; количество и разнообразие местообитаний внутри ареала и их динамика; количественные показатели динамических процессов, связанных с сезонной и многолетней цикличностью популяций; потенциальные экономические возможности вида [1]. Обычно экономические возможности использования ценного вида животного мира сводятся к оценке одного наиболее важного показателя – стоимости добываемого ресурса.

В мировой практике использование животных осуществляется по трем основным направлениям: пищевое (кулинарное и кормовое), фармацевтическое (производство ценных биологически активных препаратов) и научно-прикладное (мониторинг, биотестирование).

Земноводные и пресмыкающиеся – одни из наименее используемых в практических целях групп позвоночных животных Беларуси, что объясняется в первую очередь ограниченными возможностями употребления их в пищу. В нашей стране так же как и в большинстве других регионов Восточной Европы нет исторических традиций хозяйственного применения этих животных [12]. В Беларуси лишь некоторые виды и только в самое последнее время были включены в перечень объектов заготовки диких животных. К категории наиболее ресурсных видов отнесены обыкновенная гадюка и зеленые лягушки (прудовая, озерная и гибридная). Последние научные разработки, проведенные в Беларуси, свидетельствуют, что освоение нетрадиционных биологических ресурсов, к которым относятся ядовитые змеи, токсичные и пищевые виды земноводных и некоторые другие, является рентабельной отраслью биотехнологии и ресурсопользования.

Одним из наиболее перспективных направлений использования отечественной герпетофауны является медико-фармацевтическая область [13, 14]. Наибольший практический интерес представляют виды, продуцирующие зоотоксины, которые находят применение в сфере производства лекарственных препаратов. В группу наиболее ценных в этом отношении видов входят обыкновенная гадюка (*Pelias berus*), серая жаба (*Bufo bufo*) и краснобрюхая жерлянка (*Bombina bombina*), чьи ядовитые железы выделяют вещества, используемые при создании кардиотоников, иммуномодуляторов, лекарств для лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата и некоторых других медицинских средств.

Наиболее ценным видом отечественной фауны является обыкновенная гадюка, яд которой применяется в медицине при производстве ряда препаратов (Випраксин, Випробел, Випросал В, Нижвисал В и Алвипсал). Змеиный яд, присутствующий в препаратах в очень малых дозах, используется в медицине при лечении невритов, для стимуляции иммунологической реакции организма, при кардиологических заболеваниях, в диагностике и лечении заболеваний свертывающей системы крови человека, опорно-двигательного аппарата, обмена веществ, пищеварительной системы, аллергии, рассеянного склероза и др. [13, 14].

Обыкновенная гадюка – единственный вид белорусской герпетофауны, для которого проведена ресурсная оценка численности региональной популяции, рассчитаны допустимые квоты промысла, определены наиболее перспективные участки для отлова и подготовлены охранные мероприятия для эксплуатируемых популяций [15]. Результаты исследований, выполненных в 2011–2015 гг., показали, что общая численность этого вида в Беларуси составляет 500–550 тыс. особей. Плотность популяции варьирует в диапазоне от 0,5 до 150 экз./га, средний уровень – 15–25 экз./га. В соответствии с предлагаемыми нормами ежегодно без ущерба для популяции разрешается добывать 10–15 тыс. гадюк [15].

Продуцируемые амфибиями яды широко используются при производстве лекарственных и диагностических средств. Кожные железы большинства распространенных в Беларуси земноводных выделяют токсины, однако наибольшую ценность среди потенциальных ядопродуцентов представляют жабы, и прежде всего серая (*Bufo*), а также краснобрюхая жерлянка (*Bombina*). Функция выделяемого амфибиями ядовитого секрета заключается в подавлении жизнедеятельности патогенных микроорганизмов и грибов на наружных покровах, а также в пассивной защите от хищников.

Химический состав выделений кожных желез серой жабы изучен наиболее полно. Яды этого вида, а также зеленой и камышовой жаб, отличаются наибольшим разнообразием [14]. Наиболее детально и разносторонне изучены входящие в их состав кардиотоксические стероиды, широко используемые в медицине. Токсичность яда серой жабы по сравнению с многими другими видами заметно ниже. Он содержит большое количество адреналина (до 5–7 %), биогенные амины (серотонин, метилсеротонин, буфотенин, буфотенидин и их N-метильные производные), физиологически активные пептиды (бради- и тахикинины, опиоидные пептиды), гемолитические белки, нейротоксические алкалоиды и кардиотропные стероиды, буфотенин, буфотенидин, дегидробуфотенин, серноокислый эфир буфотионин.

Фармакологически активные вещества кожных желез жаб применяют преимущественно при производстве кардиотоников [13, 14]. В экспериментах показано, что яд серой жабы оказывает радиозащитное действие, связанное с его стимулирующим влиянием на систему кроветворения. Помимо этого, он предотвращает повреждение стенок кровеносных сосудов в острый период лучевой болезни. Положительные результаты были получены при использовании препаратов жабьего яда в экспериментальной терапии злокачественных опухолей.

Масса секрета, который удается получить у серой жабы – наиболее крупного вида земноводных отечественной фауны, составляет 16–27 мг (сухой остаток). Наибольшее количество яда (до 50 %) производят крупные железы – паротиды, расположенные по бокам головы. В Беларуси на основе яда серой жабы в последнее время разработан и прошел клинические испытания кардиотропный препарат «Буфокардин», оказывающий мягкое кардиотоническое действие.

В целом яд жаб, включая серую, является богатым натуральным источником соединений с выраженными биостимулирующими и антибиотическими свойствами, что открывает широкие возможности создания разнообразных препаратов на его основе.

Кожные железы краснобрюхой жерлянки продуцируют пептид бомбезин, биогенные амины и их дериваты: серотонин, буфотенин и буфотенидин, дегидробуфотенин и его серноокислый эфир буфотионин. Яд этого вида оказывает гемолитическое действие, способствует увеличению секреции желудка и желчевыделения, является кардиотоником с выраженным гипотензивным действием [13, 14].

Выделяемый обыкновенной квакшей кожный секрет включает биогенные амины: серотонин и его N-метильные девиаты, буфотенин и буфотенидин и гистамин. Их используют в качестве кардиотонического средства гипотензивного действия и возбуждающего медиатора ЦНС [13, 14].

Железы зеленых лягушек (*Pelophelax cl. esculentus*), представленных тремя видами – озерной, прудовой и съедобной, выделяют биогенные амины (серотонин, метилсеротонин, тахикинины – брадикинин, физалемин и церулеин), которые входят в состав кардиотоников гипотензивного действия, средств, увеличивающих секреторную деятельность желудка и поджелудочной железы, а также медиаторов, возбуждающих ЦНС [13, 14].

Секрет кожных желез травяной и остромордой лягушек содержит биогенные амины: серотонин и его N-метильные девиаты, буфотенин и буфотенидин, дегидробуфотенин, его серноокислый эфир буфотионин. Использование токсинов этих видов возможно в двух направлениях – как кардиотоников с гипотензивным действием и как возбуждающего медиатора ЦНС. Из оболочки икры этих лягушек выделено вещество ранидон, обладающее высокой бактерицидной активностью. Во второй половине прошлого века неоплодотворенная икра бурых лягушек, богатая биологически активными веществами, применялась как ранозаживляющее средство [13, 14].

Фармакологические свойства биологически активных веществ кожных желез других видов земноводных, распространенных в Беларуси, изучены в меньшей степени.

Оценка возможностей промысла наиболее ценных компонентов батрахофауны – серой жабы и краснобрюхой жерлянки показала, что региональные популяции этих видов обладают значительным потенциалом. Согласно результатам проведенных исследований, численность территориальной группировки серой жабы, сосредоточенной на территории Налибокской пуши, составляет 139,3–278,6 тыс. взрослых особей, чего вполне достаточно для организации добычи этого вида (табл. 2).

Достаточно высокой численностью характеризуются также популяции краснобрюхой жерлянки, однако изъятие этого вида, характеризующегося ограниченным распространением, мелкими размерами и низкой ядопродуктивностью, должно быть ограниченным и строго регламентироваться (табл. 3).

Другим из наиболее перспективных направлений использования амфибий является пищевая отрасль. Зеленые лягушки в настоящее время в стране не добываются, но высоко ценятся на внешнем рынке и вызывают большой коммерческий интерес. Биологические запасы этой группы амфибий не оценивались.

Т а б л и ц а 2. Экологические параметры и расчетная численность региональной популяции серой жабы на территории Налибокской пуши

Показатель	Значение
Площадь обследованной территории, км ²	834
Средняя площадь акватории водоемов и водотоков, га/1 км ²	0,5–1,0
Средняя площадь репродуктивных станций, га/1 км ²	0,025–0,05
Средняя плотность репродуктивных группировок, экз./100 м ²	33,4
Средняя численность размножающихся группировок, экз./1 км ²	167–334
Общая численность региональной популяции, тыс. экз.	139,3–278,6

Т а б л и ц а 3. Экологические параметры и расчетная численность популяционной группировки краснобрюхой жерлянки в пойменной зоне р. Уборть

Показатель	Значение
Площадь обследованной территории, км ²	40,4
Средняя плотность популяции в водоемах разного типа, экз./100 м ²	31,4
Общая численность в зоне высокой численности, тыс. экз./1 км ²	9,7
Общая численность в зоне средней численности, экз./1 км ²	3,6
Общая численность в зоне низкой численности, экз./1 км ²	0,4
Общая численность популяции, тыс. экз.	13,7

Благодаря высоким гастрономическим качествам в странах Южной и Центральной Европы (Франция, Италия, Испания, Португалия, Бельгия, Голландия, Швейцария, Германия и др.), а также Америки мясо зеленых лягушек издавна считалось ценным, постоянно востребованным деликатесом. Современная стоимость 1 кг лапок зеленых лягушек составляет 30–40 €, что в 2–3 раза дороже самых ценных сортов рыбы. Основным импортером этого пищевого продукта, используемого в традиционной европейской кухне, была и остается Франция, которая ежегодно потребляет 12–15 тыс. т лягушек. Потребность США составляет примерно 3–5 тыс. т, большинства других стран Европы – от 300 до 1000 т.

Современная численность зеленых лягушек в экономически развитых странах Европы невысока, во многих регионах они внесены в красные книги, что делает эту отрасль полностью зависимой от внешнего рынка. Советский Союз некоторое время экспортировал мясо лягушек, а в настоящее время в активную торговлю включились Россия и Украина, а также Болгария и Турция.

Беларусь – богатая самыми разнообразными водоемами – обладает значительными запасами этих амфибий, которые, не находя применения в нашей стране, совершенно не используются. В последнее время многие рестораны Беларуси, России, Украины и стран Балтии активно привлекают своих посетителей этим экзотическим продуктом и спрос на него постепенно растет. Учитывая всевозрастающую экономическую интеграцию, близость и значительные потребности европейского рынка, можно отметить, что мясо зеленых лягушек представляет собой большой коммерческий интерес, ценную статью дохода и потенциальный источник валютных поступлений для страны.

Зеленые лягушки, которые представлены тремя видами, – съедобной, прудовой и озерной, широко распространены на территории Беларуси, а их численность на многих водоемах достигает сотен особей на 1 га. Не нарушая экологического равновесия, ежегодно без вреда для природы можно изымать значительную численность этого ценного биологического ресурса.

Существуют и некоторые другие пути практического использования ценных качеств земноводных и пресмыкающихся. Амфибии представляют собой классический объект физиологических практикумов и лабораторных исследований. Некоторые виды земноводных являются переносчиками заболеваний и хозяевами паразитов человека и домашних животных. Установлено, что некоторые из них играют существенную роль в поддержании природных очагов трансмиссивных заболеваний. Многие бесхвостые амфибии служат одним из звеньев развития гельминтов со сложными циклами, прокормителями для паразитических протистических клещей.

Герпетофауна играет полезную роль в регуляции численности вредителей сельского и лесного хозяйств, а также в сокращении численности кровососущих насекомых. Эти группы позвоночных представляют собой пищевой ресурс для многих наземных и околводных промысловых животных. Так, лягушки в массе поедаются многими хищными и всеядными промысловыми млекопитающими, причем для многих из них они являются основным кормом (енотовидная собака, *Nyctereutes procyonoides*; европейская, *Mustela lutreola* и американская, *Neovison vison* норки; обыкновенный барсук, *Meles meles*; обыкновенная выдра, *Lutra lutra*; ондатра, *Ondatra zibethicus*; обыкновенная лисица, *Vulpes vulpes*; ласка, *Mustela Nivalis* и др.). Личинками земноводных питается большинство видов речных и озерных рыб, а также некоторые околводные водоплавающие птицы.

Коммерческий промысел амфибий и рептилий, как и других групп животных, может оказать негативное воздействие на их природные ресурсы. Экологические основы организации и регулирования рационального промысла популяций ценных видов, исключая лишь обыкновенную гадюку, совершенно не разработаны. Вместе с тем без знания состояния ресурсов, достаточной научной изученности биологии вида, формирования общей концепции и стратегии использования герпетофауны, а также постоянного контроля эксплуатируемых популяций невозможно грамотно построить добычу и свести к минимуму возможные отрицательные последствия промысла.

Развитие промысла новых ресурсных групп животного мира – амфибий и рептилий, не требует крупных инвестиций и капиталовложений. Разработка этого направления возможна на основе материальной базы существующих предприятий по переработке и производству медико-биологических, пищевых и других продуктов. Освоение ресурсов животного мира в условиях всевозрастающей экономической интеграции Евросоюза и всего европейского региона может стать источником дохода республиканского бюджета.

Список использованных источников

1. Божанский, А. Т. Ресурсы пресмыкающихся России и сопредельных стран, их оценка и сохранение / А. Т. Божанский // Сохранение разнообразия животных и охотничье хозяйство России: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. МСХА им. К. А. Тимирязева. – 2007. – С. 12–16.
2. Пикулик, М. М. Земноводные Белоруссии / М. М. Пикулик. – Минск: Наука и техника, 1985. – 191 с.
3. Хандогий, А. В. Животные ресурсы Республики Беларусь: краткий курс лекций / А. В. Хандогий, О. В. Прищепчик. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2013. – 86 с.
4. Кидов, А. А. Ресурсы земноводных: учеб. пособие / А. А. Кидов. – М.: РГАУ – МСХА, 2012. – 218 с.
5. Челинцев, Н. Г. Методы учета животных на маршрутах / Н. Г. Челинцев // Экологические особенности охраны животного мира. – М., 1985. – С. 74–81.
6. Вилнитис, В. А. Составление атласа земноводных и пресмыкающихся Латвийской ССР / В. А. Вилнитис // Всесоюз. совещ. по проблеме кадастра и учета животного мира: тез. докл. – Уфа, 1989. – Ч. 3. – С. 265–267.
7. Груодис, С. Амфибии и рептилии / С. Груодис // Экологическая оптимизация агроландшафта. – 1987. – С. 144–149.
8. Котенко, Т. И. Земноводные и пресмыкающиеся Украины с точки зрения их охраны / Т. И. Котенко // Деп. в ВИНТИ 13.11.87, № 8014-B87. – Киев, 1987. – 67 с.
9. Juszczuk, W. Płazy i gady krajowe. Cz. 3. Gady-Reptilia / W. Juszczuk. – Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1987. – 214 p.
10. Иванов, Д. Л. Голоценовые амфибии и рептилии Беларуси / Д. Л. Иванов, В. Ю. Ратников, А. Н. Мотузко // Вести БНПУ. Сер. 3. Физика. Математика и информатика. Биология. География. – 2004. – № 1. – С. 48–52.
11. Калиновский, П. Ф. Первые находки ископаемой герпетофауны в Белоруссии и смежных областях и ее палеогеографическое значение / П. Ф. Калиновский, В. Ю. Ратников // Новые представители ископаемой фауны и флоры Белоруссии и других районов СССР: Сб. тр. – Минск, 1990. – С. 91–99.
12. Кузьмин, С. Л. Эксплуатация ресурсов земноводных в России / С. Л. Кузьмин // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. – М., 2005. – С. 138–146.
13. Корпачев, В. В. Целебная фауна / В. В. Корпачев. – М.: Наука. – 1989. – 190 с.
14. Орлов, Б. Н. Зоотоксинология. Ядовитые животные и их яды / Б. Н. Орлов, Д. Б. Гелашвили. – М.: Высш. шк., 1985. – 280 с.
15. Дробенков, С. М. Численность и промысловые ресурсы региональной популяции обыкновенной гадюки (*Pelias berus*) в Беларуси / С. М. Дробенков // Результаты выполнения ГНТП «Разработка и освоение инновационных технологий рационального использования природных ресурсов и повышения качества окружающей среды, 2011–2015 гг.» – Минск, 2016. – С. 16–20.

Поступила 13.02.2018

D. P. Plax

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

**ICHTHYOFAUNA FROM DEPOSITS OF THE RECHITSA REGIONAL STAGE
(FRASNIAN, UPPER DEVONIAN) OF THE GOMEL STRUCTURAL DAM
(FROM RESULTS OF THE UVAROVICHI 94 BOREHOLE LOG STUDY)**

The paper presents the results of the palaeoichthyological study of the rocks of the Rechitsa Regional Stage exposed in the Uvarovich 94 borehole within the Uritsk Block of the Gomel Structural Dam. A vertebrate assemblage established in this borehole is correlated with the synchronous ichthyologic assemblages in the adjacent territories of the East European Platform. The vertebrates of this assemblage are represented by the heterostracans, placoderms, acanthodians and bony fishes. The ichthyofauna data obtained in the Rechitsa Regional Stage slightly supplement the available information on its geographical distribution and systematic composition within the country. The Stratigraphic Chart of the Devonian deposits of Belarus (2010) was assumed as a stratigraphic basis of the Upper Devonian deposit division in the studied area.

Keywords: Belarus, Upper Devonian, Gomel Structural Dam, ichthyofauna, Rechitsa Regional Stage, Frasnian

Д. П. Плакс

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

**ИХТИОФАУНА ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ РЕЧИЦКОГО ГОРИЗОНТА (ФРАНКИЙ ЯРУС, ВЕРХНИЙ ДЕВОН)
ГОМЕЛЬСКОЙ СТРУКТУРНОЙ ПЕРЕМОЧКИ
(ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ РАЗРЕЗА СКВАЖИНЫ УВАРОВИЧИ 94)**

Приводятся результаты палеоихтиологического изучения пород речичьего горизонта, вскрытых скважиной Уваровичи 94 в пределах Урицкого блока Гомельской структурной перемычки. Установленный комплекс позвоночных в этой скважине сопоставляется с одновозрастными ихтиокомплексами сопредельных территорий Восточно-Европейской платформы. Позвоночные в комплексе представлены гетеростраками, акантодами, плакодермами и костными рыбами. Полученные данные по ихтиофауне речичьего горизонта несколько дополняют информацию о ее географическом распространении и систематическом составе в пределах республики. За стратиграфическую основу расчленения верхнедевонских отложений в исследуемом районе принята стратиграфическая схема девонских отложений Беларуси (2010 г.).

Ключевые слова: Беларусь, верхний девон, Гомельская структурная перемычка, ихтиофауна, речичьий горизонт, франкий ярус

Дз. П. Плакс

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

**ІХТЫЯФАЎНА З АДКЛАДАЎ РЭЧЫЦКАГА ГАРЫЗОНТУ (ФРАНСКІ ЯРУС, ВЕРХНІ ДЭВОН)
ГОМЕЛЬСКОЙ СТРУКТУРНОЙ ПЕРАМОЧКІ
(ПА ДАДЗЕНЫМ ВЫВУЧЭННЯ РАЗРЭЗУ СВДРАВІНЫ ЎВАРАВІЧЫ 94)**

У артыкуле прыводзяцца вынікі палеаіхтыялагічнага вывучэння парод рэчыцкага гарызонту, якія былі ўскрытыя свідравінай Уваравічы 94 у межах Урыцкага блока Гомельскай структурнай перамычкі. Усталяваны комплекс хрыбетных у гэтай свідравіне супастаўляецца з іхтыякомплексамі таго ж самага ўзросту сумежных тэрыторый Усходне-Еўрапейскай платформы. Хрыбетныя ў комплексе прадстаўлены гетэрастракамі, акантодамі, плакадэрмамі і касцявымі рыбамі. Атрыманая дадзеныя па іхтыяфаўне рэчыцкага гарызонту некалькі дапаўняюць інфармацыю аб яе геаграфічным распаўсюджанні і сістэматычным складзе ў межах рэспублікі. За стратыграфічную аснову расчленення верхнедевонскіх адкладаў у даследуемым раёне прынятая стратыграфічная схема девонскіх адкладаў Беларусі 2010 г.

Ключавыя словы: Беларусь, верхні дэвон, Гомельская структурная перамычка, іхтыяфаўна, рэчыцкі гарызонт, франскі ярус

Introduction. The deposits of the Rechitsa Regional Stage of the Frasnian Stage are widespread in the territory of Belarus within the Pripyat Trough, North-Pripyat Shoulder, Gomel Structural Dam, Bragin-Loev Saddle, in the southern part of the Zhlobin Saddle and in the Orsha Depression [1, 2]. Within the most part of the Pripyat Trough, in the North-Pripyat Shoulder and in the south of the Zhlobin

Saddle the Rechitsa Regional Stage is represented by the variegated clays, marls and dolomitic marls with an admixture of sandy-silty material, with some interbeds of the dolomites, more rarely, limestones in the middle part of the section. In the diatreme calderas of the Yelets Block of the Zhlobin Saddle, the Rechitsa Regional Stage is represented by the volcanogenic-sedimentary deposits. Some interbeds and inclusions of the volcanogenic material occur in the section of this Regional Stage within the Gomel Structural Dam, Bragin-Loev Saddle and the easternmost part of the Inner Graben. Within the territory of the Orsha Depression the clayey-marlaceous rocks lying at the bottom of the Voronezh Regional Stage sediments are related to the deposits of the Rechitsa Regional Stage.

The Rechitsa deposits contain a rather rich community of the different groups of the fossil organisms among which the most common ones are usually the scolecodonts, ostracodes, gastropods, bivalves, brachiopods, tentaculites, conodonts, ichthyofauna, carbonified plant remains and miospores. The brachiopods, conodonts, ichthyofauna and miospores are most important for this stratigraphic unit correlation. A narrow range of the vertical distribution of some of these fauna and flora species made it possible to distinguish a number of the biostratigraphic zones that are observed in the sections of the synchronous deposits of Belarus. For example, according to the conodont distribution the deposits of the Rechitsa Regional Stage may be related to the lower part of the *Palmatolepis rhenana* zone, according to the vertebrates – to the placoderm zone *Bothriolepis maxima*, and from the miospore evidences – to the local zone of *Convolutispora crassitunicata*.

As mentioned above, the deposits of the Rechitsa Regional Stage are characterized by abundant vertebrates besides the invertebrate fauna, conodonts and flora representatives. D.V. Obruchev was first to record the vertebrates from these deposits in the territory of Belarus. He determined the fish remains from the Rechitsa P74 borehole (depth of 3021 – 3027 m) drilled within the Pripjat Trough. According to his definitions the ichthyofauna remains were represented by the antiarch plates of *Bothriolepis* sp., the sarcopterygian scales and teeth of *Holoptychius* sp., *Onychodus* sp. that did not allow him to define more exactly the stratigraphic position of the Rechitsa Regional Stage [3, 4].

In the early nineties of the past century I.I. Uriev recommenced a purposeful search for large, well-defined skeletal fish elements in the cores of the Rechitsa Regional Stage. The first and single finding was made during the field season of 1991 in the core of the Babinets P28 borehole, which exposed the deposits of the Rechitsa Regional Stage. This borehole is located in the northern part of the Pripjat Trough. The fishes were found at the boundary of two core intervals: 3965.7-3973.5 m and 3973.5-3985.8 m. The core samples with large well-preserved fish remains were passed to V.N. Karatajūtė-Talimaa and J. J. Valiukevičius in the Lithuanian Geological Institute (Vilnius city), where they determined that all the plate fragments belonged to the same species of *Bothriolepis maxima* Gross [5].

The palaeontological characteristic of the Rechitsa deposits by the vertebrate evidences was supplemented as a result of the analysis of the ichthyofauna found in a variegated argillite sample from the Antonovskaya P1 borehole (depth of 4029.4 m) drilled in the southeastern part of the Pripjat Trough. The fish remains found there were *Bothriolepis* sp., *Holoptychius* sp. cf. *H. nobilissimus* Ag., *Rhinodipterus* sp., and some single acanthodian scales of *Devononchus laevis* (Gross) were determined too [5, 6].

The additional data on the ichthyofauna of this Regional Stage were obtained much later by the author of this paper. He established a representative fish assemblage in the dolomitic marls of the Zhlobin 389 borehole (depth of 184.0-201.7 m). This assemblage is represented by some isolated plates of *Bothriolepis maxima* Gross and some scales of *Holoptychius* cf. *nobilissimus* Ag. [7–10].

Another examination of the palaeontological material from the Zhlobin 389 borehole at depth of 191.9-194.2 m has recently resulted in findings of some bony fish scales of Actinopterygii indet. and Sarcopterygii indet., as well as one fragment of the fin spine of Acanthodii gen. indet. Some few vertebrate remains of the Rechitsa age were also established by the author in the Zhlobin 609, Zhlobin 593, Rechitsa P9 and Rechitsa P15 boreholes. So, the scales of *Acanthodes* sp., discrete teeth of *Strunius* sp., some small scale fragments of Sarcopterygii indet. were found in the Zhlobin 609 borehole (depths of 158.6 m and 172.5 m), and the dentine tubercle of Psammosteidae gen. indet., some small scale fragments of Sarcopterygii indet. – in the Zhlobin 593 borehole (depth of 189.5 m). Some isolated psammosteid agnathan tubercles of Psammosteidae indet. some single ray-finned fish scales of Actinopterygii

indet. and a small jaw fragment were determined in the Rechitsa P9 borehole (depth of 2736.8 m), and the teeth of *Strunius* sp. were established in the Rechitsa P15 borehole (depth of 2945.0 – 2957.05 m).

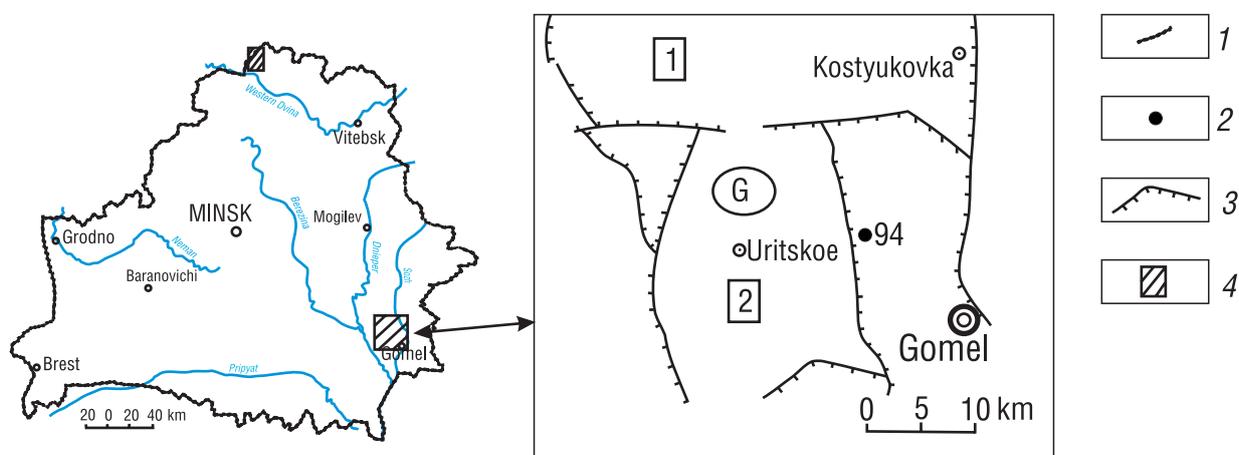
It is worth noting an interesting palaeoichthyological finding made this year by geologist Yu.V. Zaika in the “Vekshitchi” sand-gravel quarry in the Minsk region. He has found a redeposited clayey limestone fragment including a large fragment of the anterior mediodorsal plate related to the species of *Bothriolepis maxima* Gross in the Quaternary deposits exposed in the quarry. The deposits corresponding to the time of this species natural occurrence are absent in this area. Therefore, the rock containing this plate fragment was, apparently, transported by the glacier from the territory of the Baltic States or Russia, where the similar deposits occur. This is for the present the first reliable finding of the fish skeletal element of the age considered in this paper.

Materials and methods. The skeletal material of the agnathans and fishes presented in the paper was taken from the core of the Uvarovichi 94 borehole drilled in the territory of the Uritsk Block of the Gomel Structural Dam (Text-Fig. 1). The ichthyofauna remains obtained by dissolving the limestones, clayey limestones, marls with the acetic and formic acids are represented by the micro- and mesomeric skeletal elements: tubercles, plate fragments, small fragments of indefinable skeletal elements, fin spine fragments, scales, teeth and some small jaw fragments of satisfactory or relatively good safety. Systematically, all the mentioned skeletal elements are related to such ichthyofauna groups as the heterostracans, placoderms, acanthodians and osteichthyans.

The photomicrographs of the agnathan and fish remains with a scanning electron microscope JSM-5610 LV (JEOL, Japan) were made to illustrate the material. The pictures were processed with Adobe Photoshop CS6, the figures were created with CorelDRAW X3. The skeletal elements were studied using the microscopes MBS-1 and «LOMO» Biolam au-12.

The diagnostics of the skeletal elements of the agnathans and fishes were mainly based on the external morphological features. The skeletal material fragmentation and safety degree did not allow specifying the species or genus of the specimens; therefore, the nomenclature for a number of the vertebrates was left open.

Ichthyofauna from the rechitsa deposits of the Uvarovichi 94 borehole. The Uvarovichi 94 borehole was drilled near the town of Gomel. Tectonically, it was drilled in the territory of the Uritsk Block of the Gomel Structural Dam. This borehole penetrated the whole of the Frasnian deposits. The only Rechitsa deposits that the author is interested in, as well as the underlying Semiluki sediments and the lower part of the Jurassic deposits covering the Rechitsa ones are described in this part of the paper (Text-Fig. 2). Their lithological and palaeontological description is given below. A detailed palaeoichthyological characteristic of the deposits of the Rechitsa Regional Stage is also presented. Some skeletal elements of the agnathans and fishes are demonstrated separately on the Plates I, II, III, IV, V, VI, VII and VIII.



Text-Fig. 1. Sketch map showing the location of the Uvarovichi 94 borehole (from [11] with some modifications by the author): 1 – state frontier, 2 – borehole, 3 – regional fractures, 4 – studied area. G - Gomel Structural Dam, 1 – Uvarovichi block, 2 – Uritsk block

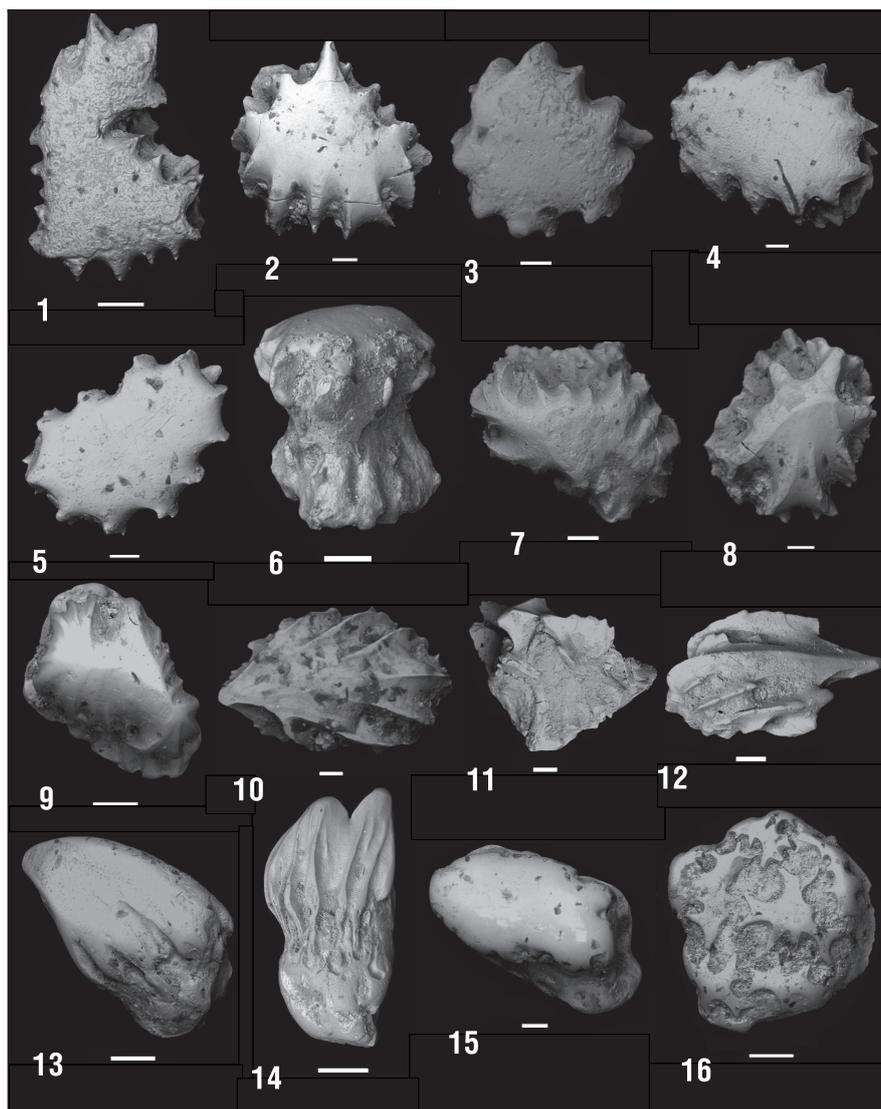


Plate I. Heterostracan dentine tubercles from the Uvarovichi 94 borehole. Skeletal elements of the agnathans from the Upper Frasnian Substage, Frasnian Stage, Upper Devonian. Scale bar 100 μm for Figures 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 15; and 200 μm for Figures 1, 7, 9, 13, 14, 16

Figure 1 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7a, depth of 302.0 m, $\times 65$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 2 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7b, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 3 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7n, depth of 302.0 m, $\times 120$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 4 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7c, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 5 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7d, depth of 302.0 m, $\times 120$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 6 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7f, depth of 302.0 m, $\times 130$, dentine tubercle, lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 7 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7h, depth of 302.0 m, $\times 70$, dentine tubercle, oblique top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 8 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7k, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 9 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/6a-5b, depth of 307.0 m, $\times 90$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 10 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-7g, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 11 – Psammosteidae gen. indet. Specimen № 69/4-3c, depth of 302.0 m, $\times 100$, broken-down dentine tubercle, lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 12 – *Psammosteus* sp. 2. Specimen № 69/4-3b, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, oblique top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 13 – *Psammosteus* sp. 3. Specimen № 69/6a-5a, depth of 307.0 m, $\times 85$, dentine tubercle, lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 14 – *Psammosteus* sp. 3. Specimen № 69/5-4a, depth of 310.5 m, $\times 90$, dentine tubercle, lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 15 – *Psammosteus* sp. 3. Specimen № 69/6a-5d, depth of 307.0 m, $\times 120$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 16 – *Psammosteus megalopteryx* (Trautschold). Specimen № 69/6a-5c (clearly redeposited), depth of 308.5 m, $\times 75$, tessera, top view, Rechitsa Regional Stage

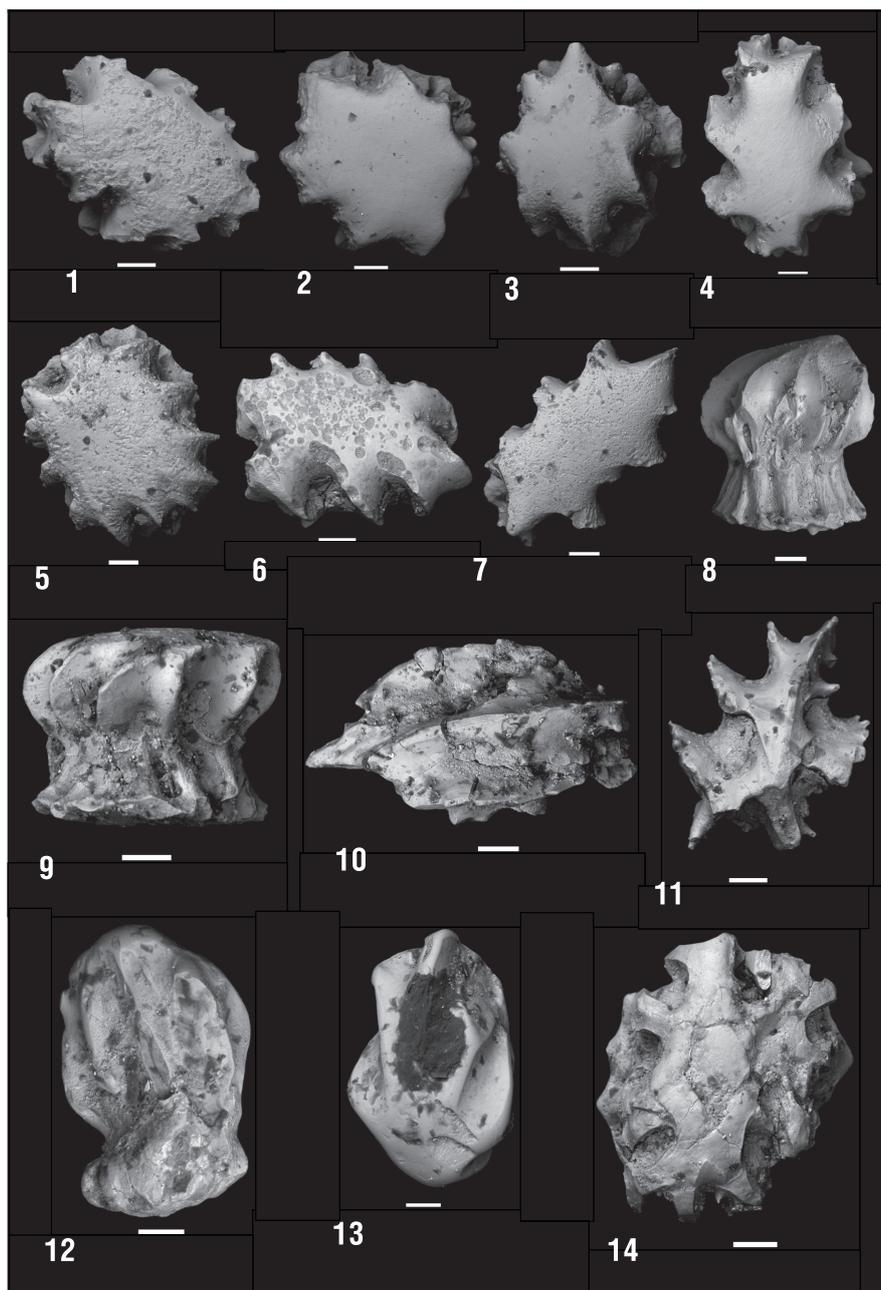


Plate II. Heterostracan dentine tubercles from the Uvarovichi 94 borehole. Skeletal elements of the agnathans from the Upper Frasnian Substage, Frasnian Stage, Upper Devonian. Scale bar 100 μ m for Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, and 14

Figure 1 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-9a, depth of 302.0 m, $\times 140$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 2 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-9b, depth of 302.0 m, $\times 140$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 3 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-9c, depth of 302.0 m, $\times 150$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 4 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-9d, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 5 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-27, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 6 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-26, depth of 302.0 m, $\times 150$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 7 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-44, depth of 302.0 m, $\times 120$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 8 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-9f, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, lateral view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 9 – *Psammosteus* sp. 1. Specimen № 69/4-28, depth of 302.0 m, $\times 130$, dentine tubercle, lateral view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 10 – *Psammosteus* sp. 2. Specimen № 69/4-30, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, oblique top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 11 – *Psammosteus* sp. indet. Specimen № 69/4-47, depth of 302.0 m, $\times 120$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 12 – *Psammosteus* sp. 3. Specimen № 69/5-19, depth of 310.5 m, $\times 120$, dentine tubercle, lateral view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 13 – *Psammosteidae* gen. indet. Specimen № 69/5-23, depth of 310.5 m, $\times 100$, dentine tubercle, oblique top view, Rechitsa Regional Stage.
 Figure 14 – *Psammosteus* sp. 4. Specimen № 69/4-25, depth of 302.0 m, $\times 100$, dentine tubercle, top view, Rechitsa Regional Stage

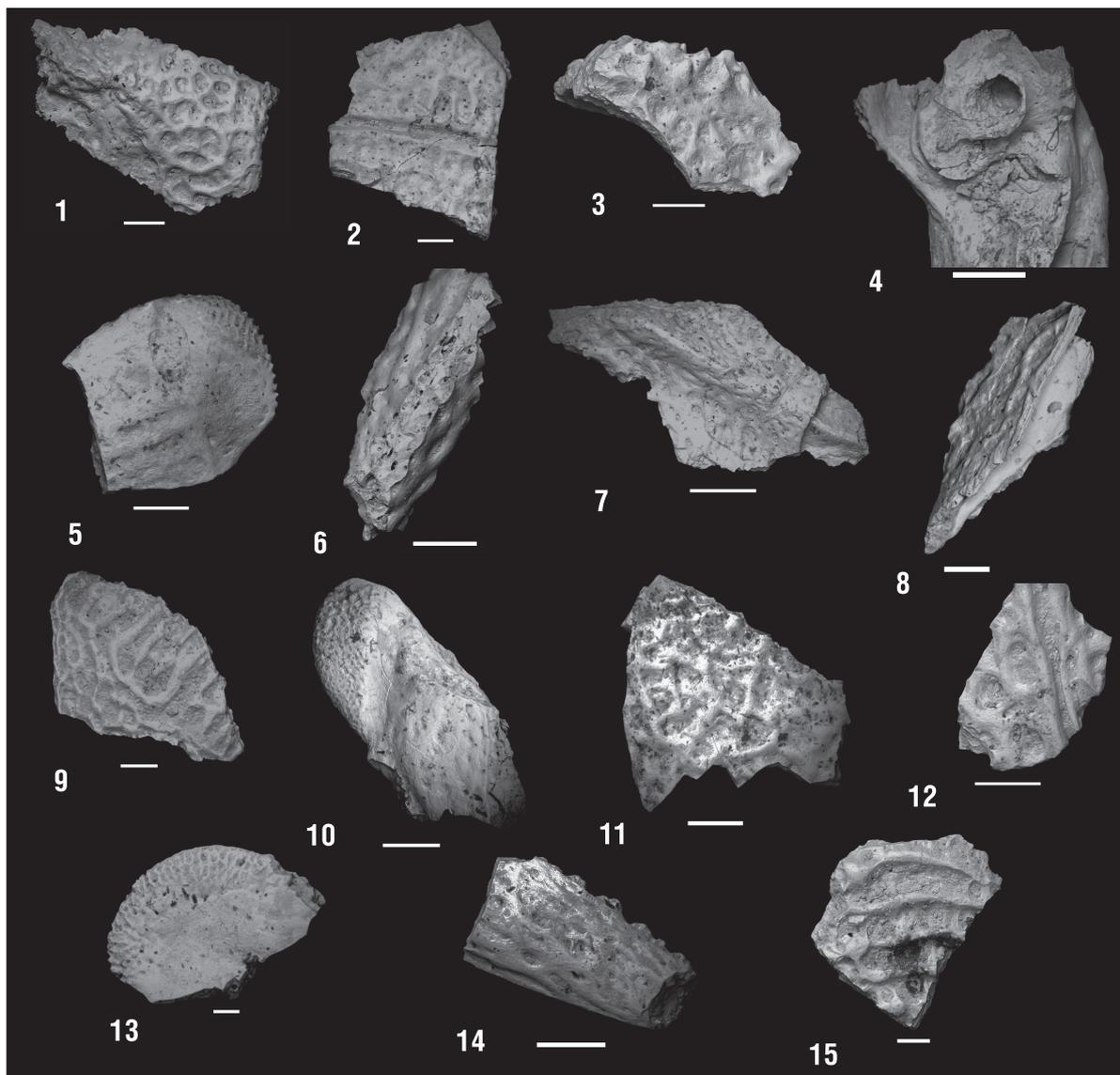


Plate III. Placoderm plate fragments from the Uvarovichi 94 borehole. Skeletal elements of the antiarchs from the Upper Frasnian Substage, Frasnian Stage, Upper Devonian. Scale bar 200 μ m for Figures 13 and 15; 500 μ m for Figures 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14; and 1 mm for Figures 4 and 7

Figure 1 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-1h, depth of 302.0 m, $\times 35$, plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 2 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-1d, depth of 302.0 m, $\times 27$, plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 3 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-1a, depth of 302.0 m, $\times 45$, plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 4 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-1e, depth of 302.0 m, $\times 25$, fragment of the anterior ventrolateral plate with processus brachialis, Rechitsa Regional Stage. Figure 5 – *Antiarcha* indet. Specimen № 69/4-1c, depth of 302.0 m, $\times 45$, pectoral fin plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 6 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-1n, depth of 302.0 m, $\times 40$, plate fragment in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 7 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-1b, depth of 302.0 m, $\times 22$, plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 8 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-1f, depth of 302.0 m, $\times 35$, plate fragment, Rechitsa Regional Stage. Figure 9 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-1g, depth of 302.0 m, $\times 30$, plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 10 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-37, depth of 302.0 m, $\times 40$, pectoral fin plate fragment external surface (the fragment Cv2), Rechitsa Regional Stage. Figure 11 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-10, depth of 302.0 m, $\times 40$, plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 12 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-33, depth of 302.0 m, $\times 50$, plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 13 – *Antiarcha* indet. Specimen № 69/4 -21, depth of 302.0 m, $\times 60$, plate fragment of pectoral fin, Rechitsa Regional Stage. Figure 14 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-20, depth of 302.0 m, $\times 50$, pectoral fin plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage. Figure 15 – *Bothriolepis* sp. Specimen № 69/4-35, depth of 302.0 m, $\times 65$, plate fragment external surface, Rechitsa Regional Stage

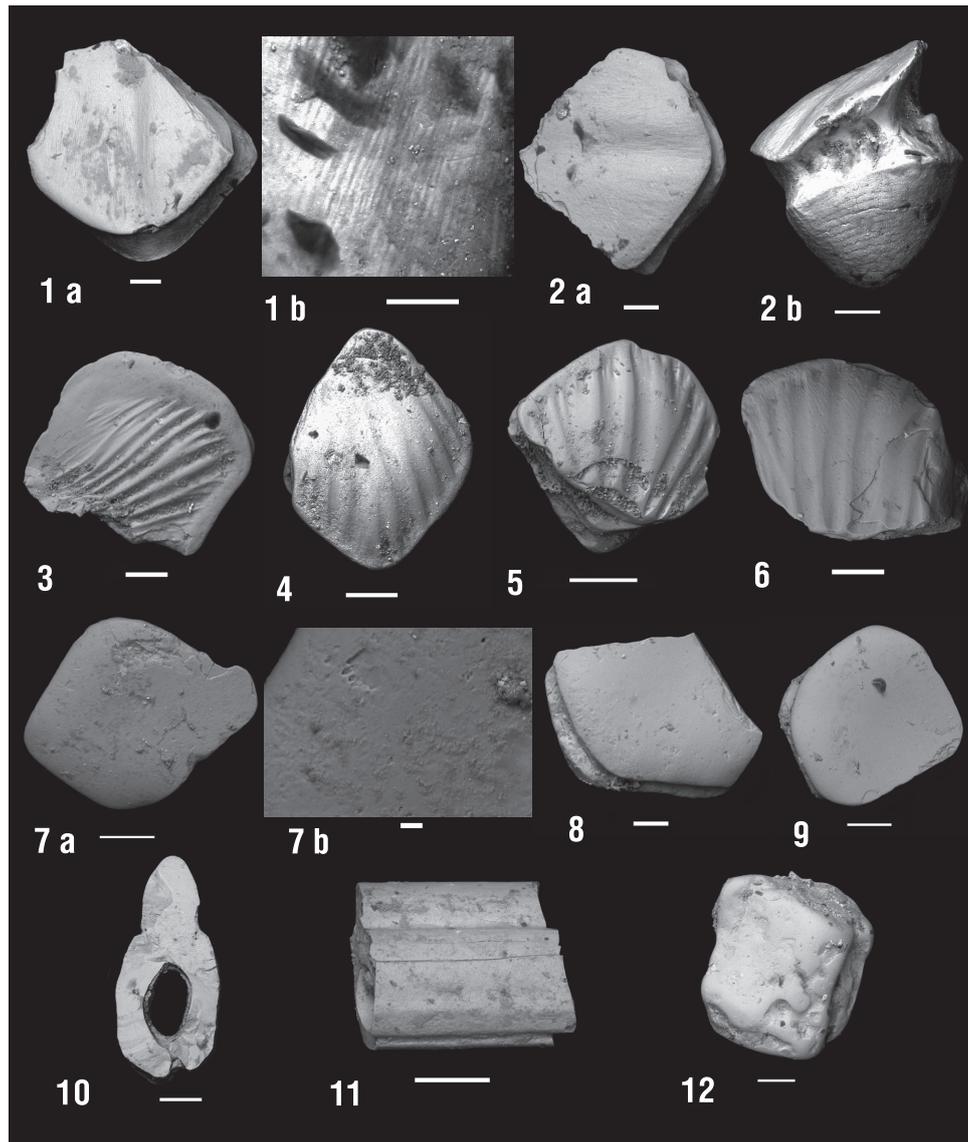


Plate IV. Acanthodian scales and fin spines from the Uvarovichi 94 borehole. Skeletal elements of the fishes from the Upper Frasnian Substage, Frasnian Stage, Upper Devonian. Scale bar 10 μm for Figure 7b; 50 μm for Figures 1b and 8; 100 μm for Figures 1a, 2a, 2b, 3, 4, 5, 6, 7a and 9; 200 μm for Figures 10 and 12; and 500 μm for Figure 11

Figure 1 – *Devononchus* sp. Specimen №69/4-8e, depth of 302.0 m: a – scale in the oblique crown view, $\times 100$; b – scaled-up scale in the crown view, $\times 500$; Rechitsa Regional Stage. Figure 2 – *Devononchus* sp. Specimen №69/4-8d, depth of 302.0 m: a – scale in the oblique crown view, $\times 100$; b – scale in the lateral view, $\times 150$; Rechitsa Regional Stage. Figure 3 – *Cheiracanthidae* ? gen. indet. Specimen №69/6a-3c, depth of 307.0 m, $\times 150$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 4 – *Cheiracanthus* sp. Specimen №69/6a-3a, depth of 307.0 m, $\times 160$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 5 – *Cheiracanthus* sp. Specimen №69/6a-3e, depth of 307.0 m, $\times 250$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 6 – *Cheiracanthus* ? sp. Specimen №69/6a-3f, depth of 307.0 m, $\times 150$, ragged crown of the scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 7 – *Acanthodes* sp. Specimen №69/6a-3g, depth of 307.0 m: a – scale in the crown view, $\times 200$; b – scaled-up scale in the crown view, $\times 1000$; Rechitsa Regional Stage. Figure 8 – *Acanthodes* sp. Specimen №69/6a-3d, depth of 307.0 m, $\times 300$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 9 – *Acanthodes* sp. Specimen №69/6a-3b, depth of 307.0 m, $\times 170$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 10 – *Haplacanthus* sp. Specimen №69/4-8a, depth of 302.0 m, $\times 75$, cross section of the fin spine fragment, Rechitsa Regional Stage. Figure 11 – *Haplacanthus* sp. Specimen №69/4-8b, depth of 302.0 m, $\times 50$, fin spine fragment in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 12 – *Acanthodes* ? sp. Specimen №69/5-7b, depth of 310.5 m, $\times 70$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage

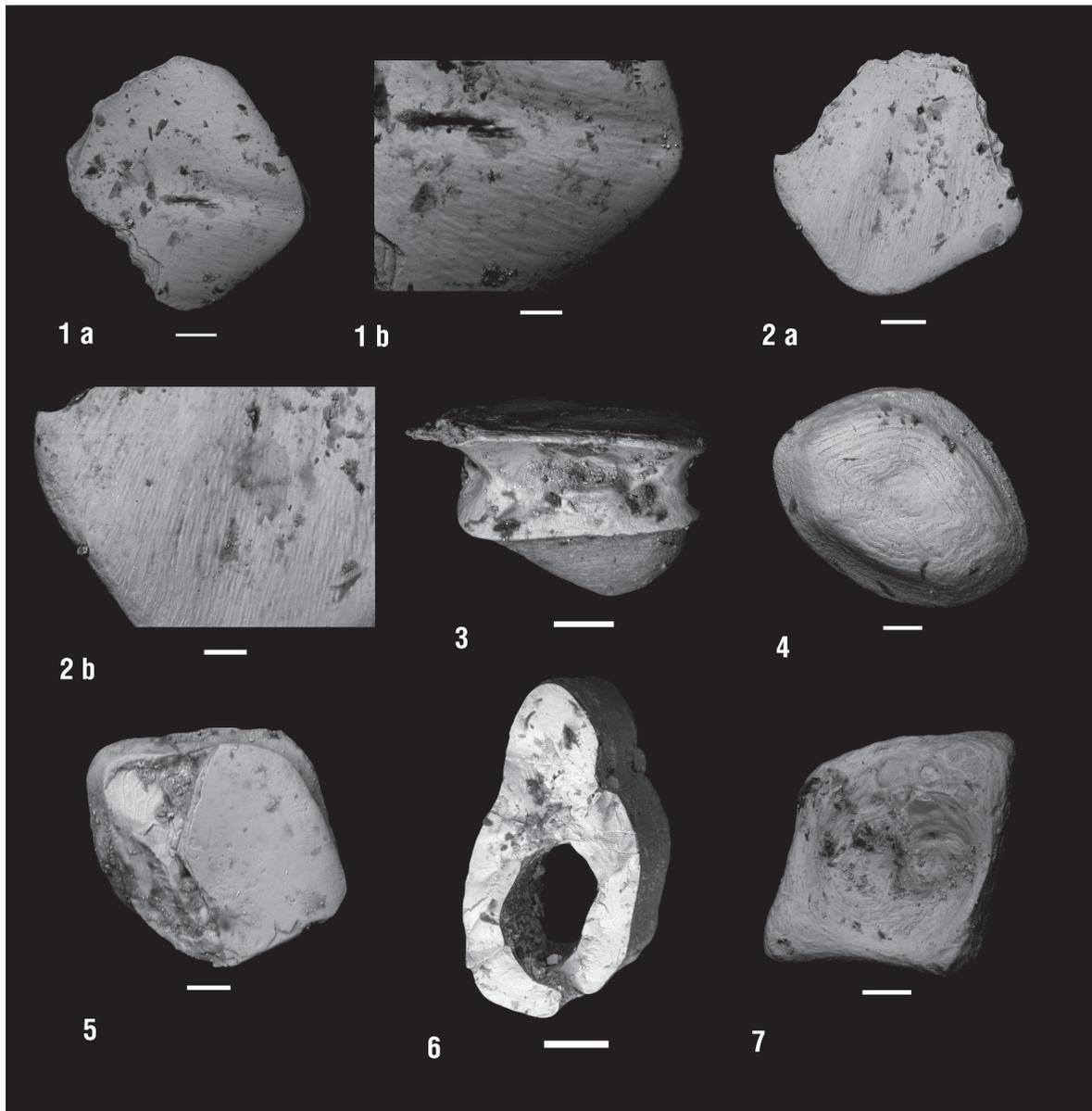


Plate V. Acanthodian scales and fin spines from the Uvarovichi 94 borehole. Skeletal elements of the fishes from the Upper Frasnian Substage, Frasnian Stage, Upper Devonian. Scale bar 50 μ m for Figures 1b, 2b and 5; 100 μ m for Figures 1a, 2a, 3 and 4; 200 μ m for Figures 6 and 7

Figure 1 – *Devononchus* sp. Specimen №69/4-24, depth of 302.0 m: a – scale in the crown view, $\times 120$; b – an enlarged scale part in the crown view, $\times 300$; Rechitsa Regional Stage. Figure 2 – *Devononchus* sp. Specimen №69/4-29, depth of 302.0 m: a – scale in crown view, $\times 130$; b – an enlarged scale part in the crown view, $\times 300$; Rechitsa Regional Stage. Figure 3 – *Devononchus* sp. Specimen №69/4-43, depth of 302.0 m, $\times 150$, scale in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 4 – *Acanthodes* sp. Specimen №69/4-41, depth of 302.0 m, $\times 130$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 5 – *Acanthodes* sp. Specimen №69/5-24, depth of 310.5 m, $\times 300$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 6 – *Haplacanthus* sp. Specimen №69/4-39, depth of 302.0 m, $\times 75$, cross section of the fin spine fragment, Rechitsa Regional Stage. Figure 7 – *Acanthodes* ? sp. Specimen №69/4-23, depth of 302.0 m, $\times 70$, scale in the crown view, Rechitsa Regional Stage

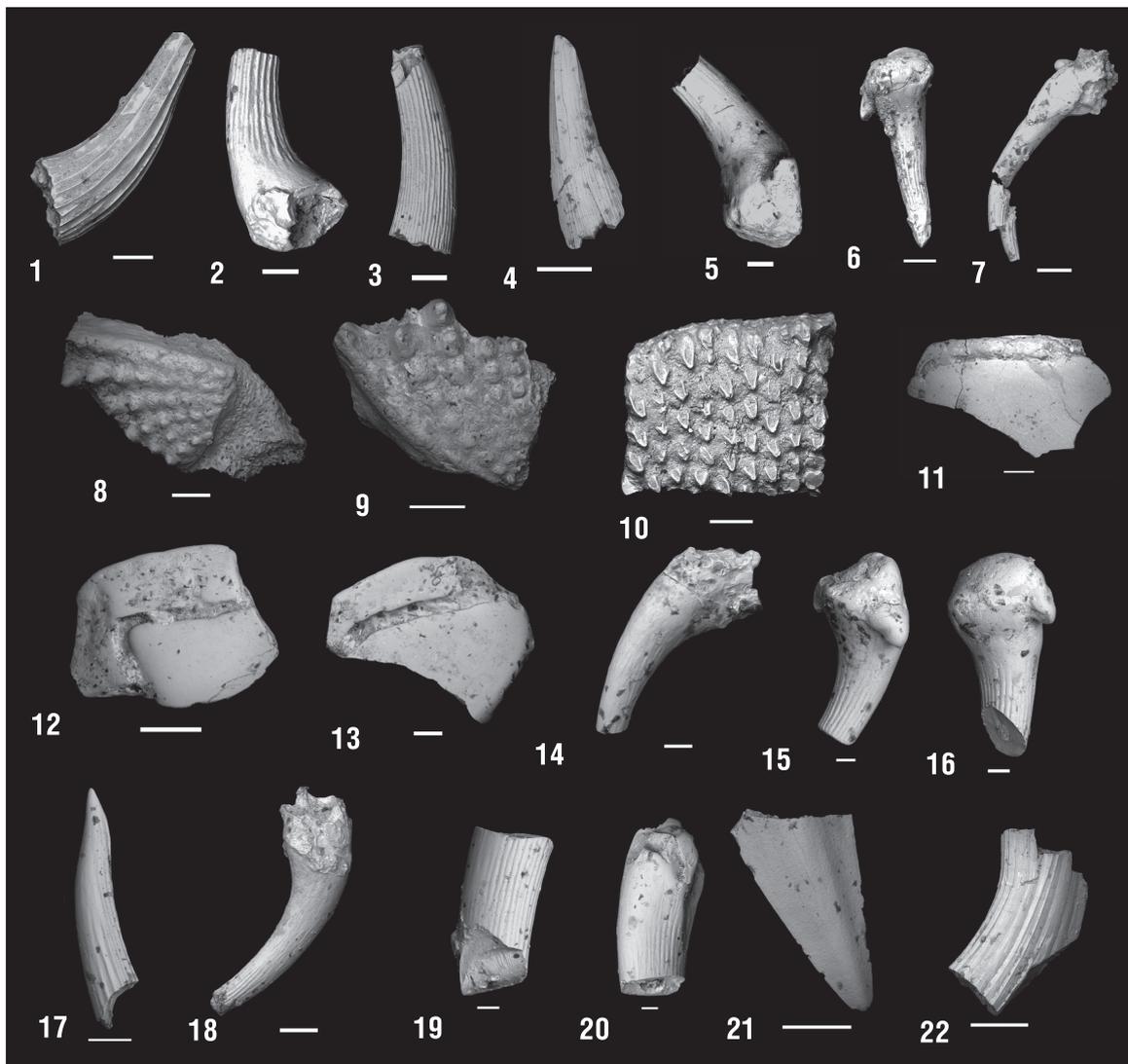


Plate VI. Sarcopterygian scales and teeth from the Uvarovichi 94 borehole. Skeletal elements of the fishes from the Upper Frasnian Substage, Frasnian Stage, Upper Devonian. Scale bar 100 μ m for Figures 1, 5, 14, 15, 16, 19 and 20; 200 μ m for Figures 2, 3, 6, 7, 10, 13, 17 and 18; and 500 μ m for Figures 4, 8, 9, 11, 12, 21 and 22

Figure 1 – Sarcopterygii indet. Specimen №69/4-4c, depth of 302.0 m, $\times 150$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 2 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-4b, depth of 302.0 m, $\times 80$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 3 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-4a, depth of 302.0 m, $\times 80$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 4 – Sarcopterygii indet. Specimen №69/5-1b, depth of 310.5 m, $\times 40$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 5 – *Strunius* sp. Specimen №69/6a-7a, depth of 307.0 m, $\times 110$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 6 – *Strunius* sp. Specimen №69/6a-7b, depth of 307.0 m, $\times 60$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 7 – Onychodontidae gen. indet. Specimen №69/6a-7c, depth of 307.0 m, $\times 65$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 8 – *Dipterus* sp. Specimen №69/4-6a, depth of 302.0 m, $\times 30$, prearticular tooth plate in the oblique top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 9 – *Dipterus* sp. Specimen №69/4-6b, depth of 302.0 m, $\times 45$, prearticular tooth plate in the top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 10 – Onychodontiformes ? indet. Specimen №69/4-3a, depth of 302.0 m, $\times 80$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 11 – Osteolepididae gen. indet. Specimen №69/5-2a, depth of 310.2 m, $\times 30$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 12 – Osteolepididae gen. indet. Specimen №69/5-12, depth of 310.5 m, $\times 50$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 13 – Osteolepididae gen. indet. Specimen №69/5-10, depth of 310.5 m, $\times 60$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 14 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-31, depth of 302.0 m, $\times 120$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 15 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-51, depth of 302.0 m, $\times 100$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 16 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-52, depth of 302.0 m, $\times 100$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 17 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-19, depth of 302.0 m, $\times 90$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 18 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-32, depth of 302.0 m, $\times 65$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 19 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-53, depth of 302.0 m, $\times 120$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 20 – *Strunius* sp. Specimen №69/4-54, depth of 302.0 m, $\times 100$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 21 – Sarcopterygii indet. Specimen №69/4-13, depth of 302.0 m, $\times 50$, tooth, Rechitsa Regional Stage. Figure 22 – Sarcopterygii indet. Specimen №69/4-34, depth of 302.0 m, $\times 50$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage

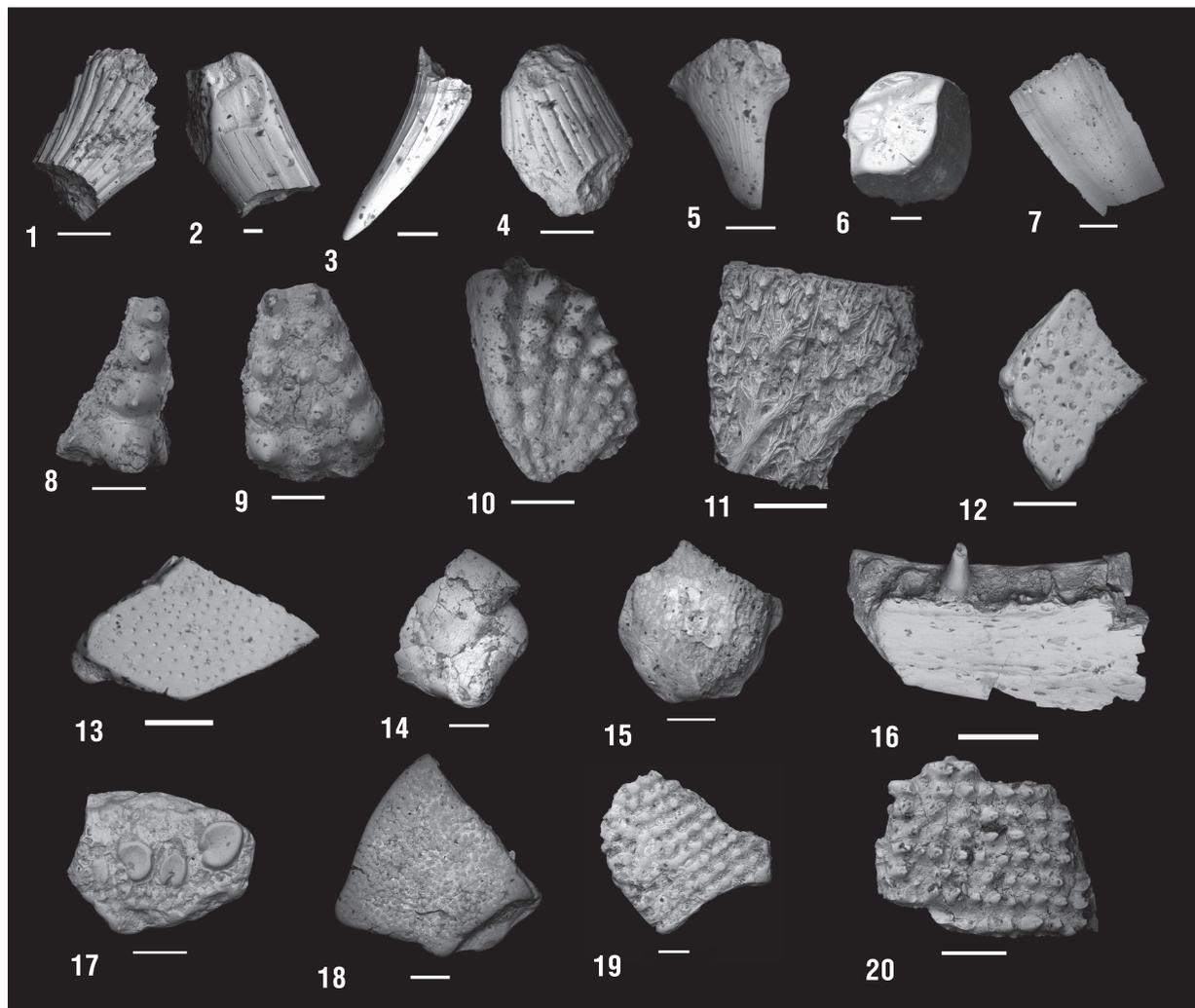


Plate VII. Osteichthyan scales, bones, teeth and jaw fragment from the Uvarovichi 94 borehole. Skeletal elements of the fishes from the Upper Frasnian Substage, Frasnian Stage, Upper Devonian. Scale bar 100 μ m for Figure 2; 200 μ m for Figures 3, 6 and 19; 500 μ m for Figures 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 and 20

Figure 1 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/4-42, depth of 302.0 m, $\times 50$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 2 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/4-48, depth of 302.0 m, $\times 100$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 3 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/4-45, depth of 302.0 m, $\times 85$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 4 – *Rhipidistia* indet. Specimen №69/4-49, depth of 302.0 m, $\times 50$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 5 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/4-11, depth of 302.0 m, $\times 50$, tooth in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 6 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/4-50, depth of 302.0 m, $\times 80$, tooth in the top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 7 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/4-40, depth of 302.0 m, $\times 35$, tooth, Rechitsa Regional Stage. Figure 8 – *Dipterus* sp. Specimen №69/4-15, depth of 302.0 m, $\times 50$, tooth plate fragment in the top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 9 – *Dipterus* sp. Specimen №69/4-12, depth of 302.0 m, $\times 43$, tooth plate fragment in the top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 10 – *Dipterus* sp. Specimen №69/4-16, depth of 302.0 m, $\times 50$, prearticular tooth plate in the top view, Rechitsa Regional Stage. Figure 11 – *Onychodontiformes* ? indet. Specimen №69/4-36, depth of 302.0 m, $\times 50$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 12 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/5-11, depth of 310.5 m, $\times 50$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 13 – *Osteolepididae* gen. indet. Specimen №69/5-13, depth of 310.5 m, $\times 45$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 14 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/5-7a, depth of 310.5 m, $\times 40$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 15 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/5-7d, depth of 310.5 m, $\times 45$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 16 – *Onychodontiformes* indet. Specimen №69/6a-10, depth of 307.0 m, $\times 50$, jaw fragment in the lateral view, Rechitsa Regional Stage. Figure 17 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/6a-9, depth of 307.0 m, $\times 50$, small fragment of an indefinable skeletal element in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 18 – *Sarcopterygii* indet. Specimen №69/5-2c, depth of 310.2 m, $\times 30$, small fragment of an indefinable skeletal element in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 19 – *Sarcopterygii* ? indet. Specimen №69/6a-1e, depth of 307.0 m, $\times 70$, scale fragment (?) in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 20 – *Holoptychius* ? sp. Specimen №69/4-14, depth of 302.0 m, $\times 50$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage

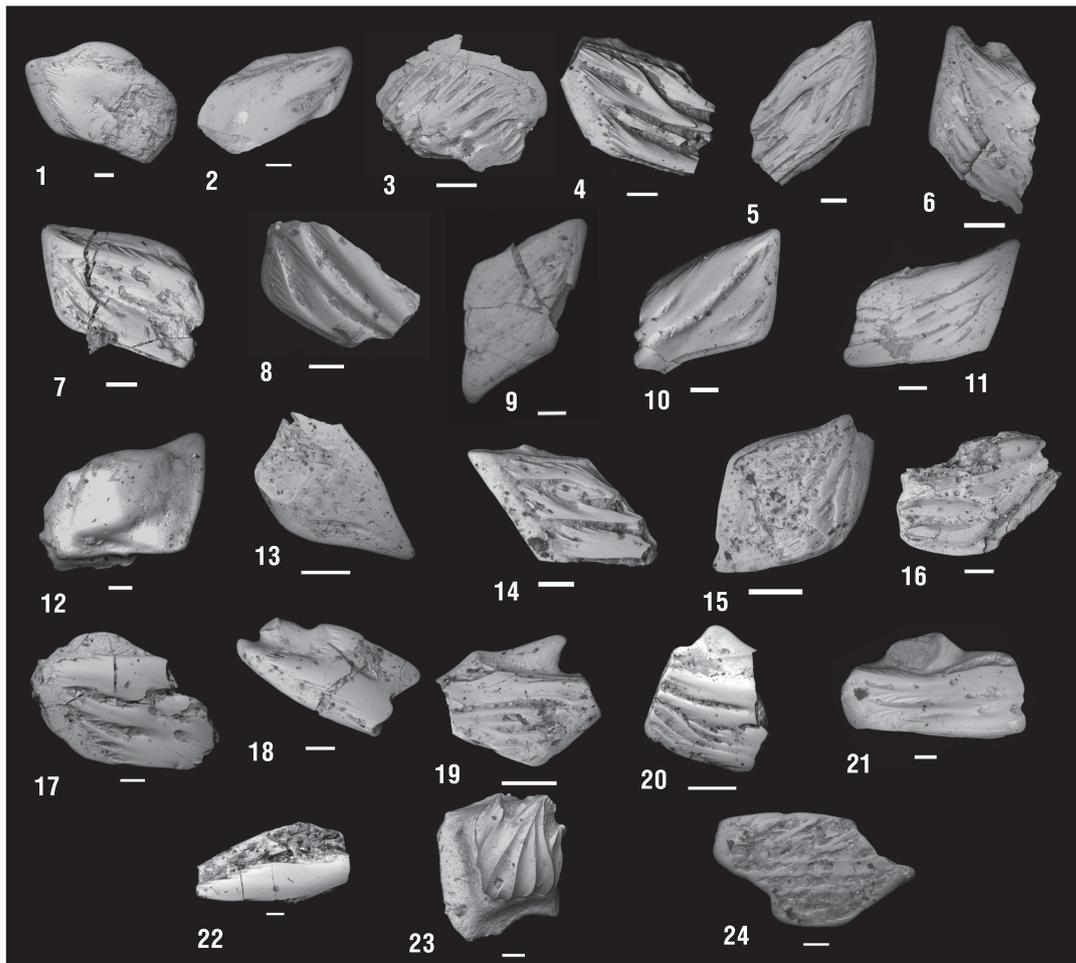


Plate VIII. Osteichthyan scales and an indefinable bone fragment from the Uvarovichi 94 borehole. Skeletal elements of the fishes from the Upper Frasnian Substage, Frasnian Stage, Upper Devonian. Scale bar 100 μ m for Figures 22 and 23; 200 μ m for Figures 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 17, 18, 21 and 24; 500 μ m for Figures 3, 6 and 11; and 500 μ m for Figures 13, 15, 19 and 20

Figure 1 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/6a-1d, depth of 307.0 m, $\times 60$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 2 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/6a-1a, depth of 307.0 m, $\times 60$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 3 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-2d, depth of 310.2 m, $\times 50$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 4 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/4-5a, depth of 302.0 m, $\times 80$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 5 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/4-5b, depth of 302.0 m, $\times 60$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 6 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/6a-4a, depth of 307.0 m, $\times 35$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 7 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-7c, depth of 310.5 m, $\times 70$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 8 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/6a-4g, depth of 307.0 m, $\times 80$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 9 – Actinopterygii indet. Specimen №69/6a-1b, depth of 307.0 m, $\times 55$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 10 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/6a-4c, depth of 307.0 m, $\times 65$, scale in external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 11 – Actinopterygii indet. Specimen №69/5-3a, depth of 310.5 m, $\times 27$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 12 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/6a-4b, depth of 307.0 m, $\times 60$, scale in the internal view, Rechitsa Regional Stage. Figure 13 – Actinopterygii indet. Specimen №69/5-14, depth of 310.5 m, $\times 50$, scale, Rechitsa Regional Stage. Figure 14 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/4-46, depth of 302.0 m, $\times 65$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 15 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-18, depth of 310.5 m, $\times 50$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 16 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-17, depth of 310.5 m, $\times 70$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 17 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-22, depth of 310.5 m, $\times 70$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 18 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-16, depth of 310.5 m, $\times 60$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 19 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-15, depth of 310.5 m, $\times 50$, scale in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 20 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-21, depth of 310.5 m, $\times 50$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 21 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/6a-4d, depth of 307.0 m, $\times 60$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 22 – *Moythomasia* sp. undet. Specimen №69/5-20, depth of 310.5 m, $\times 100$, scale fragment in the external view, Rechitsa Regional Stage. Figure 23 – *Cheirolepis* sp. Specimen №69/4-8c, depth of 302.0 m, $\times 100$, scale in the oblique crown view, Rechitsa Regional Stage. Figure 24 – Osteichthyes indet. Specimen №69/6a-4f, depth of 307.0 m, $\times 60$, small fragment of an indefinable skeletal element in the external view, Rechitsa Regional Stage

The borehole exposed the whole thickness of the deposits of the **Semiluki Regional Stage** (depth of 310.5 – 344.5 m). The lithological, geophysical and palaeontological data available were used to subdivide these deposits into the Moiseyevka and Buinovichi Beds.

The Moiseyevka Beds (depth of 337.2 – 344.5 m) are represented by the light grey crystalline limestones, dark grey marls and clayey limestones with greenish-grey and black clay interbeds. Some large shells of the bivalves and gastropods, as well as the carbonate oolites were determined in the lower part of these beds. The acritarchs were also found in the deposits of these beds. In addition, the rocks contain abundant miospores that were used to justify these beds separation. The miospore assemblage established by V. Yu. Obukhovskaya [11] is represented by *Cristatisporites trivialis* (Naum.), *Geminospora semilucensa* (Naum.), *Archaeozonotriletes variabilis* Naum., *A. variabilis* Naum. var. *insignis* Senn., *Ancyrospora lacinosa* (Naum.), *Acanthotriletes crenatus* Naum., *A. polygamus* Naum., *Verrucosisporites* sp.

The overlying deposits of *the Buinovichi Beds* (depth of 310.5 – 337.2 m) are distinctly divided into three units.

The lower unit (depth of 326.5-337.2 m) is composed of the light grey, clayey, platy, sometimes, unclearly lumpy limestones with isolated grey clay interbeds (2–3 cm thick). The scolecodonts, brachiopods, acritarchs and miospores have been identified among the organic remains in this unit rocks. According to the definitions by V. Yu. Obukhovskaya [11] the latter are represented by *Geminospora semilucensa* (Naum.), *G. rugosa* (Naum.), *G. aurita* Archang., *Archaeozonotriletes variabilis* Naum., *A. variabilis* Naum. var. *insignis* Senn., *Sinuosisporis vermiculatus* (Medyanik), *Hystricosporites* sp.

The middle unit (depth of 318.0 – 326.5 m) is represented by clayey limestones, grey, platy marls, grey and dark grey clays with some few crystalline limestone intercalations. Numerous brachiopods only that had been buried in their lifetime were found in the bottom of this unit.

The upper unit (depth of 310.5 – 318.0 m) is composed of the brownish and light grey, crystalline, pseudobrecciated limestones. The brecciated limestone appearance is due to numerous differently oriented dark grey clay veins and interlayers. The brachiopods, bivalves, gastropods, corals, ichthyofauna remains and miospores were found in the rocks. According to V. Yu. Obukhovskaya [11], some single specimens of *Perotriletes* (?) cf. *multus* Medyanik in litt., *Convolutispora subtilis* Owens appear in the miospore associations of this part of the section along with the prevalence of the inherited species of *Geminospora semilucensa* (Naum.), *Archaeozonotriletes variabilis* Naum., *Cristatisporites trivialis* (Naum.), *Ancyrospora laciniosa* (Naum.).

The deposits of the **Rechitsa Regional Stage** (depth of 278.6 – 310.5 m) are represented by the interbedded variegated clays, greenish-grey marls, replaced by the clayey limestones with brown tuffaceous rock interbeds. The redeposited fragments of the light grey limestone of the Semiluki age with the ostracod valves, shells of gastropods, bivalves, brachiopods, segments of crinoids and rare ichthyofauna remains represented by the tubercle and tessera of *Psammosteus megalopteryx* (Trautschold) occur in the variegated clay bed in the bottom of this Regional Stage. The miospore assemblage of the studied stratigraphic interval includes the species typical of the Rechitsa Regional Stage with one distinctive feature that the miospores of the genus of *Archaeoperisaccus* predominates in the miospore association, which is also characteristic of the Petin deposits of the Voronezh Anticline [11]. The taxonomic composition of the vertebrates found in the rocks of the Rechitsa Regional Stage is quite diverse. The heterostracans are rather abundant there. These are represented by some separate psammosteid dentine tubercles of *Psammosteus* sp. 1, *P. sp. 2*, *P. sp. 3*, *P. sp. 4*, *P. sp. indet.*, *Psammosteidae* gen. indet. and *Psammosteoides* indet. The placoderms are not abundant. These are represented by indefinable plates of *Bothriolepis* sp., *Placodermi* indet., some small fragments of the plates from the pectoral fin of *Bothriolepis* sp. and *Antiarcha* indet. The acanthodians are taxonomically more diverse than the antiarchs, slightly more diverse than the psammosteids, but are less diverse than the sarcopterygians and actinopterygians. These are represented by the scales of *Acanthodes* sp., *A. ? sp.*, *Cheiracanthus* sp., *C. ? sp.*, *Cheiracanthidae ? gen. indet.*, "*Acanthodes*" sp., *Devononchus* sp. and the fin spine fragments of *Haplacanthus* sp., *Acanthodii* gen. indet. The sarcopterygians occur rather often. These are represented by the tooth plates of *Dipterus* sp., *Dipnoi* indet., some discrete scales of *Osteolepididae* gen.

indet., *Glyptolepis* ? sp., *Holoptychius* ? sp., Onychodontiformes ? indet., Sarcopterygii indet., the teeth of *Strunius* sp., Onychodontidae gen. indet., Rhipidistia sp., Sarcopterygii indet. and one jaw fragment of an indefinable fish of Onychodontiformes indet. The actinopterygians are much less abundant than the sarcopterygians. These are represented by some isolated scales of *Cheirolepis* sp., *Moythomasia* sp. undet., Actinopterygii indet. and teeth of Actinopterygii indet. A small skeletal element discovered there was defined as Osteichthyes indet. because of its poor safety and fragmentation. In addition to the vertebrates and miospores, the ostracod valves, shells of bivalves, gastropods, tentaculites, brachiopods, crinoid segments, conodonts and carbonized plant remains were determined in the deposits of this Regional Stage.

Upward the section the deposits of the Rechitsa Regional Stage are overlain with a stratigraphic hiatus by the dark grey, fine and assorted, well-cemented sandstones and fine-grained, indistinctly laminated siltstones of the Jurassic System of the Mesozoic Erathem.

Correlation of the Rechitsa Regional Stage. The deposits of the Rechitsa Regional Stage of the Frasnian Stage of the Upper Devonian occurring in the territory of Belarus correspond to the *Bothriolepis maxima* zone of placoderms [8, 12]. The vertebrate assemblage established in the Uvarovichi 94 borehole together with the miospore evidences make it possible to correlate the Rechitsa deposits with both the same-name sediments developed within the country, and the synchronous deposits in the adjacent regions.

The Snezha Regional Stage is an age analogue of the Rechitsa Regional Stage of Belarus in the territory of the Main Devonian Field [6, 13]. The Rechitsa Regional Stage is correlated with the Petin Regional Stage within the central part of the East European Platform [6, 14, 15] and with the Upper Zolochev subformation – in the Volyn-Podolia territory [16]. As to the correlation of the Rechitsa deposits with the synchronous sediments of Western Europe, further studies are needed to make their correlation more accurate.

Conclusions. 1. The paper presents the data on the ichthyofauna of the Rechitsa age determined in the rocks of the Uvarovichi 94 borehole, as well as the information about all the known occurrences of the Rechitsa age vertebrates in the territory of Belarus.

2. The lithological description of the Rechitsa deposits from the Uvarovichi 94 borehole, as well as of their underlying and overlying sediments is given. The biostratigraphic characteristic of the rocks of the Rechitsa and Semiluki Regional Stages from the above borehole is presented.

3. The correlation of the Rechitsa deposits with the synchronous well-studied deposits in the territory of the Baltic States, Ukraine and Russia is performed.

4. The Rechitsa ichthyofauna data obtained from the Uvarovichi 94 borehole were used for the improvement of its systematic composition in the territory of Belarus.

5. Several vertebrate skeletal elements are demonstrated separately on the plates.

Acknowledgements. The author of the paper expresses his deep gratitude to Dr. C. Burrow (University of Queensland, Queensland, Australia), Prof., Dr. E. Lukševičs (University of Latvia, Riga, Latvia), Dr. A.O. Ivanov (Petersburg State University, St. Petersburg, Russia), Dr. O.A. Lebedev (Orlov Palaeontological Museum of the Borissiak Palaeontological Institute of the Russian Academy of Sciences) and Dr. C. Brian (School of Earth Sciences, The Australian National University, Canberra) for the fruitful discussions of some definitions of the ichthyofauna taxa, as well as is sincerely grateful to V.G. Lugin (Belarusian State Technological University, Center for Physical and Chemical Researches) for the help with the electron microscope photography and to V.G. Filippova for her help in editing the English version of the paper.

References

1. Kruchek S.A. The Devonian system / Geology of Belarus / S.A. Kruchek, A.S. Makhnach, V.K. Golubtsov, T.G. Obukhovskaya // National Acad. Sci. Belarus, Institute of Geological Sciences; Ed. by A.S. Makhnach. – Minsk, 2001. – P. 186–236 (in Russian).
2. Obukhovskaya T.G. The Devonian system / Stratigraphic Chart of the Precambrian and Phanerozoic deposits of Belarus: Explanatory Note / T.G. Obukhovskaya, S.A. Kruchek, V.I. Pushkin, N.S. Nekryata, D.P. Plax, T. Ph. Sachenko, V. Yu. Obukhovskaya, S.V. Antipenko. – Minsk: State Enterprise "BelNIGRI", 2010. – P. 98–114 (with Stratigraphic Chart of the Devonian deposits of Belarus in 2 sheets) (in Russian).

3. Stratigraphic and palaeontological investigations in Byelorussia / V. K. Golubtsov [et al.]. – Minsk: Nauka i Tekhnika Publ., 1978. – 248 p. (in Russian).
4. *Golubtsov V. K.* Complexes of the organic remains of the Devonian deposits of Byelorussia / V. K. Golubtsov, G. I. Kedo, V. I. Avkhimovich, E. K. Demidenko, S. A. Kruchek, L. S. Linnik, N. S. Nekryata, T. G. Obukhovskaya, V. I. Pushkin // New data on the stratigraphy of Byelorussia. – Minsk, 1981. – P. 45–68 (in Russian).
5. *Uriev I. I.* Rechitsa Regional Stage of the Pripjat Trough: structure and age from the vertebrate evidences / I. I. Uriev, J. J. Valiukevičius, V. N. Karatajūtė-Talimaa // Doklady Akademii Nauk Belorussii. – 1992. – Vol. 36, №5. – P. 457–460 (in Russian).
6. *Esin D.* Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Carboniferous in the East European Platform / D. Esin, M. Ginter, A. Ivanov, E. Lukševičs, V. Avkhimovich, V. Golubtsov, L. Petukhova // Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project). – V. 223. – 2000. – P. 341–359.
7. *Plaksa D. P.* Stratigraphy of the Middle and Upper Devonian deposits in the southeast of Belarus (results of the ichthyofauna study) / D. P. Plaksa // Lithosphere – 2006. – №2 (25). – P. 25–36 (in Russian with Belarusian and English summaries).
8. *Plaksa D. P.* Devonian (Late-Emsian – Frasnian) fish fauna of Belarus and its stratigraphic importance / D. P. Plaksa. – Theses for a Doctor Degree. Institute of Geochemistry and Geophysics of the National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2007. – 23 p. (in Russian with Belarusian and English summaries).
9. *Plax D. P.* Devonian fish fauna of Belarus / D. P. Plax // Lithosphere. – 2008. – №2 (29). – P. 66–92 (in Russian with Belarusian and English summaries).
10. *Plax D. P.* Vertebrates from the Rechitsa deposits of the Upper Devonian within the territory of Belarus / D. P. Plax // Proc. 12th Int. Sci. and Tech. Conf. «Science for Education, Production and Economy Purposes»; B. M. Khroustalev, F. A. Ramaniuk, A. S. Kalinichenko [eds.]. – Minsk: Belarusian National Technical University, 2014. In 4 volumes. Volume III. – P. 31–32 (in Russian).
11. *Obukhovskaya V. Yu.* Stratigraphy of the Frasnian deposits in the North-Pripjat Trough Shoulder and the adjacent structures / V. Yu. Obukhovskaya, T. Ph. Sachenko, S. A. Kruchek // Lithosphere. – 2007. – №1 (26). – P. 29–39 (in Russian with Belarusian and English summaries).
12. *Plaksa D. P.* Introduction of the vertebrate zonal scales into the Stratigraphic Chart of the Devonian deposits of Belarus / D. P. Plaksa // Doklady Acad. Nauk Belarusi. – 2008. – Vol. 52, №4. – P. 83–88 (in Russian).
13. The Devonian and the Carboniferous of the Baltic States / V. S. Sorokin, L. A. Lyarskaya, A. S. Savvaitova et al. – Riga: Zinātne Publ., 1981. – 502 p. (in Russian).
14. The Devonian of the Voronezh Anticline and the Moscow Syncline // G. D. Rodionova, V. T. Umnova, L. I. Kononova et al. – Moscow, 1995. – 265 p. (in Russian).
15. *Obrucheva O. P.* Fishes of the Central Devonian Field / O. P. Obrucheva, Ye. D. Obrucheva // Sketches on the phylogeny and systematics of the extinct fishes and agnathans. – Moscow, 1977. – P. 24–28 (in Russian).
16. Stratigraphic Charts of the Phanerozoic deposits of Ukraine to the geological maps of the new generation. – Kiev, 1993 (in Russian).

Поступила 18.09.2018

ISSN 1810-9810 (Print)

УДК: 595.371.13/.15.574.91 (476)

А. И. Макаренко

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: amakarenko198989@mail.ru*

ПРОГНОЗ ВСЕЛЕНИЯ И КОЛОНИЗАЦИИ ВОДОТОКОВ БЕЛАРУСИ ЧУЖЕРОДНЫМИ ВИДАМИ АМФИПОД

На основании анализа распространенности 9 чужеродных видов амфипод (Amphipoda) в водотоках на территории Беларуси в период с 2007 по 2017 г. установлены скорости распространения, которые возможно использовать для прогностических целей. Приведенные скорости отличаются как между видами и в разных реках, так и от литературных сведений, что объясняется влиянием на процесс расселения биотических особенностей этих видов, факторов среды обитания и способа расселения. По многолетним данным и полученным скоростям распространения чужеродных видов разноногих ракообразных на территории Беларуси рассмотрены возможные пути их расселения по основным рекам: Сож, Днепр, Березина, Свислочь, Птичь, Уборть, Неман, Ясельда и Мухавец. На основании встречаемости чужеродных видов амфипод в соседних государствах рассмотрены потенциальные агрессоры, которые могут проникнуть в обозримом будущем, ввиду того что их ареалы находятся вблизи границ нашего государства или есть другие причины, способствующие их проникновению. Установлены основные направления и реки, по которым будет происходить вселение новых чужеродных видов амфипод: Западная Двина, Днепр, Сож, Припять, Неман и Вилия.

Ключевые слова: чужеродные виды ракообразных, амфиподы, распространение, реки, скорость распространения, пути возможного проникновения

A. I. Makaranka

*Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences for Bioresources, Minsk, Belarus,
e-mail: amakarenko198989@mail.ru*

FORECAST OF IMMIGRATION AND COLONIZATION OF BELARUS WATERCOURSES BY AMFIPOD ALIEN SPECIES

Based on the analysis of the prevalence of 9 alien species of amphipods (Amphipoda) in watercourses in Belarus in the period from 2007 to 2017, the rates of distribution were established. The rates can be used for prognostic purposes. The given speeds differ both between species and in different rivers, and from literary data, which is explained by the settlement influence of these species' biotic features, environmental factors and methods of settlement on the process. According to the long-term data and obtained propagation rates of alien species of different-legged crustaceans on the territory of Belarus, possible ways of their settlement along the main rivers have been considered: the Sozh, the Dnieper, the Berezina, the Svisloch, the Ptich, the Ubor, the Neman, the Yaselda and the Mukhavets. Based on the occurrence of alien amphipod species in neighboring states, potential aggressors who may penetrate in the foreseeable future have been considered, due to the fact that their ranges are near the borders of our state or there are other reasons contributing to their penetration. The main directions and rivers along which the introduction of new alien species of amphipods will be established, are: the Western Dvina, the Dnieper, the Sozh, the Pripyat, the Neman and the Vilia.

Keywords: alien species of crustaceans, amphipods, distribution, rivers, speed of propagation, ways of possible penetration

A. I. Makaranka

*Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,
e-mail: amakarenko198989@mail.ru*

ПРАГНОЗ УСЯЛЕННЯ І КАЛАНІЗАЦЫІ ВАДАЦЕКАЎ БЕЛАРУСІ ЧУЖАРОДНЫМІ ВІДАМІ АМФІПОД

На падставе аналізу распаўсюджанасці 9 чужародных відаў амфіпод (Amphipoda) у вадацэках на тэрыторыі Беларусі за перыяд з 2007 па 2017 г. устаноўлены хуткасці распаўсюджвання, якія магчыма выкарыстоўваць для прагнастычных мэтай. Прыведзеныя хуткасці адрозніваюцца як паміж відамі і ў розных рэках, так і ад літаратурных звестак, што тлумачыцца ўплывам на працэс рассялення біятычных асаблівасцей гэтых відаў, фактараў асяроддзя пражывання і спосабу рассялення. Па шматгадовых дадзеных і атрыманых хуткасцях распаўсюджвання чужародных відаў рознаногіх ракападобных на тэрыторыі Беларусі разгледжаны магчымыя шляхі іх рассялення па асноўных рэках: Сож, Днепр, Бярэзіна, Свіслач, Пціч, Убарць, Нёман, Ясельда і Мухавец. На падставе сустракаемасці чужародных відаў амфіпод ў суседніх дзяржавах, разгледжаны патэнцыяльныя агрэсары, якія могуць пранікнуць у агляднай будучыні, з прычыны таго што іх арэалы знаходзяцца паблізу граніц нашай дзяржавы ці ёсць іншыя прычыны, якія спрыяюць іх пранікненню. Устаноўлены асноўныя напрамкі і рэкі, па якіх будзе адбывацца ўсяленне новых чужародных відаў амфіпод: Заходняя Дзвіна, Днепр, Сож, Прыпяць, Нёман і Вілья.

Ключавыя словы: чужародныя віды ракападобных, амфіподы, распаўсюджванне, рэкі, хуткасць распаўсюджвання, шляхі магчымага пранікнення

Введение. Для Беларуси началом целенаправленных исследований разноногих ракообразных (Amphipoda) необходимо считать 2006–2007 гг., когда появляются работы по регистрации чужеродной фауны [1–4], исходным ареалом для которой являлись устья рек Понто-Каспийского региона [5]. В перечисленных публикациях приводится распространение в основных водотоках и регистрация новых видов. Так, по мнению [2, 6], скорости распространения или колонизации новых местообитаний являются ключевым моментом при построении прогностических сценариев и оценке рисков от вселения чужеродных видов.

На современном этапе исследований установлено наличие в водных экосистемах Беларуси 9 чужеродных видов разноногих ракообразных Понто-Каспийского комплекса [1, 2, 7]: *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1899), *Echinogammarus trichiatus* (Martynov, 1932), *Chelicorophium curvispinum* (G. O. Sars, 1895), *Chelicorophium robustum* (G. O. Sars, 1895), *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841), *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), *Obesogammarus crassus* (G. O. Sars, 1894), *Obesogammarus obesus* (G. O. Sars, 1896) и *Pontogammarus robustoides* (G. O. Sars, 1894) [7], которые относятся к 3 семействам: Corophiidae, Gammaridae и Pontogammaridae.

В дальнейшем следует ожидать новых инвайдеров, так как существуют многочисленные виды Понто-Каспийского региона [8], которые были объектами интродукции [8–10] в целях расширения кормовой базы водоемов [5, 9–11], и к настоящему времени успешно натурализовавшиеся [8] в соседних странах и Беларуси. Известно, что наиболее вероятными маршрутами вселения чужеродной фауны служат трансграничные участки рек [12].

Цель работы – на основании современных данных установить скорости распространения и составить прогноз дальнейшей колонизации чужеродными видами водоемов Беларуси.

Материалы и методы исследования. В ходе проведения исследования в период 2011–2017 гг. были обследованы речные бассейны Днепра, Припяти, Немана, Западной Двины и Западного Буга, которые находились на территории Республики Беларусь в 6 областях и их приграничных районах. Отобраны пробы в основных водотоках и водоемах Беларуси: Мухавец, Пина, Припять, Днепр (ниже), Неман, Сож, Западная Двина, Западный Буг, Днепро-Бугский канал и др., а также в озерных комплексах Браславского, Ушачского, Верхнедвинского и других районов Витебской области. Наряду с крупными водотоками и водоемами включались притоки второстепенного значения и канализированные системы, имеющие прямую или косвенную связь с ними. В общей сложности было исследовано 342 места отбора проб, среди которых 156 характеризовались отсутствием как чужеродных, так и нативных видов амфипод, либо численностью особей низкой для обнаружения при разовых сборах. На 138 обнаружены нативные виды, 48 характеризовались присутствием чужеродных видов амфипод.

Отбор проб для оценки многолетних изменений производили в летнее время, руководствуясь рекомендованными для данных гидробиологических исследований методами [13, 14]. Для более полного анализа интерпретируемых данных на некоторых створах дополнительно отбирали качественные и количественные пробы макрозообентических сообществ.

Расчет скоростей распространения чужеродных видов амфипод производился как для территории Беларуси между локальными точками за короткий промежуток времени, так и с учетом их продвижения от их исконного места интродукции.

Частично был использован коллекционный материал, хранившийся в лабораториях гидробиологии ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» за 2008 и 2010 гг. Также анализировались пробы Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за 2012 г., любезно предоставленные И. Г. Тищиковым. В общей сложности автором в приведенной работе определено 19 869 особей, а также 976 ювенильных особей, у которых не представлялось возможным определить видовую принадлежность.

Результаты и их обсуждение. На основании литературных источников [5, 15] исходным местом первоначального распространения для *C. curvispinum* в р. Неман является Каунасское водохранилище, куда он был вселен в интродукционных целях в 1961 г. Распространение ви-

дов *C. curvispinum*, *D. haemobaphes*, *O. crassus*, *E. ischnus*, *D. villosus*, *P. robustoides*, *O. obesus* и *C. robustum* в реках Припять, Днепр и их притоках происходит из Киевского водохранилища, куда они были вселены в 1965 г. [12, 16–18].

Исходя из анализа ранее проведенных исследований, изложенных в некоторых литературных источниках [1–3, 19, 20 и др.], и собственных полевых наблюдений, можно вычислить скорости распространения чужеродных видов между отдельными створами по основным белорусским водотокам, за исключением рек Сож, Березина и Горынь, где использованы только собственные данные. Таким образом, для чужеродных видов рассчитаны их средние скорости распространения как между отдельными створами, так и относительно первоначальных мест интродукции (табл. 1).

Так, по состоянию на 2008 г. [1] крайней точкой регистрации *C. curvispinum* в р. Днепр служили окрестности г. Речицы. Тогда как в 2015 г. он был обнаружен в месте впадения р. Березины (д. Горваль), что на 30 км выше по течению данной реки. Скорость распространения в данном водотоке составила 4,2 км/год. После его обнаружения в р. Березине и продвижении за 7 лет по р. Днепр расстояние составило 139 км, скорость распространения равнялась 19,9 км/год. В 2015 г. данный вид обнаружен в Пине и Днепро-Бугском канале, хотя ранее не был отмечен. Последней точкой его регистрации в р. Припять считался п.г.т. Микашевичи, где он отмечался

Т а б л и ц а 1 □ Скорости распространения чужеродных видов амфипод в различных водотоках Беларуси

Вид	Водоток, река	Скорость вверх по течению, км/год		Скорость по течению, км/год	
		в РБ	относительно места первого вселения	вверх	вниз
<i>C. curvispinum</i>	Березина	19,9	8,0	17,0 [2, 6] р. Маас	44 [21] р. Рейн
	Днепр	4,2	5,8		
	Неман	42,5	5,4		
	Припять	49,3	9,0		
	Сож	–	6,1		
Среднее		29,0	6,9		
<i>D. haemobaphes</i>	Березина	21,9	9,1	22,5 [6] р. Маас	129,5 [6] р. Маас
	Горынь	7,3	8,5		
	Днепр	2,3	11,5		
	Сож	18,7	7,9		
Среднее		12,6	9,3		
<i>O. crassus</i>	Горынь	19,0	9,6	–	–
	Днепр	65,0	11,1		
	Припять	17,6	9,7		
	Сож	5,0	6,1		
Среднее		26,7	9,1		
<i>E. ischnus</i>	Горынь	10,2	8,9	–	–
	Днепр	7,5	5,8		
	Сож	5,0	5,8		
Среднее		7,6	6,8		
<i>D. villosus</i>	Днепр	7,5	5,8	30–40 [2, 6] р. Маас	30–60 [6] р. Маас 112 [21] р. Рейн
	Сож	18,7	7,9		
Среднее		13,1	6,9		
<i>P. robustoides</i>	Припять	19,6	2,8	1,8 [22] р. Западная Двина	–
	Сож	5,0	5,7		
Среднее		12,3	4,3		
<i>O. obesus</i>	Сож	5,0	5,7	35 [21] р. Рейн	130 [21] р. Рейн
<i>C. robustum</i>	Припять	19,6	2,8	–	–

начиная с 2008 [1] по 2012 г. Этот вид продвинулся за 3 года на расстояние 148 км, так как в 2012 г. он еще не регистрировался в 65 км от п.г.т. Микашевичи вблизи д. Коробье. Таким образом, на данном участке *S. curvispinum* продвигался со скоростью 49,3 км/год. Относительно р. Неман, то в 2008 [1] и в 2012 гг. не выявлен в районе п. Гожа, но уже в 2014 г. этот вид присутствовал у д. Лунно, проделав путь длиной в 85 км со средней скоростью 42,5 км/год.

Относительно Киевского водохранилища *S. curvispinum* продвинулся в р. Днепр за 50 лет на 290 км (д. Горваль), то есть со скоростью 5,3 км/год; в р. Березина – на 400 км (д. Панюшковичи) со средней скоростью 8,0 км/год; в р. Припять – на 450 км (д. Дубой) со средней скоростью 9,0 км/год. В р. Неман его продвижение от Каунасского водохранилища составило 294 км (п. Гожа) за 54 года, то есть средняя скорость равнялась 5,4 км/год.

В р. Припять в 2014 г. было отмечено появление новых местообитаний для видов *S. robustum* и *P. robustoides* вблизи г. Наровли. До этого они регистрировались в р. Днепре только в районе д. Нижние Жары в 2008 [1] и в 2011 гг. недалеко от места впадения р. Припяти в Днепр, расстояние, по водным путям преодоленное видами, составляет 137 км, что равняется скорости их передвижения 19,6 км/год в данном водотоке. Расстояние, пройденное ими за 49 лет из Киевского водохранилища по р. Припять (г. Наровля), не столь велико и равняется для *S. robustum* и *P. robustoides* 2,8 км/год.

Определить миграционную активность вида *D. haemobaphes*, который полностью колонизировал белорусские водотоки на всем их протяжении, возможно только на участке р. Днепр в Могилевской области, реки Березина и Горынь, так как ранее он отмечен был на всех исследованных створах [1, 2]. Так, в работе [2] указывается, что крайней точкой регистрации *D. haemobaphes* в р. Днепре по состоянию на 2006 г. является д. Стайки. В 2014 г. этот чужеродный представитель отловлен ниже г. Могилева у д. Буйниччи, что на 18 км выше от прежнего местонахождения вверх по течению. В последующие годы (2015–2017 гг.) не отмечался выше по течению у д. Павловка, ни в самом г. Могилеве. Таким образом, скорость его распространения составила 2,3 км/год в данном водотоке. В р. Березине скорость была значительно выше: с 2006 [2] по 2015 г. преодолел расстояние по руслу в 197 км от г. Речица (р. Днепр) до д. Панюшковичи (р. Березина) со средней скоростью 21,9 км/год. Скорость продвижения по р. Горынь составила 7,3 км/год, если считать, что с 2008 по 2015 г. он продвинулся на 51 км.

От Киевского водохранилища по р. Днепр *D. haemobaphes* за 52 года преодолел расстояние в общей сложности около 600 км (д. Стайки) со средней скоростью 11,5 км/год; для р. Березины за 50 лет расстояние составило 457 км (д. Панюшковичи) со средней скоростью 9,1 км/год. В правом притоке р. Припять – р. Горынь *D. haemobaphes* суммарно преодолел за 50 лет 427 км, двигаясь со скоростью 8,5 км/год.

D. villosus за 2006–2009 гг. в основном отмечается на всех обследованных створах [1, 2]. В 2015 г., он был обнаружен в месте впадения р. Березины в р. Днепр вблизи д. Горваль, что на 30 км выше по течению от предыдущего места обнаружения. Скорость продвижения составила 7,5 км/год, а от места его интродукции на 290 км (Киевское водохранилище) за 50 лет со средней скоростью 5,8 км/год.

Схожая скорость и для *E. ischnus* [1, 2], он был обнаружен в месте впадения Березины в р. Днепр вблизи д. Горваль, преодолев 30 км со скоростью 7,5 км/год. В 2007 г. им были полностью колонизированы основные водотоки [1, 2], за исключением правого притока р. Припять – р. Горынь. В устье этой реки регистрируется с 2008 г. [1], в самой реке *E. ischnus* в 2013 г. уже выше на 51 км у д. Белоуша. Он мигрировал на это расстояние со скоростью 10,2 км/год. *E. ischnus* в р. Днепр (д. Горваль) относительно места его интродукции (Киевское водохранилище) преодолел 290 км за 50 лет со скоростью 5,8 км/год; в р. Горынь за 48 лет – 427 км со скоростью 8,9 км/год.

Большая скорость расселения в р. Днепр отмечена у *O. crassus*. В 2008 г. [1, 2] он был отмечен вблизи г. Речица, тогда как в 2012 г. регистрировался уже вблизи г. Быхова, который удален вверх по течению на 260 км, что соответствует скорости его продвижения вверх по течению 65 км/год. На меньшие расстояния он продвинулся в реках Припять и Горынь. В 2008 г. край-

ней точкой его регистрации в р. Припять считался п.г.т. Микашевичи, а в 2012 г. *O. crassus* был отмечен вблизи д. Коробье, преодолев расстояние 65 км со средней скоростью 16,3 км/год. Уже в 2015 г. он найден в г. Пинске, удаленном от д. Коробье на 58 км, при этом его скорость составила 19,3 км/год. Участок р. Припять протяженностью 123 км *O. crassus* преодолел со скоростью 17,6 км/год. В р. Горынь при расстоянии от ее устья до г. Речица Столинского района в 76 км за период 2008–2012 гг. он продвигался со средней скоростью 19,0 км/год.

Относительно Киевского водохранилища в р. Днепр (г. Быхов) *O. crassus* продвинулся на 520 км за 47 лет со скоростью 11,1 км/год; в р. Припять преодолел 487 км за 50 лет со скоростью 9,7 км/год; в р. Горынь это расстояние составило за 47 лет 452 км со скоростью 9,6 км/год.

Распространение *O. obesus* по состоянию на 2015 г. не подверглось каким-либо изменениям, указанным в литературных источниках с 2008 г. [1, 2]. В ходе исследования также не наблюдалось никакого продвижения вида *E. trichiatus*, относительно исконного створа обнаружения в 2008 г. вблизи д. Нижние Жары.

Приоритетным направлением исследований остается миграционная активность чужеродных представителей амфипод в р. Сож. Каких-либо литературных данных, относительно видового состава в данном водотоке не имеется, за исключением публикации В.В. Вежновца [23], где указываются виды *D. haemobaphes*, *D. villosus*, *O. crassus* и *O. obesus*, но без уточнения мест обнаружения. Однако по неопубликованным данным В.В. Вежновца, уже в 2007–2008 гг. ниже по течению г. Гомеля (р. Сож), в районе п. Ченки, зарегистрированы *D. haemobaphes* и *D. villosus*, но не приводятся иные чужеродные виды, зарегистрированные в 2012 г. *O. crassus*, *O. obesus*, *P. robustoides* и *E. ischnus* [12].

Таким образом, из описанного выше *D. haemobaphes* и *D. villosus* уже присутствовали в районе п. Ченки в 2008 г., а иные виды находились значительно ниже по течению. Исходя из их средних миграционных скоростей (14,9 км/год), они должны были наблюдаться на участке р. Сож (д. Хоминка–д. Шарпиловка), что на 60 км ниже по течению г. Гомеля. Подтверждением служит их обнаружение в 2012 г. выше г. Гомеля в районе д. Кленки. Так, можно считать, что *D. haemobaphes* и *D. villosus* с 2008 по 2014 г. продвинулись выше по течению р. Сож на 112 км со средней скоростью распространения 18,7 км/год. *O. crassus*, *O. obesus*, *P. robustoides* и *E. ischnus*, найденные в 2015 г. ниже г. Ветка, преодолели за 3 года около 15 км со средней скоростью 5 км/год.

Относительно Киевского водохранилища *C. curvispinum*, *D. haemobaphes*, *O. crassus*, *E. ischnus*, *D. villosus*, *P. robustoides* и *O. obesus* в р. Сож продвинулись на 299 км (г. Ветка, 2014 г.), 377 км (д. Вознесенский, 2013 г.), 297 км (г. Ветка, 2014 г.), 289 км (д. Песчаный Берег, 2015 г.), 377 км (д. Вознесенский, 2013 г.), 280 км (д. Кленки, 2014 г.) и 277 км (г. Гомель, 2014 г.) соответственно. В итоге их средняя скорость составила, км/год: *C. curvispinum* – 6,1, *D. haemobaphes* – 7,9, *O. crassus* – 6,1, *E. ischnus* – 5,8, *D. villosus* – 7,9, *P. robustoides* – 5,7 и *O. obesus* – 5,7.

Наибольшими скоростями распространения в белорусских водотоках обладают *C. curvispinum*, *O. crassus* и *C. robustum* относительно мест их первоначального вселения *D. haemobaphes* и *O. crassus*. По литературным сведениям [2, 6, 21], лидируют *D. haemobaphes* и *D. villosus*. Согласно [21], *O. obesus*, обладая быстрыми темпами расселения по рекам, способен продвигаться до 130 км/год вниз по течению. Но в наших водотоках его скорость составляет 5,7 км/год. Скорость распространения *P. robustoides* вверх по течению, по сравнению с литературными данными [22], превышает таковую в 2,4 раза для р. Даугавы. Вероятнее всего, в р. Припять он начал активное расселение ввиду изменившихся биотических условий, либо повышения минерализации в среднем течении.

Рассчитанные средние скорости продвижения чужеродных видов (см табл. 1) значительно различаются (здесь и далее по тексту нижний индекс – средняя скорость распространения км/год), которые представлены следующим рядом по убыванию:

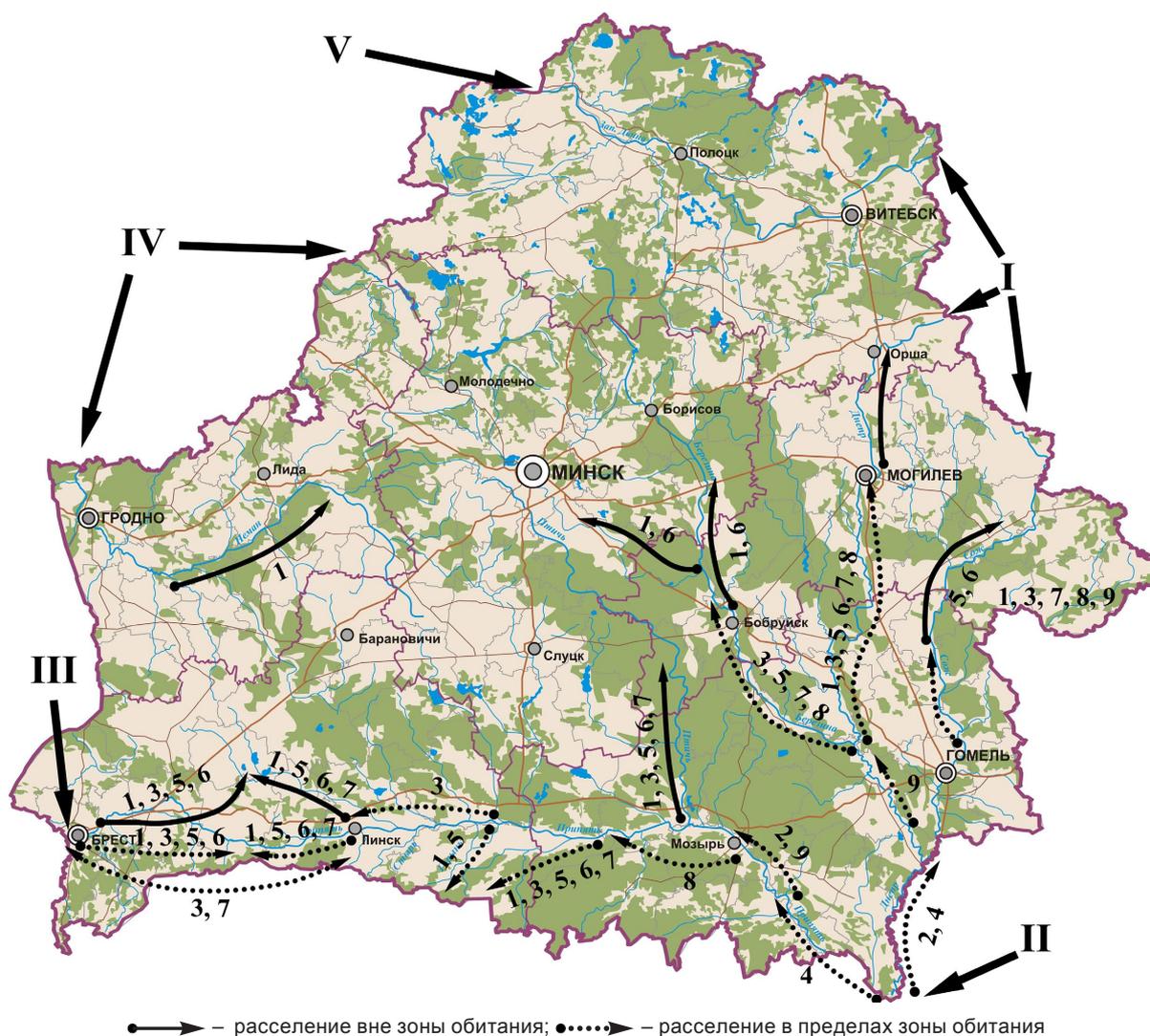
$$C. curvispinum_{29,0} > O. crassus_{26,7} > C. robustum_{19,6} > D. villosus_{13,1} > D. haemobaphes_{12,6} > P. robustoides_{19,6} > E. ischnus_{7,6} > O. obesus_{5,0}$$

Данные отличия в основном обусловлены тем, что на территории Беларуси скорости распространения чужеродных видов между створами по основным белорусским водотокам вызваны в основном рекреационной активностью и рыболовством и относятся к короткому временному промежутку. Таким образом, они не являются достаточно достоверными для определения средней скорости расселения видов. Наиболее точные показатели дают расчеты, которые отталкиваются от нативного ареала либо от мест их интродукции. Они учитывают как естественное расселение чужеродных видов, так и рекреационную активность, и рыболовство за промежутки времени от интродукционных работ, либо естественного расселения:

$$D. haemobaphes_{9,3} > O. crassus_{9,1} > D. villosus_{6,9} \geq C. curvispinum_{6,9} \geq E. ichnus_{6,8} > O. obesus_{5,7} > P. robustoides_{4,3} > C. robustum_{2,8}$$

На основании изучения многолетних данных чужеродных видов разноногих ракообразных на территории Беларуси необходимо рассмотреть их расселение за пределы, но и внутри «границы» их распространения (рисунок).

Основными реками, по которым будет наблюдаться продвижение, являются: Сож, Днепр, Березина, Свислочь, Птичь, Уборть, Неман, Ясельда и Мухавец (нижнее течение: реки Муха



Прогноз расселения существующих и возможные пути проникновения новых чужеродных видов на территории Беларуси: 1 – *C. curvispinum*; 2 – *C. robustum*; 3 – *E. ichnus*; 4 – *E. trichiatus*; 5 – *D. villosus*; 6 – *D. haemobaphes*; 7 – *O. crassus*; 8 – *O. obesus*; 9 – *P. robustoides*

и Вец). Причем распространение амфипод в реках Сож, Днепр, Березина, Неман и притоках будет происходить против течения. Тогда как в реках Птичь, Свислочь, Ясельда и Мухавец расселение может идти в обоих направлениях. В крупных притоках рек, где имеется множество чужеродных видов амфипод, появится аналогичный видовой состав. Поэтому при заселении следует ожидать большего разнообразия этих видов в реках Птичь, Ясельда и Мухавец.

Наибольшей колонизации подвергнутся малозаселенные участки среднего течения рек Сожа, Днепра и Березины. В пределах нижнего течения р. Днепра, активного расселения происходить не будет, так как здесь встречается большинство зарегистрированных чужеродных видов. На всем протяжении р. Припяти в общей сложности будет продвигаться до пяти чужеродных видов амфипод. Среди притоков средней Припяти наибольшей инвазии подвергнется р. Уборть, которая заселена только в устьевой части, тогда как р. Горынь колонизирована на всем протяжении белорусского течения. Особый интерес представляет участок от г. Пинска до г. Бреста. Здесь не наблюдается чужеродных видов амфипод, за исключением д. Дубой, удаленной от г. Пинска на 20–25 км. Отсутствие чужеродных видов амфипод в самом канале, вероятно, объясняется слабым течением и предпочтением лентических систем. В отдельные годы на некоторых участках канала у нижнего бьефа гидроэлектростанции вблизи д. Дубой омываемые камни были заселены *C. curvispinum*, *D. haemobaphes* и *D. villosus*.

Между г. Брестом и г. Пинском имеется разница в видовом составе чужеродных видов. Помимо отловленных *C. curvispinum*, *D. haemobaphes* и *D. villosus* в обоих городах, в г. Бресте присутствует *E. ischnus*, но отсутствует *O. crassus*, в г. Пинске ситуация противоположная. Таким образом (рисунок), разница в скором времени должна нивелироваться, а колонизация Днепро-Бугского канала будет проходить со стороны городов Бреста и Пинска. Это обуславливается судоходностью канала в обоих направлениях и наличием множества шлюзов. Популяции амфипод в Днепро-Бугском канале расположатся в определенных районах с наличием большей скорости течения, например после шлюзов и гидроэлектростанций.

На основании встречаемости чужеродных видов амфипод в соседних государствах рассмотрены потенциальные агрессоры (табл. 2), которые могут проникнуть в будущем ввиду того, что их ареалы находятся вблизи границ нашего государства или есть другие причины, способствующие их проникновению. Данные предположения основываются на работе В. П. Семенченко [12], где считается, что появление видов-вселенцев в реках Припять, Днепр, Сож, Мухавец, Неман и др. произойдет в ближайшем будущем. Утверждается [12], что обитающие в Киевском водохранилище *Chaetogammarus warpachowskyi* (G. O. Sars, 1897), *Pontogammarus aralensis* (Uljanin, 1875) [1, 9] могут в скором времени продвинуться выше по течению р. Днепра, как это сделал *Chelicorophium mucronatum* (G. O. Sars, 1895), поднявшись выше Киевского водохранилища [1].

Т а б л и ц а 2. Возможные виды-вселенцы из водоемов трансграничного характера и прилежащих территорий

Страна	Вид	Водоем-донор	Водоем-реципиент	Источник
Российская Федерация	<i>G. fasciatus</i>	оз. Ладожское, оз. Онежское	р. Западная Двина, р. Днепр, р. Сож	[24, 25, 26]
	<i>C. curvispinum</i>	оз. Ладожское	р. Западная Двина, р. Днепр, р. Сож	[32]
	<i>P. robustoides</i>	оз. Ладожское	р. Западная Двина, р. Днепр, р. Сож	[28]
Украина	<i>C. warpachowskyi</i>	р. Днепр (Киевское вдхр.)	р. Припять, р. Днепр	[1, 9, 12, 16–18]
	<i>C. mucronatum</i>	р. Днепр (Киевское вдхр.)	р. Припять, р. Днепр	
	<i>P. aralensis</i>	р. Днепр (Киевское вдхр.)	р. Припять, р. Днепр	
Польша	<i>O. crassus</i>	р. Западный Буг	р. Мухавец	[8, 11, 29, 30]
	<i>P. robustoides</i>	р. Западный Буг	р. Мухавец	
Литва	<i>C. warpachowskyi</i>	р. Неман (Каунасское вдхр.)	р. Неман, р. Виляя	[5, 12, 31]
	<i>P. robustoides</i>	р. Неман (Каунасское вдхр.)	р. Неман, р. Виляя	
	<i>O. crassus</i>	р. Неман (Каунасское вдхр.)	р. Неман, р. Виляя	
Латвия	<i>P. robustoides</i>	р. Западная Двина	р. Западная Двина	[33]

Имеется несколько направлений (рисунок) по которым, согласно [12], будет наблюдаться вторжение чужеродных видов. Часть векторов внедрения амфипод ранее не рассматривались (I, III, V) в литературе. Так, в направлении I существует вероятность проникновения в верхнее течение рек Днепр и Сож (рисунок) байкальского вида амфипод *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) и *C. curvispinum*. Первый вид был интродуцирован в ряд озер и водохранилищ Российской Федерации [12, 24–26] и постепенно расширяет свои границы в южном направлении [25, 26]. Так, в последнее время он уже наблюдается в р. Москве, выше по течению г. Москвы и связанных с ней водохранилищах [32]. Второй же попал туда в результате сброса балластных вод судов [27].

Во II направлении (рисунок) для рек Припять и Днепр потенциальным водоемом, из которого будет происходить миграция видов, является Киевское водохранилище. Это связано как с биологией этих видов, так и со сложившимися абиотическими условиями в реках, где наблюдается повышение общей минерализации [12]. Виды *C. warpachowskyi* и *C. mucronatum* обладают высокой экологической пластичностью, а *P. aralensis* предпочитает воды с повышенным значением минерализации [5, 9, 12].

В Польше существует множество чужеродных видов, часть которых попала туда из Беларуси (через центральный инвазионный коридор), а другая мигрировала по водным путям из Центральной Европы [8, 11, 29, 30]. По последним данным, в пределах водосбора р. Западный Буг находятся виды, которые уже есть на юго-западе территории Беларуси, но еще не достигли р. Мухавец. Таким образом, в III направлении (рисунок) следует ожидать 2 вида амфипод *O. crassus* и *P. robustoides*.

Наибольшее число чужеродных видов водных беспозвоночных может расселиться с территории Литвы в реки Неман и Вилию (направление IV, рисунок). В 70-х годах прошлого столетия для увеличения кормовой базы рыб они были интродуцированы в Каунасское водохранилище [5, 12, 31]. После чего начали расселение вверх по течению рек Неман и Вилия. К тому же *C. curvispinum* уже проник в нижнее течение р. Неман [12].

Учитывая последние публикации латышских коллег [22, 33], *P. robustoides* постепенно продвигается вверх по течению р. Западная Двина (направление V, рисунок), и пока что находится на значительном удалении от приграничных территорий. В низовьях данной реки его ареал ограничен зарегулированным течением Плявинской, Кегумской и Рижской ГЭС. Однако пуск в эксплуатацию Полоцкой и Витебской ГЭС (2017 г.) и планируемых Бешенковичской и Верхнедвинской станций Двинского каскада приведет к зарегулированию стока, изменению уровня режима на значительной части р. Западной Двины. Это в свою очередь повлияет на ситуацию, которая уже сложилась в днепровских водохранилищах после строительства ряда гидроэлектростанций и создания водохранилищ. Таким образом, данные мероприятия значительно ускорят распространение *P. robustoides* вверх по течению.

Заключение. Чужеродные виды амфипод распространяются по водотокам Беларуси с различной скоростью. Установлены средние значения скорости распространения видов на территории Беларуси

$$D. haemobaphes_{9,3} > O. crassus_{9,1} > D. villosus_{6,9} \geq C. Curvispinum_{6,9} \geq E. ichnus_{6,8} > O. obesus_{5,7} > P. robustoides_{4,3} > C. robustum_{2,8}$$

Для 9 чужеродных видов амфипод установлены пути их расселения по основным водотокам Беларуси как в пределах зоны обитания в настоящее время, так и за ее пределы.

Анализ распространения видов амфипод на территории сопредельных государств позволил выявить возможные пути их проникновения на территорию Беларуси. Выделены 5 основных направлений проникновения: I – со стороны Российской Федерации (*G. fasciatus*, *C. curvispinum*, *P. robustoides*); II – со стороны Украины (*C. warpachowskyi*, *C. mucronatum*, *P. aralensis*); III – со стороны Польши (*O. crassus*, *P. robustoides*); IV – со стороны Литвы (*C. warpachowskyi*, *P. robustoides*, *O. crassus*); V – со стороны Латвии (*P. robustoides*).

Благодарность. Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам: В.В. Вежновцу и В.П. Семенченко за оказанную помощь в исследованиях. Работа частично поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, грант №Б18М-094.

Acknowledgement. The author is deeply grateful to colleagues from the Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources: Vezhnavev V.V and Semenchenko V.P. This work partially supported by the BRFFR grant № Б18М-094.

Список использованных источников

1. Checklist of aquatic alien species established in large river basins of Belarus / V.P. Semenchenko [et al.] // Aquatic Invasions. – 2009. – Vol. 4, iss. 2. – P. 337–347.
2. Mastitsky, S. E. Distribution and abundance of Ponto-Caspian amphipods in the Belarusian section of the Dnieper River / S. E. Mastitsky, O. A. Makarevich // Aquatic Invasions. – 2007. – Vol. 2, № 1. – P. 39–44.
3. Макаренко, А.И. Инвазивные виды амфипод в реках Беларуси / А.И. Макаренко // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / Гомел. обл. комитет природ. ресурсов и охраны окр. среды, М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т транс. ; редкол.: О.Г. Акушко [и др.]. – Гомель, 2012. – С. 399–402.
4. Тищиков, Г.М. Таксономический состав и структура сообществ донных макробеспозвоночных бассейнов рек Западный Буг и Нарев / Г.М. Тищиков, И.Г. Тищиков // Использование рек Нарев и Буг в Контексте устойчивого развития: тр. 7-й Нац. науч. конф., Warsaw-Debe, 2005 г. – Warsaw, 2005. С. 175–191.
5. Иоффе, Ц.И. Обогащение кормовой базы для рыб в водохранилищах СССР путем акклиматизации беспозвоночных / Ц.И. Иоффе // Изв. гос. НИИ озерного и речного рыб. хоз-ва. – 1974. – Т. 100. – С. 3–226.
6. Native and exotic Amphipoda and other Pericarida in the River Meuse: new assemblages emerge from a fast changing fauna / G. Janssens [et al.] // Hydrobiologia. – 2006. – Vol. 565, iss. 1. – P. 203–220.
7. 10-year monitoring of alien amphipods in Belarus: state of the art / T. Lipinskaya, A. Makarenko, V. Semenchenko, V. Vezhnavev // Biodiversity J. – 2017. – Vol. 8, iss. 2. – P. 649–651.
8. Grabowski, M. Alien Crustacea in Polish waters – Amphipoda / M. Grabowski, K. Jażdżewski, A. Konopačka // Aquatic Invasions. – 2007. – Vol. 2, iss. 1. – P. 25–38.
9. Чужеродные макробеспозвоночные и рыбы в бассейне реки Днепр / В.П. Семенченко [и др.] // Рос. журн. биол. инв. – 2014. – № 4. – С. 76–96.
10. The profile of a 'perfect' invader – the case of killer shrimp, *Dikerogammarus villosus* / T. Rewicz [et al.] // Aquatic Invasions. – 2014. – Vol. 9, iss. 3. – P. 267–288.
11. Jażdżewski, K. Four Ponto-Caspian and one American gammarid species (Crustacea, Amphipoda) invading Polish waters / K. Jażdżewski, A. Konopačka, M. Grabowski // Contributions to Zoology. – 2002. – Vol. 71, № 4. – P. 115–122.
12. Разработка прогноза расширения ареалов уже проникших чужеродных видов и новых возможных инвазий, основанного на результатах исследований о видовом состоянии, численности, путях и векторах инвазий в водные системы Беларуси, полученных в рамках международных проектов, в целях принятия превентивных мер и снижения рисков для аборигенных сообществ водных экосистем Беларуси : отчет о НИР (заключ.) / ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» ; рук. В.П. Семенченко. – Минск, 2016. – 48 с. – № ГР 20163843.
13. Мордухай-Болтовский, Ф.Д. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / В.И. Митропольский, Ф.Д. Мордухай-Болтовской // Макробентос / АН СССР, Ин-т биологии внутренних вод ; отв. ред.: Ф.Д. Мордухай-Болтовский. – М. : Наука, 1975. – С. 158–178.
14. Вежновец, В.В. Мониторинг водных беспозвоночных / В.В. Вежновец, Ю.Г. Гигиняк, В.И. Разлуцкий // Мониторинг животного мира Беларуси (основные принципы и результаты) / под общ. ред. Л.М. Сушени, В.П. Семенченко. – Минск, 2005. – Гл. 2.1. – С. 33–57.
15. Jażdżewski, K. Native and alien Malacostracan Crustacea along the Polish Baltic Sea coast in the twentieth century / K. Jażdżewski, A. Konopačka, M. Grabowski // Ocean. and Hydrobiol. Stud. – 2005. – Vol. 24, Supl. 1. – P. 175–193.
16. Плигин, Ю.В. Итоги акклиматизации беспозвоночных каспийской фауны в Днепре и его водохранилищах / Ю.В. Плигин, Л.В. Емельянова // Гидробиол. журн. – 1989. – Т. 25, № 1. – С. 3–11.
17. Плигин, Ю.В. Новые данные о расширении ареалов беспозвоночных солоноватоводного комплекса в водохранилищах Днепра / Ю.В. Плигин, С.Ф. Матчинская // Гидробиол. журн. – 2001. – Т. 37, № 6. – С. 36–39.
18. Плигин Ю.В. Беспозвоночные-вселенцы понто-каспийского комплекса в структуре макрозообентоса водохранилищ р. Днепр и их роль в питании рыб / Ю.В. Плигин // Эколого-биологические проблемы вод и биоресурсы: пути решения: Сб. науч. тр. Всерос. конф., Ульяновск, 12-14 нояб. 2007 г. – Ульяновск, 2007. – С. 176–181.
19. Ляхнович, В.П. Материалы по бентосу пойменных водоемов и рек Белорусского Полесья. Сообщение 1. Бентос пойменных водоемов среднего течения реки Припяти, по данным 1949 г / В.П. Ляхнович // Труды комплексной экспедиции по изучению водоемов Полесья / Ляхнович В. П. ; под ред. Г.Г. Винберга. – Минск, 1956. – С. 183–188.
20. Semenchenko, V. Two new invasive Ponto-Caspian amphipods reached the Pripyat River, Belarus / V. Semenchenko, V. Vezhnavev // Aquatic Invasions. – 2008. – Vol. 3, iss. 4. – P. 457–459.
21. The river Rhine: a global highway for dispersal of aquatic invasive species / R.S. E.W. Leuven [et al.] // Biological Invasions. – 2009. – Vol. 11, iss. 9. – P. 1989–2008.
22. Alien *Pontogammarus robustoides* monitoring necessity for estimation its further distribution and impact in Latvian inland waters / J. Paidere [et al.]. / Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем III: Материалы Междунар. конф. / под ред. В.А. Румянцева, И.С. Трифионовой. – СПб.: Свое издательство, 2017. – С. 234–238.
23. Вежновец, В.В. Инвазивные виды ракообразных в водных экосистемах Беларуси / В.В. Вежновец // X Съезд Гидробиологического общества при РАН, Владивосток, 28 сент. – 2 окт. 2009 г. / Владивосток, Дальнаука ; редкол.: Д.С. Павлов [и др.]. – Владивосток, 2009. – С. 65–66.
24. Барков, Д.В. Значение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (stebb.) в структуре макрозообентоса литорали о. Валаам (Ладожское озеро) [Электронный ресурс] / Д.В. Барков, Е.А. Курашов // Электрон. науч. журн. «Исследовано в России». – 2005. – № 79. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/079.pdf>. – Дата доступа: 12.03.2018.

25. Сидорова, А.И. Реакция байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* Stebbing на действие ливневых стоков города Петрозаводска / А.И. Сидорова, Н.М. Калинин, И.В. Дыдик // Труды Карельского науч. центра РАН. – 2012. – №2. – С. 125–130.
26. Курашов, Е.А. Популяционная динамика *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) в Ладожском озере / Е.А. Курашов, Д.В. Барков // Чужеродные виды в голарктике (Борок-2) : Тез. докл. Второго Междунар. симпоз. по изучению инвазивных видов. (Борок, Россия), 27 сент. – 1 окт. 2005 г. / Инс-т биол. внутр. вод Рос. акад. наук, Инс-т пробл. Экологии и эволюции Рос. акад. наук ; редкол.: А.В. Крылов [и др.]. – Борок, 2005. – С. 84–85.
27. Курашов, Е.А. Первое обнаружение понто-каспийской инвазивной амфиподы *Chelicorophium curvispinum* (G.O. Sars, 1895) (Amphipoda, Crustacea) в Ладожском озере / Е.А. Курашов, М.А. Барбашова, В.Е. Панов // Рос. журн. биол. инвазий. – 2010. №3. – С. 62–72.
28. Барков, Д.В. Особенности экологии и биологии байкальской эндемичной амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) в Ладожском озере. Обсуждение полученных результатов по питанию *G. fasciatus* / Д.В. Барков, Е.А. Курашов // Литоральная зона Ладожского озера / Под. ред. Е.А. Курашова. – СПб., 2011. – Гл. 10.3.4.6. – С. 294–350.
29. Grabowski, M. First finding of the Ponto-Caspian gammarid species *Pontogammarus robustoides* and *Dikerogammarus haemobaphes* (Crustacea: Amphipoda) in the post-glacial lake of the Vistula valley / M. Grabowski, K. Baćela // Lauterbornia. – 2005. – Vol. 55. – P. 107–111.
30. Jazdzewski, K. Recent drastic changes in the gammarid fauna (Crustacea, Amphipoda) of the Vistula River deltaic system in Poland caused by alien invaders / K. Jazdzewski, A. Konopacka, M. Grabowski // Diversity and Distributions. – 2004. – Vol. 10, iss. 2. – P. 81–87.
31. Jazdzewski, K. The distribution and local dispersal of ponto-caspian peracarida in Lithuanian fresh waters with notes on *Pontogammarus robustoides* population establishment, abundance and impact / K. Jazdzewski // Oceanological and Hydrobiological Studies. – 2005. Vol. XXXIV, Suppl. 1. – P. 93–111.
32. Чертопруд, М.В. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России / М.В. Чертопруд, Е.С. Чертопруд. – М. : Товарищество науч. изд. КМК, 2011. – 219 с.
33. Paidere, J. Further spread and impact on native crustaceans of the alien gammarid *Pontogammarus robustoides* in the in the Daugava river, 2016 / J. Paidere, A. Brakovska // 9th International conference on biodiversity research, Book of Abstracts, Daugavpils, 226–28 apr. 2017 y. / Daugavpils University Academic Press "Saule"; scien. com. A. Barševskis [et al.]. – Daugavpils, 2017. – P. 73.

Поступила 26.09.2018

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
CLIMATIC RESOURCES
КЛИМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 551.588, 504.054

В. В. Божкова¹, Л. М. Болотько¹, Р. Н. Бурак², Б. Б. Козерук², А. М. Людчик¹, Е. А. Мельник²

¹Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Минск, Беларусь,
e-mail: hamster3991@mail.ru, nomrec@bsu.by, liudchikam@tut.by

²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу
окружающей среды, Минск, Беларусь, e-mail: orap4@pogoda.by, kbb@rad.org.by, liena18@mail.ru

**СУТОЧНЫЙ ХОД КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ
ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ**

Антропогенное загрязнение городского воздуха является серьезной проблемой для многих стран. Безусловно, главную роль в предотвращении загрязнения атмосферы играет сокращение вредных выбросов. Однако немаловажное влияние на содержание загрязняющих веществ в городском воздухе оказывают также и метеорологические условия: в первую очередь ветер, способствующий переносу загрязнений от их источников, и вертикальная устойчивость атмосферы, которая определяет эффективность перемешивания атмосферы в вертикальном направлении, способствующего уменьшению концентраций загрязнений в приземном слое.

С использованием данных мониторинга Белгидромета выявлены существенные особенности влияния метеорологических условий на качество воздуха в городах Беларуси. Установлено, что в течение суток наибольшие концентрации загрязняющих веществ чаще всего регистрируются в утреннее и вечернее время и значительно реже днем. Рост концентраций в утренние часы не зависит от сезона и происходит в одно и то же время, а вечерний пик частоты повышенных концентраций смещается на более позднее время суток при переходе от зимы к лету.

Суточный ход вертикальной устойчивости атмосферы над городами Беларуси показывает в среднем несущественные различия по всей территории страны: устойчивость повсеместно максимальна в ночное время, минимальна в послеполуденное и постепенно увеличивается от лета к зиме. Суточный ход климатической нормы скорости ветра проявляет особенности, похожие на поведение максимумов концентраций загрязняющих веществ: вечером снижение скорости ветра также смещается по времени суток в зависимости от сезона, а утреннее повышение постоянно во времени и не зависит от сезона.

Однако определяющее влияние на появление утреннего и вечернего максимумов загрязнения городского воздуха оказывает интенсивность движения транспорта в светлое время суток. Метеорологические факторы играют существенную роль в формировании этих максимумов, но не главную.

Ключевые слова: антропогенное загрязнение воздуха, метеорологические условия, вертикальная устойчивость атмосферы, климатическая норма скорости ветра, суточный ход

V. V. Bozhkova¹, L. M. Bolotsko¹, R. N. Burak², B. B. Kozeruk², A. M. Liudchik¹, H. A. Melnik²

¹National Ozone Monitoring Research and Education Center of the Belarusian State University, Minsk, Belarus,
e-mail: hamster3991@mail.ru, nomrec@bsu.by, liudchikam@tut.by

²Republican Center for Hydrometeorology, Radiation Control and Environmental Monitoring, Minsk, Belarus,
e-mail: orap4@pogoda.by, kbb@rad.org.by, liena18@mail.ru

**THE DIURNAL VARIATION OF THE CONCENTRATION OF ANTHROPOGENIC AIR POLLUTION
IN THE CITIES OF BELARUS**

Anthropogenic pollution of the urban air is a serious problem for many countries. Naturally, the main factor in the prevention of air pollution is the reduction of harmful emissions. However, the meteorological conditions also have an important effect on the content of pollutants in the urban air. Mainly the wind contributes to the removal of pollution from it. And the vertical stability of the atmosphere, which determines the effectiveness of air mixing in the vertical direction, contributes to a reduction the concentrations of contaminants in the surface layer of the atmosphere.

Using the monitoring data of the Hydrometeorological Center, significant features of weather conditions influence on air quality in Belarusian cities were revealed. It was found that during the day the greatest concentrations of pollutants are most often registered in the morning and evening and much less in the afternoon. Morning rise does not depend on the season and occurs at the same time, and the evening peak of the frequency of increased concentrations shifts to a later time of the day, moving from winter to summer.

The diurnal variation of vertical stability of the atmosphere over the cities of Belarus shows, on average, insignificant differences throughout the country: stability is maximized at night, minimal in the afternoon and gradually increases from summer to winter. The diurnal variation of the climatic normal of wind speed shows features like the behavior of the maximum concentrations of pollutants: in the evening, the decrease in wind speed also shifts by the time of day depending on the season, and the morning increase is constant by time and does not depend on the season.

However, traffic intensification in the daytime influenced on the appearance of the morning and evening peaks of the urban air pollution. Meteorological factors play an important role in the formation of these peaks, but not the main one.

Keywords: anthropogenic air pollution, meteorological conditions, vertical stability of the atmosphere, climatic norm of the wind speed, daily variation

В. У. Бажкова¹, Л. М. Балацько¹, Р. М. Бурак², Б. Б. Казярук², А. М. Людчык¹, А. А. Мельнік²

¹Нацыянальны навукова-даследчы цэнтр маніторынгу азонасферы БДУ, Мінск, Беларусь, e-mail: hamster3991@mail.ru, nomrec@bsu.by, liudchikam@tut.by

²Рэспубліканскі цэнтр па гідраметэаралогіі, кантролю радыеактыўнага забруджвання і маніторынгу навакольнага асяроддзя, Мінск, Беларусь, e-mail: orar4@pogoda.by, kbb@rad.org.by, liena18@mail.ru

СУТАЧНЫ ХОД КАНЦЭНТРАЦЫЙ ЗАБРУДЖВАЮЧЫХ РЭЧЫВАЎ У АТМАСФЕРНЫМ ПАВЕТРЫ ГАРАДОЎ БЕЛАРУСІ

Антрапагеннае забруджванне гарадскога паветра з'яўляецца сур'ёзнай праблемай для многіх краін. Безумоўна, галоўнай роляй у прадухіленні забруджвання атмасферы з'яўляецца скарачэнне шкодных выкідаў. Аднак немалаважны ўплыў на ўтрыманне забруджвальных рэчываў у гарадскім паветры аказваюць таксама і метэаралагічныя ўмовы. Гэта ў першую чаргу вецер, які спрыяе вынасу забруджвання ад іх крыніц, і вертыкальная ўстойлівасць атмасферы, якая вызначае эфектыўнасць перамешвання атмасферы ў вертыкальным кірунку, які спрыяе памяншэнню канцэнтрацый забруджвання ў прыземным слоі.

З выкарыстаннем дадзеных маніторынгу Гідраметэацэнтра выяўлены істотныя асаблівасці ўплыву метэаўмоў на якасць паветра ў гарадах Беларусі. Устаноўлена, што на працягу сутак найбольшыя канцэнтрацыі забруджвальных рэчываў часцей за ўсё рэгіструюцца ў ранішні і вячэрні час і значна радзей днём. Ранішняе павышэнне не залежыць ад сезону і адбываецца ў адзін і той жа час, а вячэрні пік частаты павышаных канцэнтрацый рухаецца на больш позні час сутак пры пераходзе ад зімы да лета.

Сутачны ход вертыкальнай устойлівасці атмасферы над гарадамі Беларусі паказвае ў сярэднім неістотныя адрозненні па ўсёй тэрыторыі краіны: устойлівасць паўсюдна максімальная ў начны час, мінімальная – пасляпаўдзённы і па-ступова павялічваецца ад лета да зімы. Сутачны ход кліматычнай нормы хуткасці ветру праяўляе асаблівасці, падобныя да паводзін максімумаў канцэнтрацый забруджвальных рэчываў: увечары зніжэнне хуткасці ветру таксама рухаецца па часе сутак у залежнасці ад сезону, а ранішняе павышэнне – пастаяннае ў часе і не залежыць ад сезону.

Аднак вызначальны ўплыў на з'яўленне ранішняга і вячэрняга максімумаў забруджвання гарадскога паветра аказвае інтэнсіфікацыя руху транспарту ў светлыя часы сутак. Метэаралагічныя фактары нясуць істотную ролю ў фарміраванні гэтых максімумаў, але усё ж не галоўную.

Ключавыя словы: антрапагеннае забруджванне паветра, метэаралагічныя ўмовы, вертыкальная ўстойлівасць атмасферы, кліматычная норма хуткасці ветру, сутачны ход

Введение. Мониторинг загрязнения приземного воздуха стал актуальным в XX веке и получает все большее распространение в текущем столетии в связи с развитием экологически опасных промышленных производств и транспорта. Во многих публикациях [1–9] отмечается важность учета метеорологических условий при оценке эффективности рассеяния загрязнений, способствующего снижению их концентраций в приземном воздухе. Обычно выделяют три группы метеопараметров, играющих первостепенную роль в очищении атмосферы: скорость и направление ветра, вертикальную устойчивость атмосферы или близкую к ней по физическому содержанию высоту слоя перемешивания (mixery layer height) и температуру воздуха у поверхности земли.

В отношении последнего параметра следует заметить, что температура приземного воздуха непосредственно не связана с эффективностью рассеяния загрязнений. Во-первых, ее повышение не всегда означает усиление термической конвекции (снижение вертикальной устойчивости или увеличение высоты слоя перемешивания), поскольку одним из определяющих факторов рассеяния загрязнений является не сама температура, а ее стратификация в пограничном слое тропосферы (вертикальный градиент температуры [10]), что подтверждается также исследованиями [5, 7, 8]. Во-вторых, повышение температуры способствует генерации

вторичных загрязнителей воздуха и образованию смога. Примерами городов, где эти процессы ярко выражены, являются Лос-Анджелес и Мехико [11]. Для них характерны весьма высокие температуры и концентрации антропогенных загрязнений и, как следствие, высокие концентрации вторичного загрязнителя – приземного озона.

Что касается скорости ветра и вертикальной устойчивости атмосферы, то они являются безусловными «лидерами» в процессе очищения городского воздуха [2, 4–9, 12]. Следует заметить, что относительная эффективность влияния этих метеопараметров зависит от конкретных условий: географического положения города, городского ландшафта и особенностей планировки и архитектуры. Например, в [5] в качестве основного фактора указана вертикальная устойчивость атмосферы, поскольку сильные ветры в Милане, находящемся в окруженной горами долине реки По, крайне редки. Напротив, в качестве главного фактора, обеспечивающего рассеяние загрязнений, в работе [4] определены скорость ветра и его направление.

Воздействие ветра на уровень антропогенного загрязнения воздуха крупного города и сельской местности существенно различается. Для пункта, удаленного от источника антропогенных выбросов загрязняющих веществ, определяющее влияние на качество воздуха оказывает перенос загрязнений вместе с перемещением воздуха от их источника [13]. Однако в городе с интенсивным транспортным движением и крупными промышленными предприятиями, т.е. в месте расположения источника загрязнений, ветер способствует их «выдуванию» и уменьшению концентраций [4]. А термическая конвекция, скорее всего, действует всюду одинаково: чем меньше устойчивость атмосферы, тем быстрее происходит очищение приземного слоя воздуха от загрязнений. Однако, если в месте наблюдений отсутствуют повышенные концентрации загрязнений в приземном воздухе, очевидно, что вертикальное перемешивание не дает никакого эффекта.

В работе [14] на основании статистической обработки наблюдений за несколько прошлых лет получено распределение во времени суток частоты регистрации повышенных концентраций антропогенных загрязнений в областных городах Беларуси. Отмечается высокая корреляция времени появления пиков концентраций всех исследованных загрязнений (углерода оксида, азота оксида и диоксида, летучих органических соединений: бензола, толуола и ксилола). Установлено, что чаще всего повышенные концентрации антропогенных загрязняющих веществ (в 1,5 раза превышающие среднемесячные значения) регистрируются утром и вечером, в то время как днем и ночью вероятность их появления заметно снижается. Эта особенность суточного хода концентраций загрязнений в городах отмечается также и в других публикациях [1, 2, 4, 7], однако в [14] установлено, что первый, утренний пик повсеместно в городах Беларуси приходится на 5 часов по Гринвичу, а время появления второго, вечернего пика загрязнения воздуха зависит от сезона.

На первый взгляд, это время коррелирует с продолжительностью светового дня: зимой оно наступает раньше, весной и летом – значительно позже, а осенью опять смещается на более раннее время. Однако обнаруженная корреляция не может служить объяснением сезонного смещения вечернего пика загрязнений, поскольку не ясны физические механизмы такой зависимости.

Целью данной публикации является установление действительных причин обнаруженной закономерности, скорее всего, обусловленных сезонными изменениями интенсивности источников антропогенных выбросов и/или метеорологическими факторами. Поскольку закономерность носит ярко выраженный статистический характер (повышенные концентрации загрязнений могут появляться в любое время суток, но чаще это происходит утром и вечером), то для ее объяснения следует использовать статистические характеристики влияющих на качество воздуха метеорологических параметров.

Активность источников антропогенных загрязнений воздуха. Концентрация загрязняющих веществ в городском воздухе в первую очередь зависит от интенсивности выбросов местных источников. Поэтому можно ожидать, что именно суточный ход их активности определяет изменение концентраций загрязнений во времени [2, 3, 7]. Имеются убедительные доказательства такого влияния. Например, в работе [3] отмечается заметное снижение загрязненности воздуха в выходные дни, когда интенсивность антропогенных источников снижается.

Основными источниками загрязнений в крупных городах в настоящее время являются автомобильный транспорт, вклад которого в суммарные выбросы составляет свыше 70 %, промышленные предприятия и предприятия теплоэнергетики [15]. Интенсивность выбросов автотранспорта увеличивается утром, выходит на плато в дневное время и снижается с наступлением темного времени суток. Выбросы большинства промышленных предприятий происходят в течение рабочего дня и заканчиваются после 5–6 ч местного времени при работе в одну смену, или в 23–24 ч при двухсменной работе. Небольшое количество предприятий работает круглосуточно. Следовательно, интенсивность источников антропогенного загрязнения городского воздуха снижается в ночное время.

В связи с этим можно предположить, что именно выбросы автотранспорта, интенсивность которых коррелирует в некоторой степени с продолжительностью светового дня, объясняют обнаруженную закономерность. Однако тогда следовало бы ожидать постепенного повышения концентраций загрязнений утром и их снижения к темному времени суток, что на самом деле не происходит. Поэтому необходимо учесть влияние и других факторов.

Результаты мониторинга качества воздуха свидетельствуют о большой зависимости концентраций загрязнений от метеоусловий [14]. В частности, именно дневной «провал» в частоте возникновения повышенных концентраций антропогенных загрязняющих веществ в городском воздухе обязан усилению термической конвекции, способствующей эффективному переносу загрязненного воздуха в более высокие слои тропосферы, и повышению скорости ветра, приводящему к выносу загрязнений за пределы города.

Вертикальная устойчивость атмосферы. Состояние атмосферы (или стратификация), при котором небольшие вертикальные движения в атмосфере развиваются далее, захватывая следующие слои воздуха, называется неустойчивым [10]. Генераторами таких движений являются термическая конвекция, турбулентность и орографические особенности местности при сильном ветре. Наоборот, если начавшиеся движения не развиваются, а затухают, то говорят об устойчивой стратификации. Эти движения более интенсивны при больших вертикальных градиентах температуры $-\partial T/\partial h$ (T – температура, h – высота) и быстро затухают в слоях инверсии и инверсии.

На территории Беларуси измерения вертикального профиля температуры в настоящее время не проводятся. В Белгидромете для оценки величины вертикального градиента температуры в пограничном слое тропосферы используется глобальная численная модель Метеорологического бюро Великобритании UKMO (United Kingdom Meteorological Office) [16]. Исходные данные для расчетов предоставляются с интервалом 6 ч для Северного полушария от 20°W до 70° E в узлах широтно-долготной сетки с шагом 0,53° по долготе и 0,86° по широте, что примерно составляет 60 км в средних широтах, по вертикали – 38 уровней (до 20 гПа). В пограничном слое атмосферы на основании данных UKMO есть возможность оценить вертикальный градиент температуры в двух слоях: от высоты 2 м до уровня давления воздуха 925 гПа и от уровня 925 гПа до 850 гПа (значения давления приблизительно соответствуют высотам 800 и 1500 м).

В качестве параметра, характеризующего эффективность вертикального перемешивания, авторами использовано минимальное значение градиента температуры для двух названных слоев. Такой выбор объясняется тем, что вертикальный обмен сдерживается слоем воздуха, обладающим наибольшей устойчивостью, т.е. наименьшим вертикальным градиентом температуры. Иными словами, не важно, где образовалась температурная инверсия, а важно, что в результате резко тормозятся вертикальные движения, что препятствует перемешиванию приземного воздуха с воздухом из верхних слоев нижней тропосферы и рассеянию загрязнений.

В некоторых других публикациях отдается предпочтение границе высоты слоя перемешивания [2, 6–8]. Хотя эта высота не связана однозначной функциональной зависимостью с определенным выше минимальным градиентом температуры, качественно названные характеристики должны удовлетворительно коррелировать друг с другом, исходя из физических соображений.

Согласно сказанному, чем меньше значение градиента, тем более устойчива атмосфера, тем сильнее заторможены вертикальные движения воздуха. На рис. 1 показан суточный ход верти-

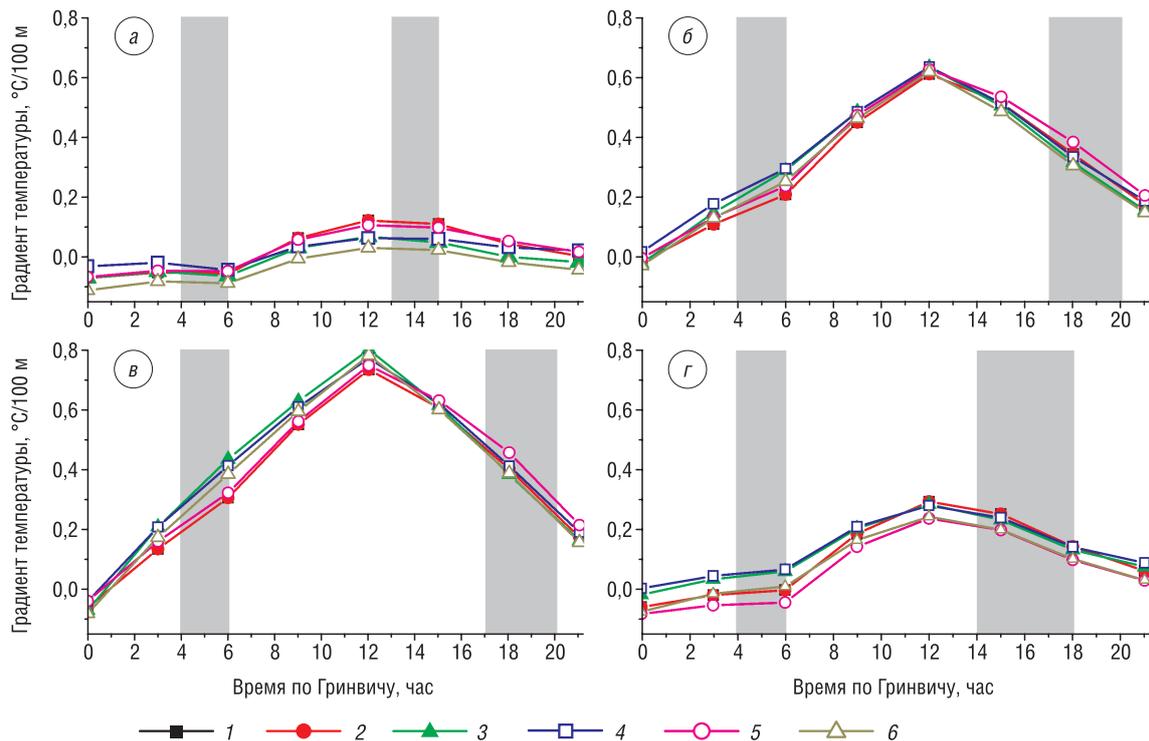


Рис. 1. Средний суточный ход вертикального градиента температуры в пограничном слое тропосферы в разные сезоны: а – зима, б – весна, в – лето, г – осень. 1 – Брест, 2 – Гомель, 3 – Могилев, 4 – Витебск, 5 – Гродно, 6 – Минск. Закрашены интервалы времени, отвечающие наибольшей частоте появления повышенных концентраций антропогенных загрязнений

кального градиента температуры в различные сезоны в областных городах Беларуси. Результаты получены путем усреднения доступных данных расчетов по модели УКМО в каждый из сезонов за 2013–2015 гг. для Минска и Витебска, за 2014–2016 гг. для Гомеля и Гродно и за 2013–2016 гг. для Бреста и Могилева. Видно, что наиболее высока устойчивость атмосферы в зимнее время. При этом она слабо зависит от времени суток. Весной и летом устойчивость повышается в ночные часы и падает в дневное время. Минимум устойчивости (максимум вертикального градиента температуры) обычно наступает в послеполуденное время (около 12 ч по Гринвичу).

В осенний период параметр устойчивости приобретает промежуточное положение между зимними и весенне-летними значениями. Согласно приведенным данным, во все сезоны пики повышенных концентраций загрязнений (серые области на графиках) отвечают пониженным, однако не минимальным (а зимой – даже несколько повышенным) значениям вертикального градиента температуры. Поэтому нельзя утверждать, что именно этот параметр оказывает определяющее влияние на сезонный сдвиг вечернего максимума загрязнений и на постоянство утреннего. Об этом также свидетельствует незначительное изменение градиента в течение суток в зимнее время.

Рис. 1 демонстрирует очень слабую зависимость минимального градиента температуры в пограничном слое тропосферы от региона страны. Одной из вероятных причин можно было предположить низкое пространственное разрешение расчетов, однако анализ ежедневных (неусредненных по длительности сезонов и годам) данных опровергает это предположение: результаты показывают существенную разницу в вертикальном градиенте температуры в зависимости от региона в отдельные дни (рис. 2). Следовательно, близость кривых на рис. 1 является результатом усреднения по совокупности дней и лет. Иными словами, климатические нормы суточного хода вертикальной устойчивости атмосферы почти одинаковы на территории Беларуси, несмотря на возможные существенные различия в вертикальной устойчивости в отдельных регионах в конкретный день конкретного года.

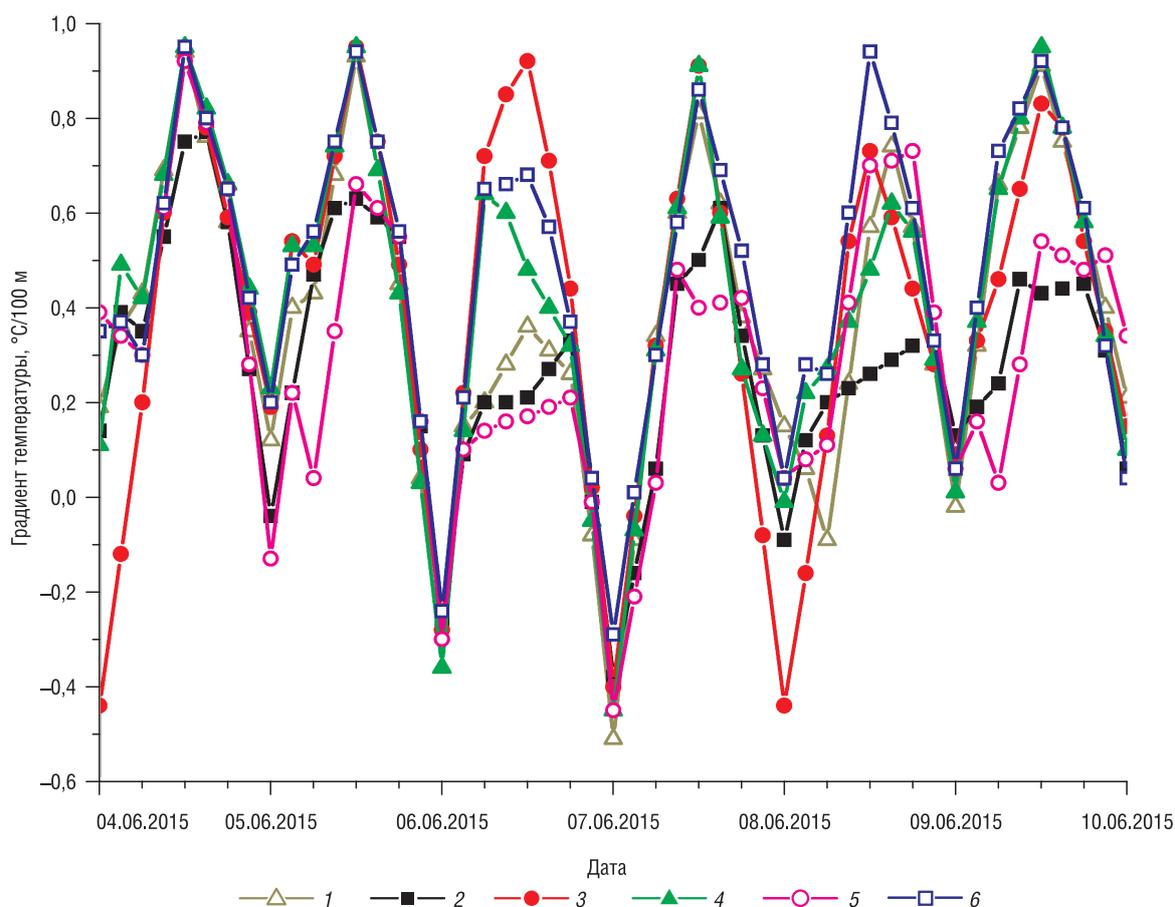


Рис. 2. Суточный ход вертикального градиента температуры в областных городах Беларуси за несколько дней июня 2015 г.: 1 – Брест, 2 – Гомель, 3 – Могилев, 4 – Витебск, 5 – Гродно, 6 – Минск.

Скорость ветра. Динамическая климатическая норма скорости ветра для областных городов Беларуси в зависимости от сезона и времени суток определена в работе [17] на основании данных наблюдений на городских метеостанциях за период 1985–2015 гг. Оказывается, что климатическая норма суточного хода скорости ветра во всех городах, несмотря на различия в абсолютной величине, повсеместно растет в дневное время и снижается к ночи. Так же как и в случае вертикального градиента температуры, зимой эти изменения незначительны, а в другие сезоны весьма существенны.

Таким образом, суточный ход скорости ветра и вертикальной стратификации пограничного слоя тропосферы способствуют рассеянию загрязнений и снижению их концентраций в приземном слое воздуха в дневное время.

Время вечернего пика частоты повышенных концентраций загрязнений следует за сезонным смещением минимума скорости ветра (рис. 3). Кривые построены на даты 15 января, 15 апреля, 15 июля и 15 октября. Заметно, что весной и летом вечернее снижение скорости ветра происходит несколько позже, чем зимой и осенью.

Заключение. С учетом приведенных сведений можно утверждать, что при условии постоянной в течение суток интенсивности источников антропогенных загрязнений повышенная вертикальная устойчивость атмосферы и снижение скорости ветра в ночное время способствуют росту концентраций загрязнений в воздухе в этот период суток.

Однако интенсивность источников достоверно падает ночью и концентрации загрязняющих веществ в воздухе, как показывают наблюдения, действительно снижаются. Поэтому эффекты торможения рассеяния загрязнений проявляются только утром и вечером, когда еще достаточно эффективны причины, их вызывающие, а интенсивность источников уже (утром) или

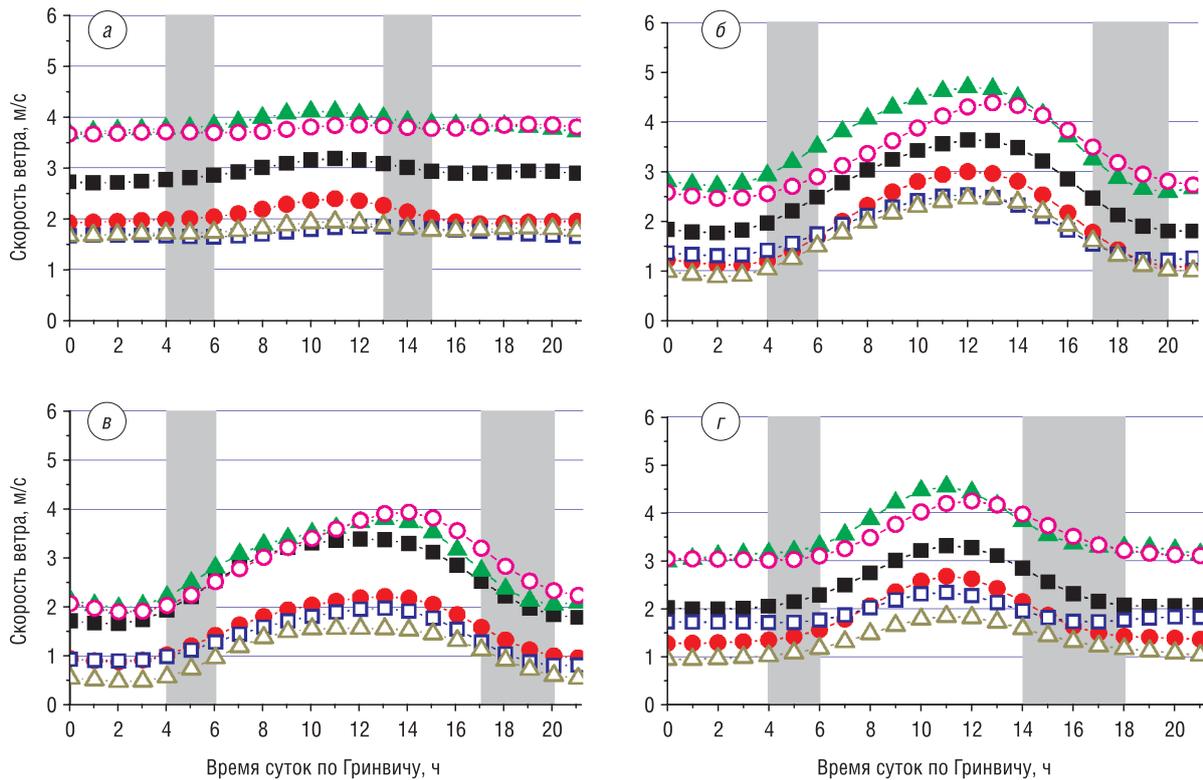


Рис. 3. Климатические нормы суточного хода скорости ветра в областных центрах Беларуси. Обозначения те же, что и на рис. 1

еще (вечером) велика. Иными словами, снижение концентраций загрязнений в городском воздухе после их вечернего пика обусловлено снижением интенсивности выбросов, несмотря на уменьшение эффективности рассеяния загрязнений. Точно так же увеличение загрязненности воздуха в утренние часы следует связывать с повышением активности источников выбросов, а нарастающие процессы рассеяния окончательно формируют утренний пик, обеспечивая последующее снижение концентраций загрязнений. В меньшей степени этот вывод относится к зимнему сезону, где суточный ход вертикальной устойчивости атмосферы и скорости ветра незначителен, и оба метеопараметра действуют в противофазе: устойчивость велика и скорость ветра тоже велика, однако утренний и вечерний пики концентраций загрязнений по-прежнему наблюдаются [1, 14].

Сказанное подводит нас к выводу, что главной причиной появления утреннего и вечернего пиков загрязнения воздуха в городах являются выбросы автомобильного транспорта, начало и конец интенсивного движения которого коррелируют со временем максимальных концентраций загрязнений воздуха и следуют тем же сезонным изменениям. Суточный ход метеопараметров, оказывающих влияние на рассеяние загрязнений, также играет существенную, но не определяющую роль.

В качестве подтверждения уместно привести результаты наблюдений в удаленном от источников антропогенных выбросов Березинском биосферном заповеднике (рис. 4). Приведен усредненный по сезонам в 2014 и 2015 г. суточный ход концентраций некоторых антропогенных загрязнений. ЛОС означает сумму концентраций бензола, толуола и ксилола, переведенных в единицы ppb.

Концентрации загрязнений в заповеднике значительно ниже, чем в городах, и в основном определяются переносом ветром загрязненного воздуха. Поэтому практически отсутствует суточный ход концентраций, несмотря на такой же, как в городах, суточный ход устойчивости атмосферы и скорости ветра. Вертикальное перемешивание не приводит к изменениям ввиду однородности состава тропосферы по высоте в хорошо перемешанном воздухе, и точно так же ветер приносит воздух с теми же концентрациями загрязнений.

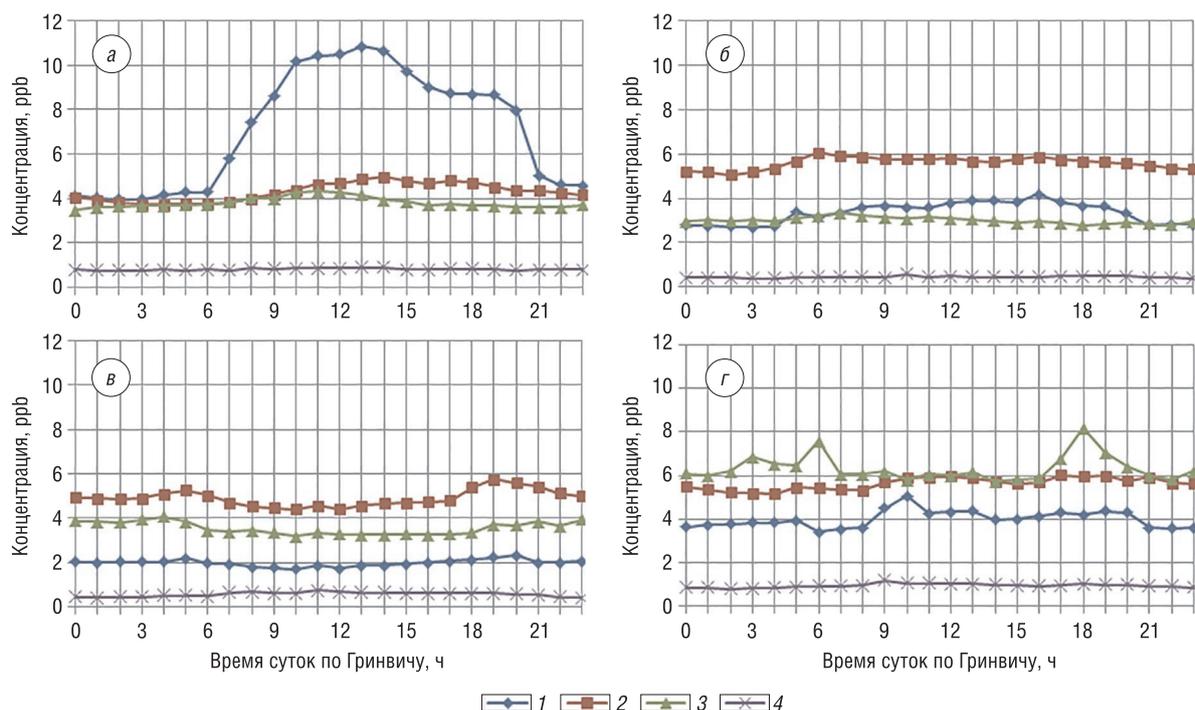


Рис. 4. Суточный ход концентраций загрязнений в Березинском биосферном заповеднике в разные сезоны: а – зима, б – весна, в – лето, г – осень. 1 – CO/10, 2 – NO₂, 3 – NO, 4 – ЛОС·10.

В отношении одного из загрязнителей – углерода оксида, следует заметить, что в зимний период времени в заповеднике имеется свой источник угарного газа – выбросы из отопительных печей в деревнях, расположенных на территории или в непосредственной близости от заповедника. Этим объясняется повышение концентрации CO зимой и ее специфический суточный ход (рис. 4).

Во введении отмечено, что полученные результаты базируются исключительно на статистических характеристиках суточного хода концентраций загрязнений и определяющих эффективность их рассеяния метеорологических параметров. В связи с этим можно предположить, что действие выявленных физических механизмов, управляющих концентрацией антропогенных загрязнений городского воздуха, также проявляется только в статистическом смысле. Однако эти механизмы отнюдь не статистического характера, несмотря на то что для обнаружения их влияния на загрязненность воздуха использован статистический подход с усреднением по сезонам и ряду лет. Меняющиеся ото дня ко дню и в течение дня интенсивность источников выбросов и метеоусловия могут вносить существенные изменения в описанную выше среднюю картину: включение мощного источника, разрушение инверсии или усиление ветра быстро приводят к изменению уровня загрязнения городского воздуха в любой день года и в любое время суток. Ход концентраций загрязнений в этом случае отличается от среднесуточного, однако причинами его изменения по-прежнему остаются интенсивность выбросов, ветер и термическая конвекция.

Список использованных источников

1. Air quality in cities / P. J. Sturm – New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. – P. 31–50.
2. Almbauer, R. A. Analysis of the daily variations of wintertime air pollution concentrations in the city of Graz, Austria / R. A. Almbauer [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. – 2000. – Vol. 65. – P. 79–87.
3. Bronnimann, St. Weekend-weekday differences of near-surface ozone concentrations in Switzerland for different meteorological conditions / St. Bronnimann, Urs Neu // Atmospheric Environment. – 1997. – Vol. 31, N 8. – P. 1127–1135.
4. Chen, W. Diurnal, weekly and monthly spatial variations of air pollutants and air quality of Beijing / W. Chen, H. Zhao // Atmospheric Environment. – 2015. – Vol. 119. – P. 21–34.

5. *Finardi, S.* Systematic analysis of meteorological conditions causing severe urban air pollution episodes in the Central Po valley / S. Finardi, U. Pellegrini // Proceedings of the 9th Int. conf. on harmonization within atmospheric dispersion modeling for regulatory purposes. – June 1 – 4, 2004. – Garmisch-Partenkirchen, Germany. – P. 250–254.
6. Mixing layer height as an indicator for urban air quality? / A. Gei [et al.] // Atmospheric Measurement Techniques. – 2017. – Vol. 10. – P. 2969–2988.
7. Variations of traffic related air pollution on different time scales in Szeged, Hungary and Freiburg, Germany / L. Makra [et al.] // Physics and Chemistry of the Earth. – 2010. – Vol. 35. – P. 85–94.
8. Influences of meteorological parameters and mixing layer height upon air pollutant concentrations in urban area / K. Schäfer [et al.] // Proceedings of the 9th international conference on air quality science and application. – 24–28 March 2014. – Garmisch-Partenkirchen, Germany. – P. 140.
9. *Verma, S. S.* / Effect of Meteorological Conditions on Air Pollution of Surat City / S. S. Verma, B. Desai // J. Int. Environmental Application & Science. – 2008. – Vol. 3. – P. 358–367.
10. Курс метеорологии / под ред. проф. П. Н. Тверского. – Л.: Гидрометеоиздат, 1951. – 888 с.
11. *Jacob D. J.* Introduction to atmospheric chemistry / D. J. Jacob – Princeton, NJ, Princeton University Press, 1999. – P. 267.
12. Meteorological and urban landscape factors on severe air pollution in Beijing / L. Han [et al.] // Journal of the Air & Waste Management Association – 2015. – Vol. 65. – P. 782–787.
13. Выявление источников загрязнения атмосферы на основе данных мониторинга и обратных траекторий / В. П. Кабашников [и др.] // Природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 97–106.
14. Антропогенное загрязнение воздуха и приземный озон в городах Беларуси / В. В. Божкова [и др.] // Природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 46–55.
15. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК / К. Рипдал [и др.]. – Япония, ИГЕС, 2006. – 333 с.
16. Metoffice. – <http://www.metoffice.gov.uk>. – Дата доступа: 13.08.2017.
17. *Людчик, А. М.* Региональные особенности климата Беларуси и их изменение в последние десятилетия. I: температура и скорость ветра / А. М. Людчик, В. И. Покаташкин, В. Я. Венчиков // Природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 85–92.

Поступила 13.11.2017

В. И. Мельник¹, И. С. Данилович¹, И. Ю. Кулешова², Е. В. Комаровская², Н. В. Мельчакова²

*¹Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: melnik2016@mail.ru, irina-danolovich@yandex.ru*

²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, Минск, Беларусь, e-mail: 2@hmc.by, clim@hmc.by, agro0@hmc.by

ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ЗА ПЕРИОД С 1989 ПО 2015 г.

Последствия изменения климата (теплые зимы, раннее наступление весенних процессов, увеличение продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода, увеличение повторяемости засух, волн тепла, высоких температур воздуха и др.) формируют новые климатические условия территорий и оказывают существенное влияние на погодозависимые сектора экономики. Представлены основные результаты научно-исследовательской работы «Оценка агроклиматических ресурсов и новое агроклиматическое районирование территории Беларуси с учетом изменения климата», выполненной в 2016–2017 гг. в рамках задания 1.06 «Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси» мероприятий подпрограммы 1 «Природные ресурсы и экологическая безопасность» Государственной программы научных исследований на 2016–2020 годы «Природопользование и экология». Уточнены границы агроклиматических областей на территории Беларуси за самый продолжительный период потепления (1989–2015 гг.) и построена новая уточненная карта границ агроклиматических областей. Представлены значения наиболее значимых климатических показателей агроклиматических областей (по тепло- и влагообеспеченности, условиям перезимовки), рассчитанных за период 1989–2015 гг. по данным пунктов Государственной сети гидрометеорологических наблюдений. На основании рассчитанных климатических показателей выполнено описание агроклиматических областей и условий произрастания сельскохозяйственных культур на территории Республики Беларусь. Полученные результаты показывают существенное изменение климатических условий и необходимость внесения изменений в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, а также необходимость нового агроклиматического районирования территории Беларуси в условиях современного изменения климата. Полученные результаты исследования могут быть использованы в погодозависимых отраслях экономики, в первую очередь Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь и Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь при планировании и принятии управленческих решений, с учетом изменения климатических и агроклиматических ресурсов, а также в высших учебных заведениях Министерства образования Республики Беларусь при подготовке программ, учебных пособий, информационных материалов, связанных с оценкой климатических и агроклиматических ресурсов в современных условиях.

Ключевые слова: изменение климата, агроклиматические ресурсы, агроклиматические области

V. I. Melnik¹, I. S. Danilovich¹, I. Y. Kuliashova², A. V. Komarouskaya², N. V. Melchakova²

*¹Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: melnik2016@mail.ru, irina-danolovich@yandex.ru*

*²Republican Center for Hydrometeorology, Radiation Control and Environmental Monitoring, Minsk, Belarus,
e-mail: 2@hmc.by, clim@hmc.by, agro0@hmc.by*

ASSESSMENT OF THE AGROCLIMATIC RESOURCES OF THE TERRITORY OF BELARUS FOR THE PERIOD 1989–2015

The consequences of climate change (warm winters, the early onset of spring processes, the increase in the duration and heat availability of a vegetation period, the increase in the frequency of droughts, heat waves, high air temperatures, etc.) form the new climatic conditions of the territories and have a significant impact on the weather-dependent sectors of the economy. The main results of the research work “Assessment of agroclimatic resources and the new agricultural and climatic zoning of the territory of Belarus taking into account climate change” were performed in 2016–2017 in the framework of 1.06 task 1.06 “Assessment of the influence of urbanization and land improvement on the climatic, water, land and forest resources of Belarus” activities of “Natural resources and environmental safety” 1 subprogram of the State program of scientific research for 2016–2020 “Environmental management and ecology”. The boundaries of agroclimatic regions on the territory of Belarus for the longest warming period (1989–2015) have been specified, and the new updated map of the boundaries of agroclimatic regions has been constructed. The values of the most significant climatic parameters of agroclimatic regions (for heat supply and moisture supply, the conditions of wintering), calculated for the period of 1989–2015 according to the data of the State Hydrometeorological Observations Network are presented. Based on the calculated climatic parameters, the description of agroclimatic regions and conditions of the growth of agricultural crops in the territory of the Republic of Belarus has been made. The obtained results show a significant change in climatic conditions and the need to introduce of changes into the crop cultivation technologies, as well as the need for a new agroclimatic zoning of the territory of Belarus in the conditions of modern climate

change. The obtained research results can be used in weather-dependent sectors of the economy, first of all by the Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus and the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus when planning and making management decisions, taking into account changes in climatic and agroclimatic resources, as well as in the highest educational institutions of the Ministry of Education of the Republic of Belarus in the preparation of programs, training manuals, information materials related to climate assessment and agroclimatic resources in the modern conditions.

Keywords: climate change, agroclimatic resources, agroclimatic areas

В. І. Мельнік¹, І. С. Даніловіч¹, І. Ю. Куляшова², А. У. Камароўская², Н. В. Мельчакова²

¹*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: melnik2016@mail.ru, irina-danilovich@yandex.ru*

²*Рэспубліканскі цэнтр па гідраметэаралогіі, кантролю радыёактыўнага забруджвання і маніторынгу акружаючага асяроддзя, Мінск, Беларусь, e-mail: 2@hmc.by, clim@hmc.by, agro0@hmc.by*

АЦЭНКА АГРАКЛІМАТЫЧНЫХ РЭСУРСАЎ ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ ЗА ПЕРЫЯД З 1989 ПА 2015 Г.

Наступствы змены клімату (цёплыя зімы, ранняе наступленне вясновых працэсаў, павелічэнне працягласці і цэпаабеспячэння вегетацыйнага перыяду, павелічэнне паўтаральнасці засух, хваляў цяпла, высокіх тэмператур павятра і інш.) фарміруюць новыя кліматычныя ўмовы тэрыторыі і аказваюць істотны ўплыў на залежны ад надвор'я сектары эканомікі. Прадстаўлены асноўныя вынікі навукова-даследчай работы «Ацэнка агракліматых рэсурсаў і новае агракліматых раянаванне тэрыторыі Беларусі з улікам змянення клімату», выкананай у 2016–2017 гг. у рамках задання 1.06 «Ацэнка ўплыву урбанізацыі і меліярацыі на кліматычныя, водныя, зямельныя і лясныя рэсурсы Беларусі» мерапрыемстваў падпраграмы 1 «Прыродныя рэсурсы і экалагічная бяспека» Дзяржаўнай праграмы навуковых даследаванняў на 2016–2020 гг. «Прыродакарыстанне і экалогія». Удакладнены межы агракліматых абласцей на тэрыторыі Беларусі за самы працяглы перыяд пацяплення (1989–2015 гг.) і пабудавана новая ўдакладненая карта меж агракліматых абласцей. Прадстаўлены значэнні найбольш значных кліматычных паказчыкаў агракліматых абласцей (па цяпла- і вільгацезабяспечанасцю, умовам перазімоўкі), разлічаных за перыяд 1989–2015 гг., па дадзеных пунктаў Дзяржаўнай сеткі гідраметэаралагічных назіранняў. На падставе разлічаных кліматычных паказчыкаў выканаана апісанне агракліматых абласцей і ўмоў росту сельскагаспадарчых культур на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь. Атрыманыя вынікі паказваюць істотнае змяненне агракліматых характарыстык і неабходнасць планавання ўнясення змяненняў у тэхналогіі вырошчвання сельскагаспадарчых культур, а таксама неабходнасць новага агракліматых раянавання тэрыторыі Беларусі ва ўмовах сучаснага змянення клімату. Атрыманыя вынікі даследавання могуць быць выкарыстаны ў пагодазалежных галінах эканомікі, у першую чаргу Міністэрствам сельскай гаспадаркі і харчавання і Міністэрствам лясной гаспадаркі Рэспублікі Беларусь пры планаванні і прыняцці кіраўнічых рашэнняў з улікам змены кліматычных і агракліматых рэсурсаў, а таксама ў вышэйшых навучальных установах Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь пры падрыхтоўцы праграм, вучэбных дапаможнікаў, інфармацыйных матэрыялаў, звязаных з ацэнкай кліматычных і агракліматых рэсурсаў у сучасных умовах.

Ключавыя словы: змяненне клімата, агракліматых рэсурсы, агракліматых вобласці

Введение. Климат всегда оказывал существенное влияние на человеческую деятельность. Особенно подвержены воздействию климата такие климатозависимые отрасли, как сельское, лесное и водное хозяйство. За период начала инструментальных наблюдений (с 1881 года) на территории Республики Беларусь наблюдалось чередование кратковременных периодов потепления и непродолжительных периодов похолодания. С 1989 г. в Беларуси начался самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений за температурой воздуха на протяжении последних почти 130 лет [1–4]. За период с 1989 по 2015 г. среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму, принятую Всемирной метеорологической организацией (ВМО) в среднем на 1,3 °С [3]. На период 1989–2015 гг. пришлось три самых теплых года за весь период метеорологических наблюдений на территории Республики Беларусь (1989, 2008, 2015). В самом теплом 2015 г. среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму ВМО на 2,7 °С. Последствия изменения климата (теплые зимы, раннее наступление весенних процессов, увеличение продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода, увеличение повторяемости засух, волн тепла, высоких температур воздуха и др.) формируют новые климатические условия территорий и оказывают существенное влияние на погодозависимые сектора экономики [1, 5, 6].

Существенное изменение условий произрастания сельскохозяйственных культур требует внесения изменений в практику ведения сельского хозяйства. Это необходимо учитывать при разработке стратегии развития сельскохозяйственного производства и его адаптации к изменениям климата. Одной из важных задач является выделение новых агроклиматических районов с учетом изменившихся климатических характеристик в пределах новых границ агроклиматических областей и оценка агроклиматических ресурсов в условиях изменения климата. Поэтому

пунктом 6 мероприятий подпрограммы 1 «Природные ресурсы и экологическая безопасность» Государственной программы научных исследований на 2016–2020 гг. «Природопользование и экология» было предусмотрено выполнение научно-исследовательской работы «Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси». В рамках указанной НИР в 2016–2017 гг. выполнена работа «Оценка агроклиматических ресурсов и новое агроклиматическое районирование территории Беларуси с учетом изменения климата» [5, 7]. Первым этапом этой работы, выполненной в 2016 г., явилось уточнение границ агроклиматических областей на территории Республики Беларусь по суммам температур выше 10 °С за период потепления (1989–2015) и расчет агроклиматических и климатических характеристик по станциям государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь за указанный период в пределах границ выделенных агроклиматических областей; пространственное распределение климатических и агроклиматических показателей (картирование и оценка рассчитанных показателей); оценка агроклиматических ресурсов агроклиматических областей.

Состояние изученности вопроса. В настоящее время на территории Республики Беларусь существует несколько видов природного районирования: физико-географическое, геоморфологическое, почвенно-географическое, геоботаническое, ландшафтное. При подготовке указанных видов районирования использовались данные до периода потепления. Отдельные исследования по изменению динамики лесных экосистем, сезонному развитию растений за период потепления выполнены в Институте экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси. В работе [8] отмечено, что в результате массовой мелиорации в сочетании с воздействием изменения климата граница сплошного распространения ели на отдельных ее участках сместилась на 20–30 км севернее по сравнению с началом 1960-х годов. В дальнейшем эта граница еще больше сместится к северу. Вытеснение ольхи серой из южных пределов ее ареала будет определяться избыточным притоком тепла, который в настоящее время удерживает ее в современных границах. Продвижение на север граба связано со сложным комплексом эффектов и будет, вероятно, не столь существенным и ограничится несколькими десятками километров [9]. Продолжающееся изменение климата увеличивает вероятность возникновения засух в вегетационный период при одновременном понижении уровня грунтовых вод, в результате чего возможно дальнейшее сокращение ареала ели в Беларуси. Поэтому отсутствие фундаментальных исследований возможных изменений в природном районировании в связи с изменением климата затрудняло проведение границ агроклиматических областей с учетом возможно изменившихся отдельных природных экосистем.

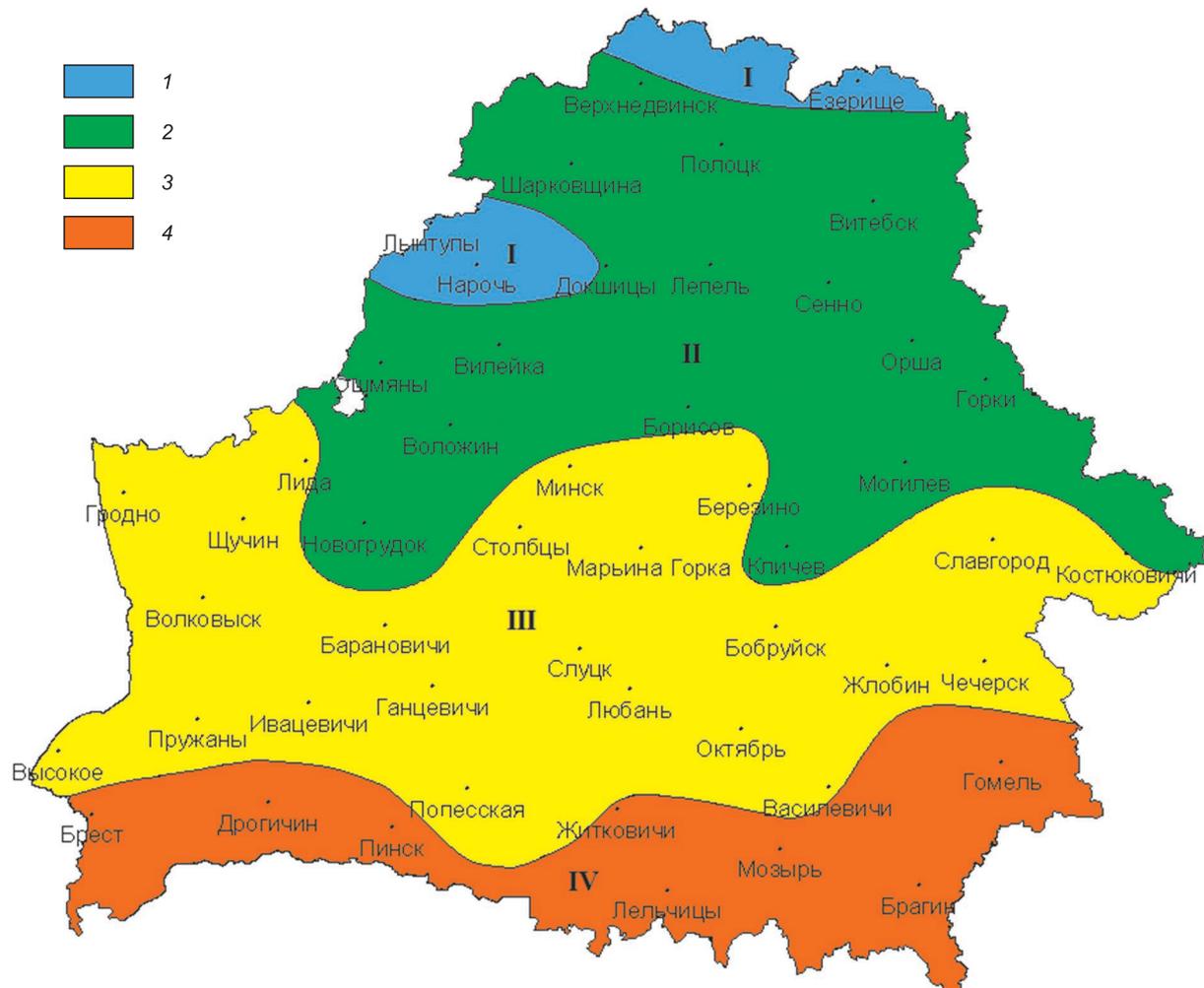
При выполнении данной работы с целью уточнения расположения (описания) новых границ агроклиматических областей за период потепления 1989–2015 гг. учитывалось существующее физико-географическое районирование Беларуси, разработанное в 2001 г. в единой Европейской десятичной системе районирования коллективом авторов в составе Н.К. Клицуновой, Г.И. Марцинкевич, И.И. Пирожником, И.И. Счастной и О.Ф. Якушко [10].

Анализ данных многолетних наблюдений показывает, что повышение среднегодовой температуры воздуха почти на один градус (0,9 °С) в первые десять лет периода потепления (1989–1998 гг.) привело к увеличению продолжительности вегетационного периода и сумм температур примерно на 120–150 °С, что равносильно сдвигу по территории агроклиматических областей в широтном направлении примерно на 60–150 км, и влечет за собой определенные изменения в землепользовании: изменение посевных площадей и размещение посевов, а возможно, и изменение определенных видов ландшафтов [11, 12]. Впервые изменение границ агроклиматических областей Беларуси в результате современных изменений климата было отмечено в работе [12]. Впоследствии динамика изменения границ агроклиматических областей на территории Беларуси на протяжении последних лет отмечалась в ряде работ Белгидромета [2, 3, 6, 11] и НАН Беларуси [4, 13]. Необходимо отметить, что при проведении агроклиматического районирования территорий использование сумм температур выше 10 °С является определяющим и необходимым условием для оценки теплообеспеченности [15]. В Беларуси впервые суммы температур выше 10 °С при выполнении работ по агроклиматическому районированию террито-

рии были предложены сотрудниками Минской гидрометеорологической обсерватории в 50-х годах прошлого века, а также профессором А. Х. Шклярком при выполнении агроклиматического районирования Беларуси в 1973 г. [14, 15].

На основе данных всех пунктов Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь по суммам температур периода активной вегетации (выше 10 °С) за период 1989–2015 гг. была построена карта границ агроклиматических областей (рисунок). При уточнении границ агроклиматических областей учитывался ряд положений, изложенных в работах [4, 13]. Так, несмотря на то что сумма температур воздуха выше 10 °С на метеостанции Жлобин Гомельской области достигла 2626 °С, граница Новой агроклиматической области в настоящее время проведена южнее метеостанции Жлобин, в силу существенной городской застройки района местоположения метеорологической площадки указанной метеостанции. В результате потепления, как известно, произошло изменение границ агроклиматических областей: Северная агроклиматическая область распалась, а на юге Белорусского Полесья образовалась четвертая новая, более теплая агроклиматическая область [12].

Границы Центральной агроклиматической области сместились на север и сейчас она находится в пределах Поозерской физико-географической провинции, исключая ее крайний север; участок на юго-западе занимает северную часть Западно-Белорусской провинции;



Новые границы агроклиматических областей по теплообеспеченности за период потепления 1989–2015 гг.: 1 – Северная (сумма температур воздуха выше 10 °С менее 2200 °С), 2 – Центральная (сумма температур воздуха выше 10 °С 2201–2400 °С), 3 – Южная (сумма температур воздуха выше 10 °С 2401–2600 °С), 4 – Новая (сумма температур воздуха выше 10 °С более 2600 °С).

северо-восток Предполесской провинции и практически всю Восточно-Белорусскую провинцию за исключением ее южной части, хотя ранее она простиралась в виде удлинённой полосы с юго-запада на северо-восток и на юге была ограничена Полесской провинцией. Южная агроклиматическая область сместила свои северные границы за пределы Полесской провинции и теперь она занимает южную половину Западно-Белорусской провинции, южную и западную часть Предполесской провинции и крайний юг Восточно-Белорусской провинции, южная ее граница проходит по левобережью Припяти и далее на восток к северной части Приднепровской низменности. Новая четвертая агроклиматическая область занимает южную часть Полесской провинции и характеризуется самой короткой и теплой в пределах Беларуси зимой и наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом. По оценкам многих ученых глобальное потепление в ближайшие десятилетия будет продолжаться, что приведет к дальнейшему смещению к северу границ агроклиматических областей с более высокими температурами [16].

Следовательно, для принятия управленческих решений необходимо следить за динамикой процесса изменения границ агроклиматических областей. Приведенное на рисунке расположение границ агроклиматических областей характеризует современное изменение климата в Республике Беларусь и оценку агроклиматических ресурсов за период потепления (1989–2015 гг.). В дальнейшем в связи с прогнозируемым изменением климата и необходимостью уточнения стратегии развития сельского хозяйства возможно уточнение границ агроклиматических областей не реже одного раза за десятилетие.

Из-за смещения границ агроклиматических областей значительно изменяются условия произрастания сельскохозяйственных культур, что необходимо учитывать при планировании сельскохозяйственного производства. Поэтому в пределах новых выделенных границ агроклиматических областей были рассчитаны наиболее значимые климатические показатели за период 1989–2015 гг. по данным пунктов метеорологических наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений (таблица).

Указанные в таблице показатели (основные характеристики) и дополнительно рассчитанные по влагозапасам почвы, условиям увлажнения территории по Гидротермическому коэффициенту Селянинова, глубине промерзания почвы, повторяемости дней с сочетанием минимальной температуры воздуха минус 20 °С и ниже и высотой снежного покрова 10 см и менее (приведены в [7]) были использованы для оценки ресурсов агроклиматических областей и условий произрастания сельскохозяйственных культур.

Оценка климатических и агроклиматических ресурсов агроклиматических областей. Агроклиматические ресурсы территории обычно характеризуются тремя основными показателями: количеством тепла и влаги в вегетационный период и условиями перезимовки озимых, трав и плодово-ягодных культур. Теплообеспеченность определяет потенциальные природные ресурсы сельского хозяйства, обуславливающие набор сельскохозяйственных культур по их требованиям к теплу, а также формирование их продуктивности. Возделывание сельскохозяйственной культуры считается рентабельным, если потребность культуры в тепле, необходимом для ее полного цикла развития, обеспечивается не менее чем в 80 % лет. При обеспеченности теплом в 60–70 % лет необходимо проведение мероприятий, направленных на улучшение термических условий периода вегетации (использование закрытого грунта, выращивание рассады и др.). На территории Беларуси во всех агроклиматических областях полностью обеспечены теплом озимые (рожь, пшеница, тритикале, ячмень), яровые зерновые (пшеница, ячмень, овес, гречиха), рапс, горох, картофель, лен, капуста, свекла [5, 7].

Северная агроклиматическая область. Северная агроклиматическая область в результате потепления распалась и в рассматриваемый период (1989–2015 гг.) представлена двумя небольшими территориями, расположенными на крайнем севере, на крайнем юго-западе Витебской области и северо-западе Минской. В ее состав входят Городокская возвышенность, северная часть Полоцкой низменности, Нарочано-Вилейская низменность. В настоящее время эта агроклиматическая область занимает лишь крайний север Поозерской физико-географической провинции, а также ее участок расположен на крайнем юго-западе провинции.

Характеристика агроклиматических областей

Основные Характеристики			Северная I	Центральная II	Южная III	Новая IV
Средняя температура воздуха за месяц, °С	Самый теплый (июль)	Крайние значения	17,7–18,2	18,1–19,0	18,6–19,6	19,6–20,4
		Средние значения	17,9	18,5	19,0	19,8
	Самый холодный (январь)	Крайние значения	–5,0...–4,0	–5,3...–3,9	–5,0...–2,5	–3,9...–2,1
		Средние значения	–4,4	–4,4	–3,6	–3,3
Продолжительность периода (дни) со средней суточной температурой воздуха выше	0 °С	Крайние значения	240–252	240–253	246–274	257–280
		Средние значения	247	248	259	263
	+5 °С	Крайние значения	194–196	194–202	199–216	209–222
		Средние значения	195	198	207	213
	+10 °С	Крайние значения	143–144	145–153	152–162	161–168
		Средние значения	143	149	156	163
	+15 °С	Крайние значения	77–80	82–95	93–107	106–114
		Средние значения	79	89	99	109
Продолжительность беззаморозкового периода в воздухе, дни	Крайние значения	143–147	142–171	134–168	148–178	
	Средние значения	145	156	157	164	
Сумма температур за вегетационный период выше и равной	+5°	Крайние значения	2529–2548	2585–2748	2752–2973	2973–3142
		Средние значения	2541	2674	2856	3034
	+10 °С	Крайние значения	2140–2167	2208–2383	2401–2599	2607–2746
		Средние значения	2156	2302	2478	2667
Количество осадков, мм	за год	Крайние значения	709–733	606–745	548–692	563–733
		Средние значения	721	671	630	638
	за теплый период (апрель–октябрь)	Крайние значения	465–475	417–497	379–468	388–497
		Средние значения	471	457	432	439
Продолжительность периода со средней суточной температурой ниже 0 °С, дни	Крайние значения	113–125	112–125	91–119	85–108	
	Средние значения	118	117	107	102	
Число дней со снежным покровом	Крайние значения	103–115	91–114	64–106	72 – 90	
	Средние значения	108	103	87	80	

Климат Северной агроклиматической области характеризуется самыми низкими температурами воздуха на протяжении всего года по сравнению с другими агроклиматическими областями. Разница июльской температуры в этой области невелика – 0,5 °С. Самая низкая температура в июле отмечается на станции Нарочь (17,7 °С), где понижающее влияние в летнее время оказывает одноименное озеро. Самая высокая июльская температура отмечается на северо-востоке области в Езерище (18,2 °С), где наиболее выражена континентальность климата. Мерой континентальности может служить годовая амплитуда температуры – разность температур самого теплого и самого холодного месяцев года. Так, на Нарочи она составляет 21,5 °С, а в Езерище – 23,2 °С. В среднем по области температура воздуха июля составляет 17,9 °С. Средняя месячная температура воздуха в январе минимальная в наиболее континентальном Езерище минус 5,0 °С, на юго-западе области на Нарочи минус 4,0 °С, так как прогретая за лето вода в озере зимой отдает тепло воздуху. В среднем по области температура января составляет минус 4,4 °С.

Весна и лето начинаются позже, чем в других районах страны. Здесь самая малая продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 0 °С – от 240 дней на северо-востоке области в Езерище до 252 дней на юго-западе области на Нарочи и в среднем по области составляет 247 дней. В этой зоне самые короткие периоды со среднесуточной температурой выше 5, 10 и 15 °С. Так, вегетационный период (период со средней суточной температурой воздуха выше 5 °С) в среднем по области составляет 195 дней. Продолжительность периода активной вегетации (период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С) практически одинакова: от 143 дней в Езерище и Лынтупах до 144 дней на юго-западе области на Нарочи,

в среднем по области составляет 143 дня. В Северной агроклиматической области отмечается и самая наименьшая сумма температур за вегетационный период от 2529 °С в Лынтупах до 2548 °С в Езерище, в среднем по области составляет 2541 °С, за период с температурами выше 10 °С от 2140 до 2167 °С в тех же пунктах наблюдений, в среднем по области составляет 2156 °С. Самый теплый период лета (период со средней суточной температурой воздуха выше 15 °С) самый короткий на западе области в Лынтупах (77 дней) и самый продолжительный (80 дней) на севере области в Езерище, в среднем по области составляет 79 дней.

Продолжительность беззаморозкового периода самая короткая и колеблется от 143 дней в Лынтупах до 147 дней на Нарочи, в среднем по области составляет 145 дней. Залегание снежного покрова самое продолжительное и колеблется от 103 дней на юго-западе области на Нарочи до 115 дней на севере области в Езерище, в среднем по области составляет 108 дней.

Годовая сумма атмосферных осадков составляет в среднем по области 721 мм. Эта область наиболее увлажненная из-за наличия Свенцянской и Городокской возвышенностей, лежащих на пути преобладающего западного переноса воздушных масс. Меньше всего осадков за год (709 мм) выпадает на юго-западе области на Нарочи, больше всего (733 мм) – в Лынтупах, расположенных на Свенцянской возвышенности. Такая же тенденция в распределении осадков отмечается и в теплый период. Сумма осадков теплого периода колеблется от 465 мм на Нарочи до 475 мм в Лынтупах, в среднем по области составляет 471 мм. ГТК за май – июль и в целом за период с температурой выше 10 °С составляет 1,5–1,6, за август ГТК равен 1,5.

В Северной агроклиматической области наступление мягкопластичного состояния почвы происходит на суглинистых почвах в третьей декаде апреля (Езерище 23.IV), на супесчаных – в середине апреля (Лынтупы 14.IV). Запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см составляют от 22–41 мм на легких супесчаных почвах в Лынтупах до 34–58 мм на суглинистых почвах в Езерище. В мае и в сентябре повторяемость почвенных засух в Северной агроклиматической области составляет 15 %, в летние месяцы на легких супесчаных почвах увеличивается до 30–37 %.

Почвы начинают промерзать во второй декаде ноября. Наибольшая глубина промерзания почвы наблюдается в феврале и составляет 36–39 см на суглинистых почвах в Езерище, 37–42 мм – на легких супесчаных почвах в Лынтупах. Повторяемость числа дней с отрицательными температурами воздуха –20 °С и ниже и высотой снега 10 см и ниже колеблется от 44 % на юго-западе области в Лынтупах, расположенных на Свенцянской возвышенности, до 56 % в Езерище, расположенных на крайнем севере области, в среднем по области составляет 50 %.

По характеру увлажнения большая часть территории Северной агроклиматической области относится к достаточному и избыточному увлажнению. В условиях невысоких температур и избыточного увлажнения формируются хорошо увлажненные и переувлажненные почвы.

Все сорта ранних яровых культур обеспечены теплом и влагой. В весенний период на суглинистых почвах часто отмечается переувлажнение почв. Вследствие этого сев яровых культур сдвигается на более поздние сроки и формируется более низкая урожайность, чем в среднем по республике. Наиболее продуктивно возделывание культур на супесчаных и легких суглинистых почвах. Успешно возделываются различные по срокам спелости сорта картофеля. Даже позднеспелые сорта обеспечены теплом в 100 % лет. Агроклиматические ресурсы территории благоприятны для получения высоких урожаев льна-долгунца, выращивания кормовых культур, в первую очередь многолетних и однолетних трав, а из овощных – столовая свекла, морковь, капуста белокочанная. Возделывание кукурузы целесообразно только на силос, так как раннеспелые сорта, исходя из обеспеченности кукурузы теплом, достигают фазы «полная спелость» лишь в 44 % лет. В целом в Северной агроклиматической области можно успешно развивать производство основных сельскохозяйственных культур, но учитывая частое переувлажнение, то на тяжелых и средних суглинистых почвах – в первую очередь многолетних трав.

Центральная агроклиматическая область. Центральная агроклиматическая область широкой полосой простирается с запада на восток, занимает северную половину Беларуси. В ее состав входит большая часть территории Витебской и Могилевской, северная половина Минской, север и восток Гродненской административной области. В настоящее время Центральная агроклиматическая область находится в пределах Поозерской физико-геогра-

фической провинции, исключая ее крайний север, участок на юго-западе, занимает северную часть Западно-Белорусской провинции, северо-восток Предполесской провинции и практически всю Восточно-Белорусскую провинцию, за исключением ее южной части. Южная граница области совпадает с изолинией сумм температур выше 10 °С в 2400 °С.

Центральная агроклиматическая область более теплая, чем Северная. Средняя температура июля здесь в среднем на 0,6 °С выше, чем в Северной области и колеблется от 18,1 °С на западе области в Ошмянах, расположенных на Ошмянской возвышенности, до 19,0 °С на востоке области в Витебске, где более выражена континентальность климата и влияние большого города. Колебания средней температура января составляют 1,4 °С – от минус 5,3 °С на востоке области в Горках до минус 3,9 °С на западе области в Ошмянах. Расположение январских изолиний температуры воздуха близко к меридиональному, поэтому четко прослеживается нарастание континентальности климата с запада на восток, так, годовая амплитуда температуры в Ошмянах составляет 22,0 °С, а в Горках – 23,7 °С.

Весна и лето в Центральной агроклиматической области начинаются раньше, чем в Северной. Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 0 °С – от 240 дней на востоке области в Горках до 253 дней на западе области в Ошмянах и в среднем по области составляет 248 дней. Вегетационный период (период со средней суточной температурой воздуха выше 5 °С) длится 194 дня на востоке области в Горках и 202 дня на юге области в Новогрудке и в среднем по области составляет 198 дней. Продолжительность периода активной вегетации (период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С) изменяется от 145 дней на границе с западной частью Северной агроклиматической области в Докшицах до 153 дней на юго-западе области в Воложине и в среднем по области составляет 149 дней. Более продолжительные, чем в Северной области периоды с температурами выше 5 и 10 °С способствуют накоплению больших сумм температур. Сумма температур за вегетационный период от 2585 °С в Березинском заповеднике до 2748 °С в Воложине и в среднем по области составляет 2674 °С, за период с температурами выше 10 °С от 2208 до 2383 °С в тех же пунктах наблюдений и в среднем по области составляет 2302 °С. Период со средней суточной температурой воздуха выше 15 °С самый короткий на границе с западной частью Северной агроклиматической области в Докшицах (82 дня) и самый продолжительный (95 дней) на востоке области в Витебске и в среднем по области составляет 89 дней.

Продолжительность беззаморозкого периода наименьшая в Кличеве, расположенном на юго-востоке области на Центрально-Березинской равнине (142 дня) и самая длинная (171 день) в Новогрудке, расположенном на юго-западе области на Новогрудской возвышенности и в среднем по области составляет 156 дней.

Число дней со снежным покровом несколько меньше, чем в Северной области и изменяется от 91 дня на юге области в Кличеве до 114 дней в восточной части области в Горках и в среднем по области составляет 103 дня.

Годовая сумма осадков изменяется от 606 мм в Кличеве, расположенном на Центрально-Березинской равнине, до 745 мм в Новогрудке, расположенном на Новогрудской возвышенности. В среднем по области годовая сумма осадков составляет 671 мм. Такой широкий диапазон годовых сумм осадков можно объяснить чередованием в этой агроклиматической области как низменностей (Оршано-Могилевская, Центрально-Березинская, Неманская), так и возвышенностей (Новогрудская, Ошмянская, Минская, Оршанская). Распределение по территории осадков теплого периода повторяет распределение годовых сумм осадков от 417 мм в Кличеве до 497 мм в Новогрудке. В среднем по области сумма осадков теплого периода составляет 455 мм.

ГТК за май-июль колеблется от 1,4 на западе области в Шарковщине и востоке в Горках, Могилеве, Кличеве, до 1,8 на Новогрудской возвышенности. На Вилейской равнине, в Поозерской провинции, исключая Ушачско-Лепельскую возвышенность, составляет 1,5. На возвышенностях Лепельской, Ошмянской, Борисовской – 1,6. За период с температурой выше 10 °С на большей части Центральной агроклиматической области ГТК составляет 1,5. В западной части области в Шарковщине, на Горецкой возвышенности, Костюковичской и Вилейской равнине ГТК составляет 1,4; в Могилеве

и Кличеве – 1,3; на Новогрудской возвышенности – 1,6. В августе на большей части области ГТК составляет 1,3–1,5, наименьших значений достигает в Могилеве и Кличеве – 1,2.

Супесчаные и песчаные почвы Центральной агроклиматической области достигают мягкопластичного состояния на 7–10 дней раньше, чем суглинистые. Мягкопластичное состояние почвы на территории Минской области, относящейся к данной агроклиматической области, наступает в конце первой декады апреля, на Ошмянской гряде – 8 апреля. Легкие суглинки в Могилевской области и супесчаные почвы в Витебской области просыхают до мягкопластичного состояния во второй декаде апреля. Позже всего достигают мягкопластичного состояния тяжелые почвы в Витебской области – 26–27 апреля.

На большей части территории Центральной агроклиматической области в слое почвы 0–20 см содержится от 30 до 56 мм продуктивной влаги в начале вегетационного периода (апрель), а на северо-западе и на востоке области (Шарковщина, Витебск) и в конце осенней вегетации озимых культур (вторая–третья декады октября) запасы продуктивной влаги максимальные – 57–68 мм. Только на юго-западе Центральной агроклиматической области (Вилейка) на супесчаных почвах большую часть вегетационного периода запасы продуктивной влаги меньше – в слое почвы 0–20 см составляют менее 30 мм. Повторяемость почвенных засух на территории Центральной агроклиматической области в мае небольшая – 11 %, в летние месяцы она увеличивается до 52–56 %, в сентябре составляет 19 %. Редко почвенные засухи бывают в октябре (первая декада).

Почвы начинают промерзать с востока на запад Центральной агроклиматической области с первой по третью декаду ноября. Глубина промерзания почвы в феврале составляет 31–55 см на суглинистых почвах, на супесчаных – 23–53 см. Повторяемость числа дней с отрицательными температурами воздуха минус 20 °С и ниже и высотой снега 10 см и ниже колеблется от 27 % на западе области в Воложине, расположенном в западной части Минской возвышенности, до 70 % в Березинском заповеднике, расположенном в районе Лепельско-Полоцкой низины, и в среднем по области составляет 51 %.

Агроклиматические условия благоприятны для возделывания большинства культур и позволяют на ее территории выращивать озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, гречиху, однолетние и многолетние травы, репчатый лук, столовую свеклу, морковь, капусту, овощной горошек, томаты, огурцы, чеснок. Почвенно-климатические ресурсы области благоприятны для возделывания льна-долгунца и для выращивания картофеля, урожай этой культуры выше, чем в Северной агроклиматической области. Урожайность картофеля обусловлена уровнем агротехники и погодными условиями в течение вегетационного периода. Ежегодно можно получать высокий урожай зеленой массы от всех сортов кукурузы. Увеличение сумм температур позволяет на юге Центральной агроклиматической области получать от раннеспелых гибридов кукурузы зрелое зерно. В южной части данной агроклиматической области климатические условия позволяют возделывать сахарную свеклу. Непременным условием получения максимальной продуктивности сахарной свеклы является увеличение продолжительности ее вегетационного периода, что достигается своевременным проведением сева.

Несмотря на потепление, вероятность вымерзания озимых культур в зимний период сохраняется. Больше всего вымерзанию подвержен озимый рапс, как правило, из-за чередования оттепельного характера погоды и последующего понижения температуры воздуха. Озимые зерновые и травы от вымерзания страдают реже. За период изменения климата наиболее масштабная гибель озимых культур из-за вымерзания наблюдалась зимой 2002–2003 и 2005–2006 гг. Вымерзание рапса на больших площадях отмечалось также в зимний период 2009–2010 и 2010–2011 гг., а также в 2014–2015 и 2015–2016 гг.

В связи с изменением климата в период уборки отмечается тенденция увеличения числа сухих дней, максимальной температуры воздуха и уменьшения количества осадков, что улучшает условия уборки зерновых культур. В этой связи на территории Центральной агроклиматической области возможно получение вторых урожаев ряда кормовых культур в пожнивных посевах после рано убираемых на зерно зерновых культур и озимого рапса.

В целом в Центральной агроклиматической области можно успешно развивать производство основных сельскохозяйственных культур.

Южная агроклиматическая область. Южная агроклиматическая область за период потепления (1989–2015 гг.) сместила свои северные границы за пределы Полесской низменности. Теперь она занимает южную половину Западно-Белорусской провинции, южную и западную часть Предполесской провинции и крайний юг Восточно-Белорусской провинции, южная ее граница проходит по левобережью Припяти и далее на восток к северной части Приднепровской низменности. В ее состав входят западная часть Гродненской, южная часть Минской и Могилевской, северная часть Брестской и Гомельской административных областей.

Южная агроклиматическая область более теплая и менее влажная, чем Центральная агроклиматическая область. В июле средняя месячная температура воздуха колеблется от 18,6 °С на северо-западе области в Гродно до 19,6 °С на востоке области в Чечерске и в среднем по области составляет 19,0 °С. Расположение январских изолиний температуры воздуха близко к меридиональному и изменяются от минус 2,5 °С на юго-западе области в Высоком до минус 5,0 °С на северо-востоке области в Костюковичах. В среднем по области температура января составляет минус 3,6 °С.

Весна и лето в Южной агроклиматической области наступают раньше на 12–14 дней, чем в Северной и на 8–11 дней, чем в Центральной. В данной области продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 0 °С колеблется от 246 дней на северо-востоке области в Костюковичах до 274 дней на юго-западе области в Высоком и в среднем составляет 259 дней. Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 5 °С (вегетационный период) в среднем по области составляет 207 дней и находится в пределах от 199 дней на северо-востоке области в Костюковичах и 216 дней на юго-западе области в Высоком. Продолжительность периода активной вегетации (период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С) равна 152 дня в Костюковичах и 162 дня в Высоком и в среднем по области составляет 156 дней. Сумма температур за вегетационный период в среднем по области составляет 2856 °С и колеблется от 2752 °С на возвышенном северо-востоке в Костюковичах (Оршано-Могилевское плато) до 2973 °С на низменном западе в Ивацевичах (Полесская низменность). Увеличивается и сумма температур за активный период – в среднем по области равна 2478 °С и распределяется по области от 2401 °С на северо-востоке области в Костюковичах до 2599 °С на востоке в Василевичах. Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 15 °С в среднем по области составляет 99 дней, что на 20 дней длиннее, чем соответствующий период Северной агроклиматической области и по территории области колеблется от 93 дней на северо-западе области в Гродно до 107 дней на юге области в Василевичах.

Продолжительность беззаморозкового периода остается такой же, как и в Центральной агроклиматической области (156 дней). Однако по сравнению с Северной агроклиматической областью заметно увеличение на 12 дней. Наименьшая продолжительность беззаморозкового периода по рассматриваемой области отмечена на болотной станции Полесская (134 дня), наибольшая – на юго-западе области в Высоком (168 дней).

Уменьшается продолжительность периода со среднесуточной температурой ниже 0 °С и в среднем по области составляет 107 дней. На территории Южной агроклиматической области этот период изменяется от 119 дней на северо-востоке области в Костюковичах до 91 дня на юго-западе области в Высоком.

В Южной агроклиматической области уменьшается и число дней со снежным покровом по сравнению с первыми двумя агроклиматическими областями на 16–20 дней и в среднем по области составляет 87 дней. Наибольшее число (106 дней) отмечено на востоке области в Костюковичах, где климат более континентальный.

Годовая сумма осадков в среднем по области равна 630 мм. Осадки по территории области распределяются от 548 мм на западе в Гродно, расположенном в пойме Немана, до 692 мм в Минске, расположенном на самой высокой возвышенности Беларуси. Такая же тенденция в распределении осадков отмечается и в теплый период. Сумма осадков теплого периода колеблется от 379 мм на западе страны в Гродно до 468 мм – в Минске и в среднем по области составляет 432 мм.

ГТК за май–июль на большей части территории области находится в пределах 1,5–1,6, на западе 1,3–1,4. За период с температурой выше 10 °С на большей части территории агроклиматической области гидротермический коэффициент составляет 1,3–1,4. На северо-западе в Гродно и юго-западе в Высоком – 1,2. Наименьших значений ГТК достигает в августе – 1,0–1,2 на большей части территории области.

На большей части территории Южной агроклиматической области проведение полевых работ (просыхание почвы до мягкопластичного состояния) становится возможным в первой декаде апреля (2.IV – 7.IV), на легких супесчаных и песчаных почвах на юге – в третьей декаде марта (25.III – 29.III), только на севере и северо-востоке области – во второй декаде апреля (11.IV – 13.IV).

На большей части территории Южной агроклиматической области в слое почвы 0–20 см в течение вегетационного периода содержится от 20–30 до 35–55 мм продуктивной влаги, на суглинистых почвах (Минск, Слуцк, Костюковичи) запасы продуктивной влаги в первой декаде апреля достигают 60–64 мм. На супесчаных почвах (Октябрь, Полесская, Пружаны, Бобруйск) в отдельные декады средние запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см составляют 17–19 мм, что недостаточно для нормального развития растений, при таких запасах продуктивной влаги начинается ухудшение их состояния. Почвенные засухи чаще всего бывают в летний период – в июне, июле и августе повторяемость почвенных засух составляет от 74 до 93 %, высокой она остается в сентябре – 70 % и в мае – 48 %. В октябре повторяемость почвенных засух на территории Южной агроклиматической области составляет 26 %, в апреле – 15 %.

На большей части территории почвы начинают промерзать в третьей декаде ноября. Глубина промерзания почвы в феврале на суглинистых почвах составляет 25–43 см, на супесчаных почвах – 24–40 см. Повторяемость числа дней с отрицательными температурами воздуха минус 20 °С и ниже и высотой снега 10 см и ниже колеблется от 30 % на севере области в Минске, расположенном на Минской возвышенности до 70 % на юге области на Полесской, расположенной в Полесье, на ровной местности, и в среднем по области составляет 53 %.

Южная агроклиматическая область характеризуется мягкой короткой зимой, наиболее длительным и теплым вегетационным периодом, неустойчивым увлажнением. Наилучшие агроклиматические условия для выращивания теплолюбивых культур.

Агроклиматические условия южной области позволяют на ее территории выращивать сельскохозяйственные культуры: озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, гречиху, картофель, лен, сахарную свеклу, кукурузу, однолетние и многолетние травы. В открытом грунте выращивают репчатый лук, овощной горошек, томаты, огурцы, чеснок. Условия для перезимовки озимых культур и многолетних трав более благоприятные, чем в Центральной агроклиматической области. На территории Южной агроклиматической области возможно получение вторых урожаев ряда кормовых культур в пожнивных посевах после рано убираемых на зерно зерновых культур и озимого рапса. После уборки этих культур до наступления осенних холодов остается 70–80 дней с суммой активных температур (+5 °С) более 900 °С. В качестве пожнивных в условиях Южной агроклиматической области можно возделывать крестоцветные культуры (редька масличная, озимый и яровой рапс, озимая и яровая сурепица, горчица белая, горохоовсяная смесь, викоовсяная смесь, райграс однолетний, люпин кормовой). Благоприятны условия и для выращивания картофеля, кроме среднепоздних и поздних сортов. Ежегодно можно получать высокий урожай зеленой массы всех сортов кукурузы и зерна скороспелых сортов. Климат Южной агроклиматической области благоприятен для получения высоких урожаев сахарной свеклы.

В целом в Южной агроклиматической области можно успешно развивать производство основных сельскохозяйственных культур, а также теплолюбивых (кукуруза, огурцы, томаты). В последнее время в ряде южных районов, особенно на легких почвах, влагообеспеченность основных сельскохозяйственных культур бывает недостаточной из-за увеличения повторяемости засух и засушливых явлений.

Новая агроклиматическая область. Новая агроклиматическая область за период потепления расширила свои границы и теперь занимает южную часть Полесской провинции. Ее граница в Гомельской области значительно сместилась на север, особенно на юго-востоке. В ее состав входят южная часть Брестской и Гомельской административных областей.

Климат Новой агроклиматической области характеризуется самой короткой и теплой в пределах Беларуси зимой и наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом. Новая агроклиматическая область отличается от всех описанных выше агроклиматических областей более высокими температурами зимы и лета. Так, средняя температура воздуха января самой теплой южной агроклиматической области равна минус 3,3 °С и колеблется по территории области от минус 3,9 °С на востоке в Гомеле до минус 2,1 °С на западе области в Бресте. Это теплее Северной агроклиматической области на 1,1 °С. Значительно теплее здесь и в июле – почти на 2,0 °С, чем на севере. В Новой агроклиматической области средняя месячная температура воздуха в июле колеблется от 19,6 до 20,4 °С и в среднем составляет 19,8 °С.

В Новой агроклиматической области весна и лето начинаются раньше и заканчиваются позже, чем в других агроклиматических областях страны. Здесь самая большая продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 0 °С (263 дня) – 257 дней на востоке области в Гомеле и 280 дней на юго-западе области в Бресте. Вегетационный период (период со средней суточной температурой воздуха выше 5 °С) также самый длинный в Беларуси: от 209 дней на юго-востоке области в Брагине до 222 дней на юго-западе области в Бресте. В среднем по области этот период равен 213 дней. Сумма температур за вегетационный период колеблется от 2973 °С в Брагине до 3142 °С на западе области в Бресте. Средняя по области сумма температур за вегетационный период наибольшая для Беларуси и составляет 3034 °С.

Наибольший и период активной вегетации (период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С). В среднем по области он составляет 163 дня, что на три недели длиннее, чем в Северной и на одну неделю, чем в Южной агроклиматических областях. Соответственно, что за период активной вегетации накапливается тепла на 467–579 °С больше, чем в Северной и на 147–206 °С больше, чем в Южной агроклиматических областях. В среднем по области сумма температур за период активной вегетации составляет 2667 °С и колеблется от 2607 на севере области в Житковичах до 2746 °С на востоке области в Гомеле.

Продолжительность самого теплого периода лета (период со средней суточной температурой воздуха выше 15 °С) находится в пределах от 106 дней на севере области в Житковичах до 114 дней на востоке области в Гомеле и в среднем по области составляет 109 дней, являясь наибольшей для Беларуси.

В Новой агроклиматической области отмечается наибольшая и продолжительность безморозкового периода: в среднем 164 дня – от 148 дней в Брагине до 178 в Гомеле.

Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ниже 0 °С в Новой агроклиматической области меньше на 16 дней, чем в Северной и на 5 дней, чем в Южной агроклиматических областях и колеблется от 108 дней на востоке области в Гомеле до 85 дней на юго-западе области в Бресте и в среднем по области составляет 102 дня. Наиболее коротким здесь является и период залегания снежного покрова: 72 дня на юго-западе области в Бресте, 90 дней на северо-востоке области в Гомеле и в среднем по области составляет 80 дней.

Годовая сумма осадков в Новой агроклиматической области составляет 638 мм с максимумом (733 мм) в Житковичах и минимумом (563 мм) в Брагине. В теплый период выпадает в среднем по области 439 мм. В распределении осадков по территории области в теплый период отмечается та же тенденция, что и за год – от 388 мм в Брагине до 497 мм в Житковичах. ГТК за май–июль колеблется от 1,2 на крайнем юго-востоке области в Брагине, до 1,7 на севере области в Житковичах. За период с температурой выше 10 °С ГТК в Новой агроклиматической области изменяется от 1,2 на юго-западе в Бресте и юго-востоке в Брагине до 1,5 в Житковичах. Наименьших значений ГТК достигает в августе и составляет от 0,9 в Гомеле до 1,3 в Житковичах.

Мягкопластичное состояние почвы в среднем наступает в третьей декаде марта (22.III – 31.III). Обработка легких почв возможна и в более ранние сроки.

На большей части территории Новой агроклиматической области в слое почвы 0–20 см в течение вегетационного периода содержится от 20 до 45 мм продуктивной влаги, в апреле в Пинске и Жлобине – 48–54 мм продуктивной влаги. На супесчаных почвах (Брест) запасы

продуктивной влаги в слое 0–20 см в отдельные декады июня и июля составляют 18–19 мм, что недостаточно для нормального развития растений. Повторяемость почвенных засух в мае составляет 37 %, в июне, июле и августе увеличивается до 70–74 %. Высокая повторяемость почвенных засух на территории Новой агроклиматической области остается в сентябре – 56 %, в октябре она составляет 19 %.

В Новой агроклиматической области на большей части территории почвы начинают промерзать в третьей декаде ноября. На юге области на песчаных почвах в Лельчицах промерзание почвы отмечают со второй декады декабря. Максимальная глубина промерзания почвы в большинстве лет наблюдается с третьей декады января по третью декаду февраля. В этот период глубина промерзания на супесчаных почвах составляет 21–35 см, на песчаных – 20–26 см. Повторяемость числа дней с отрицательными температурами воздуха минус 20 °С и ниже и высотой снега 10 см и ниже колеблется от 33 % на северо-востоке области до 52 % на юго-востоке области в Брагине, расположенном в Гомельском Полесье. В среднем по области повторяемость числа дней с отрицательными температурами воздуха минус 20 °С и ниже и высотой снега 10 см и ниже составляет 43 %.

Новая агроклиматическая область характеризуется наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом и неустойчивым увлажнением. Число дней с температурой воздуха равной и выше 25 °С в среднем по области составляет 56 дней. Это на 8 дней больше, чем в Южной агроклиматической области, на 19 дней больше, чем в Центральной области и на 25 дней, чем в Северной агроклиматической области. Следует отметить, что отличительной особенностью Новой агроклиматической области являются частые продолжительные засухи и другие засушливые явления, которые приводят к истощению запасов почвенной влаги и нарушению водного баланса растений, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах. В южных районах на очень легких по механическому составу почвах дефицит почвенной влаги может привести к большим потерям урожая.

Агроклиматические условия этой области по теплообеспеченности в целом благоприятны как для возделывания основных сельскохозяйственных культур, так и некоторых южных теплолюбивых культур, которые ранее являлись нетипичными для этой территории. К таким относятся кукуруза, соя, подсолнечник, просо, сорговые культуры и др. В сложившихся агроклиматических условиях урожай картофеля в этом регионе зачастую бывает пониженным. Высокая температура в период клубнеобразования вызывает замедление роста клубней. Достаточное количество сумм температур позволяет получать качественно зрелое зерно кукурузы. В неблагоприятные годы для зерновых колосовых культур, когда они в ранние фазы подвержены засухе, урожайность кукурузы получается чаще всего высокой. Ареал ее культивации постоянно увеличивается. Для получения высоких урожаев зерна сои решающими являются метеорологические условия июля–августа, а именно, средняя суточная температура и относительная влажность (70–75 %, минимум 60 %). Метеорологические условия последних лет характеризуются как особенно экстремальные (лето жаркое и сухое). Это ускоряет прохождение фаз роста и развития растений, что в целом негативно сказывается на получении урожая сои, поскольку лимитирующим для нее является влагообеспеченность. Агроклиматические ресурсы Новой агроклиматической области хорошо подходят для выращивания подсолнечника. Он обладает мощной, хорошо развитой корневой системой, поэтому относительно устойчив к засухе, но при этом сильно истощает почву и требует высокого уровня агротехники. Сорго – культура более засухоустойчивая, чем травы, зерновые и кукуруза (у них более развита корневая система и ниже транспирационный коэффициент), менее требовательна к плодородию почвы, требует меньшего количества удобрений. Используется для получения зеленого корма, силоса, зерна (последнее относится к зерновому сорго). Возможно двуукосное использование сорго. В Новой агроклиматической области после уборки озимых культур до наступления осенних холодов остается 90–100 дней с суммой активных температур (выше +5 °С) 950–1200 °С, что достаточно для получения кормов от пожнивных культур.

Выводы. Уточнены границы агроклиматических областей на территории Республики Беларусь по суммам температур выше 10 °С за период потепления (1989–2015) и их местоположение с учетом физико-географического районирования территории. Представлены значения климатических и агроклиматических показателей в пределах новых границ агроклиматических областей, характеризующие условия произрастания сельскохозяйственных культур. Оценены агроклиматические ресурсы и условия произрастания основных сельскохозяйственных культур в пределах выделенных границ агроклиматических областей.

Полученные результаты исследования могут быть использованы в погодозависимых отраслях в первую очередь в Министерстве сельского хозяйства и продовольствия и Министерстве лесного хозяйства Республики Беларусь при планировании и принятии управленческих решений с учетом изменения климатических и агроклиматических ресурсов, а также в высших учебных заведениях Министерства образования при подготовке программ, учебных пособий, информационных материалов, связанных с оценкой климатических и агроклиматических ресурсов в условиях современного изменения климата.

Список использованных источников

1. Изменения климата и их последствия / В. Ф. Логинов [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Логинова: Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии; Нац. акад. наук Беларуси. – Минск: Тонпик, 2003. – 330 с.
2. Мельник, В. И. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия / В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы: сб. науч. тр. – Минск: Бел НИЦ «Экология», 2011. – С. 77–84.
3. Мельник, В. И. Основные результаты мониторинга изменения климата на территории Республики Беларусь // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 6–7 апреля 2016, Брест (Республика Беларусь). – Брест, 2016. – С. 228–235.
4. Логинов, В. Ф. Изменение площадей агроклиматических областей на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование: сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 47–52.
5. Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси / Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период потепления. Выбор критериев агроклиматического районирования: отчет по НИР (заключ.) № госрегистрации 20163200/ Белгидромет. – Минск, 2016. – 103 с.
6. Melnik, V. I. Features of Climate Change on the Territory of the Republic of Belarus / V. I. Melnik, E. V. Komarovskaya // Materials of 7th Conference on BALTEX, Borgholm, Island of Öland, Sweden, 2013. – P. 80–81.
7. Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси / Оценка агроклиматических ресурсов и новое агроклиматическое районирование территории Беларуси с учетом изменения климата: отчет по НИР (заключ.) № госрегистрации 20171431/ Белгидромет. – Минск, 2017. – 132 с.
8. Ермохин, М. В. Современная динамика южной границы сплошного распространения ели (*Piceaabies Karst.*) в Беларуси / М. В. Ермохин, А. В. Пугачевский // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2009. – № 1. – С. 51–55.
9. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 494 с.
10. Природа Беларуси: в 3 т. Т. 1. Земля и недра / редкол: Т. В. Белова [и др.]. – Минск: Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2003. – 464 с.
11. Мельник, В. И. Оценка позитивных и негативных последствий потепления климата для условий произрастания сельскохозяйственных культур на территории Беларуси / В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Десять лет сотрудничества России и Беларуси в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды и перспективы его дальнейшего развития: сб. докл. науч.-практ. конф., 12–14 декабря 2006г. – М., 2006. – С. 218–221.
12. Мельник, В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.23. / В. И. Мельник; Бел. гос. ун-т. – Минск, 2004. – 21 с.
13. Логинов, В. Ф. Проблемы повышения адаптивной способности Республики Беларусь к изменениям климата / В. Ф. Логинов, В. В. Коляда // Природопользование: сб. науч. тр. – Минск, 2015. – Вып. 28. – С. 5–13.
14. Агроклиматический справочник / под ред. Н. А. Малишевской. – Минск, Урожай, 1970. – 248 с.
15. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск: Вышэйш. шк., 1973. – 300 с.
16. Мельник, В. И. Возможные изменения климатических и агроклиматических характеристик в XXI веке на территории Беларуси и их влияние на сельское хозяйство / В. И. Мельник, Я. А. Соколовская, Е. В. Комаровская // Природные ресурсы. – 2017. Вып. 2. – С. 118–125.

Поступила 10.07.2018

В. В. Божкова, А. М. Людчик, С. Д. Умрейко

*Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Минск, Беларусь,
e-mail: hamster3991@mail.ru, liudchikam@tut.by, umreiko@tut.by*

ТРАНСФОРМАЦИЯ ОЗОнового СЛОЯ В СРЕДНИХ ШИРОТАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

С использованием данных спутниковых наблюдений за период 1978–2017 гг. определены динамические климатические нормы и многолетние тренды общего содержания озона в средних широтах Северного полушария (30 – 60°N). Показано, как в течение периода наблюдений изменялся годовой ход общего содержания озона над различными регионами. Обсуждается специфика изменения состояния озоносферы в зависимости от широты и долготы. Повсеместно отмечается увеличение общего содержания озона в зимний период, увеличение весной (за исключением северных широт Европы и Азии) и продолжающееся снижение летом (за исключением северных широт Америки) в течение последних 17 лет. Приведены многолетние тренды общего содержания озона в разных регионах и в целых широтных поясах 30 – 40°N, 40 – 50°N, 50 – 60°N в зависимости от сезона.

Ключевые слова: стратосферный озон, Монреальский протокол, озоноразрушающие вещества, озоновый слой, многолетний тренд

V. V. Bozhkova, A. M. Liudchik, S. D. Umreika

*National Ozone Monitoring Research and Education Center of the Belarusian State University, Minsk, Belarus,
e-mail: hamster3991@mail.ru, liudchikam@tut.by, umreiko@tut.by*

TRANSFORMATION OF THE OZONE LAYER IN THE MID LATITUDES OF THE NORTHERN HEMISPHERE

Using data from satellite observations for the period of 1978–2017, one has determined dynamic climatic norms and long-term trends of total ozone in the mid latitudes of the northern hemisphere (30 – 60°N). The annual course of total ozone has been shown as changing over the various regions during the period of observations. The specific features of alteration in the state of the ozonosphere depending on latitude and longitude have been discussed. Thus, one has revealed a general increase in total ozone in winter, an increase in spring (except for the northern latitudes of Europe and Asia), and a continuing decrease in summer (except for the northern latitudes of America) during the last 17 years. The long-term trends of total ozone for different regions and latitudinal zones (30 – 40°N, 40 – 50°N, and 50 – 60°N) have been given as depending on the season.

Keywords: stratospheric ozone, Montreal Protocol, ozone-depleting substances, ozone layer, long-term trend

В. У. Бажкова, А. М. Людчык, С. Дз. Умрэйка

*Нацыянальны навукова-даследчы цэнтр маніторынгу азонасферы БДУ, Мінск, Беларусь,
e-mail: hamster3991@mail.ru, liudchikam@tut.by, umreiko@tut.by*

ТРАНСФАРМАЦЫЯ АЗОНАВАГА СЛОЮ ў СЯРЭДНІХ ШЫРОТАХ ПАЎНОЧНАГА ПАЎШАР'Я

З выкарыстаннем дадзеных спадарожнікавых назіранняў за перыяд 1978–2017 гг. вызначаны дынамічныя кліматычныя нормы і шматгадовыя трэндны агульнай колькасці азону ў сярэдніх шыратах Паўночнага паўшар'я (30 – 60°N). Паказана, як на працягу перыяду назіранняў змяняўся гадавы ход агульнай колькасці азону над рознымі рэгіёнамі. Абмяркоўваецца спецыфіка змены стану азонасферы ў залежнасці ад шыраты і даўгаты. Паўсюдна адзначаецца павелічэнне агульнай колькасці азону ў зімовы перыяд, павелічэнне вясной (за выключэннем паўночных шырот Еўропы ды Азіі) і няспынае зніжэнне ўлетку (за выключэннем паўночных шырот Амерыкі) на працягу апошніх 17 гадоў. Прыведзены шматгадовыя трэндны агульнай колькасці азону ў розных рэгіёнах і ў шыротных зонах 30 – 40°N, 40 – 50°N, 50 – 60°N у залежнасці ад сезону.

Ключавыя словы: стратасферны азон, Манрэальскі пратакол, азонаразбуральныя рэчывы, азоны слой, шматгадовы трэнд

Введение. В 80-х годах XX века внимание ученых было обращено на стратосферный озоновый слой, защищающий все живое на Земле от губительного коротковолнового ультрафиолетового солнечного излучения. Было доказано, что широко применяемые в промышленности и быту хлорфторуглероды, попадая в атмосферу, достигают высот стратосферы и там, разлагаясь под действием жесткого ультрафиолетового излучения, способствуют разрушению

озонового слоя [1, 2]. Наблюдения подтвердили выводы ученых, и международным сообществом было принято беспрецедентное решение по сокращению и запрещению производства ряда озоноразрушающих веществ – Монреальский протокол [3]. Одной из целей непрерывно ведущегося мониторинга общего содержания озона в атмосфере является оценка эффективности реализованных мероприятий. Установлено, что с конца прошлого столетия состояние озоносферы стабилизировалось, и в последние годы происходит постепенное увеличение общего содержания озона. Ожидается, что восстановление озонового слоя произойдет в течение ближайших десятилетий [4–7].

В связи с реализацией Монреальского протокола и дополнений к нему исследователей интересует вопрос, насколько плодотворными оказались предпринятые мероприятия для восстановления защитного озонового слоя. Решение задачи осложняется тем, что в изменение состояния озоносферы, помимо озоноразрушающих веществ, вносят существенный вклад и другие факторы. В частности, чтобы выделить искомый эффект из результатов наблюдений нужно исключить влияние динамических процессов, происходящих в стратосфере, флуктуаций солнечной активности, мощных вулканических извержений и т.п. [5, 7–10]. Эта задача до сих пор не получила окончательного решения и вызывает дискуссии по поводу методики анализа и совокупности учитываемых факторов, влияющих на озон [7–16]. Согласно одной из популярных регрессионных моделей [5, 7], содержание озона в стратосфере быстро линейно снижалось до приблизительно 1996 г., а потом стало расти (модель «хоккейной клюшки»). Другая модель составного линейного тренда допускает резкий скачок общего содержания озона после того, как концентрация в стратосфере озоноразрушающих веществ начала уменьшаться [7]. Использование в уравнении регрессии в качестве объясняющей переменной медленно меняющейся со временем концентрации озоноразрушающих веществ в стратосфере приводит к многолетнему тренду, мало отличающемуся от «клюшки» [5, 7]. Между тем, из физических соображений понятно, что долговременный тренд озона не может претерпевать резких и быстрых изменений, поскольку происходящие в стратосфере глобальные изменения занимают весьма длительный период времени из-за ее очень большой массы. Нерешенной проблемой является также корректный учет взаимовлияния изменения содержания озона в стратосфере и происходящих в ней динамических процессов [4, 9, 13, 14]. Примером является связь содержания озона с температурой стратосферы – фактором, влияющим на его динамику и скорость химических реакций с участием озона. Поэтому корректность искусственного разделения эффектов, порожденных изменением динамики стратосферы, и эффектов, вызванных изменением содержания в ней озоноразрушающих веществ, нуждается в более убедительном обосновании.

Более простой подход удается реализовать, если отвлечься от проблемы оценки эффективности Монреальского протокола. Среди специалистов до сих пор существует различное понимание термина «восстановление озонового слоя» [4, 9, 14]. Наверное, все разнообразие интерпретаций этого термина представлено в [9]. Авторы настоящей публикации воспользовались правом выбора и в дальнейшем предлагают понимать «восстановление» как возврат общего содержания озона к значениям «дофреоновского периода», что также означает снижение интенсивности солнечного коротковолнового ультрафиолетового излучения у поверхности земли до уровня прежних значений. Такой выбор позволяет отвлечься от анализа конкретных механизмов, влияющих на стратосферный озон, и сосредоточиться исключительно на изменении его общего содержания в течение периода наблюдений. В этом случае то, что играет определяющую роль в изменении содержания стратосферного озона не является предметом исследования, главный вопрос – увеличивается ли общее содержание озона и соответственно уменьшается ли уровень солнечного ультрафиолетового излучения, опасного для всего живого на земле? Безусловно, положительный ответ на этот вопрос имеет не меньшее значение, чем оценка эффективности Монреальского протокола. Тем более, что главной мотивацией Протокола явилось стремление избежать риска для здоровья и других последствий увеличения уровня ультрафиолетового излучения.

Нами были рассчитаны климатические нормы общего содержания озона и многолетние тренды в предположении их квадратичного характера для нескольких регионов в средних широтах Северного полушария с использованием данных спутниковых наблюдений и относительно новой концепции динамической климатической нормы. Плодотворность подхода продемонстрирована ранее на примерах анализа поведения различных метеорологических переменных [17–21].

По своей сути, концепция динамической климатической нормы весьма близка к множественной линейной регрессии, используемой для анализа рядов наблюдений за общим содержанием озона. Однако она не требует обязательного месячного (или годового) усреднения наблюдений, обычно применяемого в регрессионном анализе поведения озона, поскольку способна адекватно учитывать ежедневные измерения в условиях неравномерности их рядов.

Динамическая климатическая норма. Динамическая климатическая норма параметра климата, в отличие от общепринятого определения, как многолетнего среднего, допускает свое изменение в течение периода наблюдений. Обнаруживаемый в ходе расчета нормы тренд является также основой прогноза будущего развития событий.

Согласно [17–21], наблюдаемое в момент времени t значение климатической переменной $y(t)$ представляется в виде

$$y(t) = Y(t) + y'(t). \quad (1)$$

Здесь $Y(t)$ – ожидаемое на этот момент значение (климатическая норма)

$$Y(t) = A(t) + Tr(t), \quad (2)$$

$y'(t)$ – отклонения от нормы (флуктуации или аномалии) наблюдаемых значений. Переменная t является порядковым номером дня от начала наблюдений.

Климатическая норма содержит циклическую составляющую $A(t) = A(t + T)$, где T – период, равный длительности года, и многолетний тренд $Tr(t)$, отражающий медленные по сравнению с циклической составляющей изменения нормы во времени. В случае линейной модели тренда составляющая нормы $Tr(t)$ представляется в виде произведения: $Tr(t) = B(t)t$, где $B(t)$ – циклическая функция ($B(t) = B(t + T)$), описывающая сезонную изменчивость тренда. Если есть основания предположить более сложный характер тренда, например квадратичный, то следует использовать выражение $Tr(t) = B(t)t + C(t)t^2$, $C(t) = C(t + T)$. Развивая предложенный подход, можно построить модель достаточно сложной зависимости тренда от времени. В частности, дополняя модель тренда соответствующими зависимостями можно (при желании) учесть влияние на общее содержание озона таких эффектов, как динамические процессы в стратосфере, изменение солнечной активности и т.п.

С учетом сказанного нетрудно заметить, что выражения (1) и (2) в сумме полностью эквивалентны уравнению множественной линейной регрессии (см., например, уравнение (1) в [10]), традиционно используемому для анализа поведения стратосферного озона. Тем не менее, понятие о климатической норме и ее многолетнем тренде более привычно для большинства исследователей, интересующихся климатологией, и приемлемо в применении к климатологии озоносферы. По определению климатическая норма предполагает абстрагирование от причин, вызывающих ее сезонные и долговременные изменения. Ее цель – дать описание осредненного сезонного поведения параметра климата, а в случае динамической климатической нормы – также и проанализировать долговременные изменения, обнаруженные за период наблюдений.

Циклические функции $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ удобно аппроксимировать разложением в ограниченный ряд Фурье, что также решает проблему неравномерности рядов измерений [20]:

$$A(t) = \sum_{p=1}^{Q_A} a_p \varphi_p(t), \quad (3)$$

и аналогично для функций $B(t)$, $C(t)$. Здесь

$$\varphi_p(t) = \begin{cases} \sin(2\pi mt / T), & \text{если индекс } p \text{ четный,} \\ \cos(2\pi mt / T), & \text{если индекс } p \text{ нечетный,} \\ m - \text{целая часть } (p / 2), \end{cases} \quad (4)$$

$$Q_A = 2M_A + 1. \quad (5)$$

Целочисленный параметр M_A определяет длину разложения функции и выбирается на основании предварительного анализа особенностей сезонного хода климатической переменной. Длина разложения может быть индивидуальной для каждой из рассматриваемых циклических функций.

Анализируя накопленные ряды наблюдений, можно выявить происходившие изменения в состоянии озоносферы. Тенденции, обнаруженные в предыдущей истории озонового слоя, вероятно, будут сохраняться некоторое время и в будущем. Статистический анализ данных наблюдений является весьма мощным инструментом для предсказания будущего развития исследуемого процесса. Однако к получаемым результатам следует относиться с осторожностью: без глубокого понимания физических механизмов, управляющих процессом, можно только предполагать, что его поведение, изученное за период наблюдений и подтвержденное вероятностной оценкой достоверности анализа, сохранится на некоторое время и в будущем.

Исходные данные и детали расчета. Для расчетов использованы данные спутниковых измерений общего содержания озона приборами TOMS (1978–1993, 1996–2004) и OMI (2005–2017) [22]. Расчеты проведены для регионов, находящихся в полосе широт 30 – 40°N, 40 – 50°N, 50 – 60°N и в интервалах долгот 75 – 120°W (Америка), 15 – 60°W (Атлантика), 5 – 50°E (Европа), 70 – 115°E (Азия), а также и для целых широтных поясов (рис. 1). Данные за каждый день измерений в узлах спутниковой сетки, попадающих в границы выбранного региона, усреднялись и далее обрабатывались по единой методике.

Для определения климатической нормы общего содержания озона использованы следующие значения параметров: тренд – квадратичный, $M_A = M_B = M_C = 3$. Увеличение длины разложений хотя и способно незначительно уменьшить необъясненную дисперсию, приводит к появлению физически необоснованных случайных флуктуаций [10] функций $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$. Квадратичная модель тренда так же как и составная линейная допускает существование минимума общего содержания озона в многолетних рядах наблюдений, однако отличается более плавным ходом. Параметры климатической нормы определяются посредством минимизации функционала:

$$F = \sum_t (Y(t) - y(t))^2. \quad (6)$$

Результаты расчетов. Для проверки методики предварительно были проведены расчеты для региона, охватывающего Беларусь (50 – 57°N, 23 – 32°E). Цель – сравнение с результатами, полученными ранее для г. Минска. В работе [23] было установлено, что общее содержание озона над городом прошло через свой минимум в начале нынешнего столетия и стало постепенно увеличиваться. Через несколько лет расчеты были повторены [24] с учетом новых данных наблюдений и также привели к благоприятному прогнозу, хотя и менее оптимистичному. Поскольку характерные размеры неоднородностей озоносферы сопоставимы с размерами Беларуси, очевидно, что нет оснований ожидать существенных изменений по сравнению с прошлыми расчетами. Действительно, климатические нормы и тренды для всей Беларуси и города практически не различаются. Более того, результаты, полученные для Беларуси, совсем незначительно отличаются от «европейских» в интервале широт 50 – 60°N. Поэтому приведенные ниже результаты для данного региона оказываются справедливыми для Беларуси в целом и для Минска, в частности.

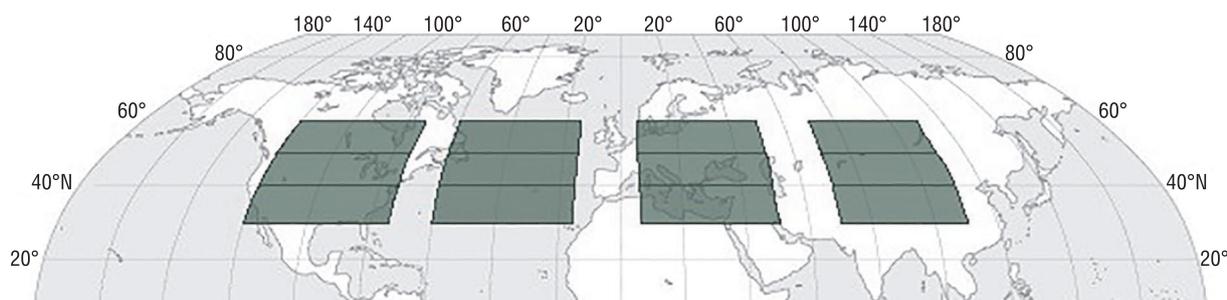


Рис. 1. Регионы, для которых рассчитаны климатические нормы и тренд общего содержания озона

В дальнейшем авторы акцентируют внимание на анализе качественных изменений состояния озоносферы в течение 40 лет спутниковых наблюдений, полагая, что количественные оценки будут продолжать уточняться со временем. Рис. 2 демонстрирует особенности широтного распределения общего содержания озона в средней полосе Северного полушария и изменения, произошедшие за период наблюдений. На рис. 2, а представлены все данные наблюдений за общим содержанием озона для каждого широтного пояса, данные с исключенным многолетним трендом и циклические части климатических норм – годового хода на начало периода (1978 г.). Общее содержание озона растет с увеличением широты, а годовой ход становится более плавным и приближается к чистой синусоиде. На рис. 2, б показано, как с годами менялся годовой ход общего содержания озона в разных широтных поясах. После 2000 г. заметен рост в зимнее и весеннее время. Осенью общее содержание озона почти не меняется в течение последних 17 лет и продолжает снижаться летом. Это летнее снижение особенно неприятно, поскольку совпадает с сезонным максимумом солнечной радиации, когда защитная функция озонового слоя наиболее востребована.

Тренды среднегодовых значений показывают, что в текущем столетии общее содержание озона повсеместно начало увеличиваться (рис. 3). Однако в поведении трендов проявляются различия между отдельными регионами, расположенными на одной широте. Источники возникновения такого различия в свободной атмосфере отсутствуют, поэтому следует признать, что его существование является результатом влияния подстилающей поверхности на динамику стратосферы. Можно с уверенностью утверждать, что в случае отсутствия на Земле неравномерно распределенных материков, наблюдаемое различие полностью бы отсутствовало. Передаточные механизмы этого влияния также известны – это стационарные планетарные волны, генерируемые за счет неоднородностей поверхности Земли, неравномерности ее нагрева и распространяющиеся вверх до высот стратосферы и мезосферы [12, 13, 25].

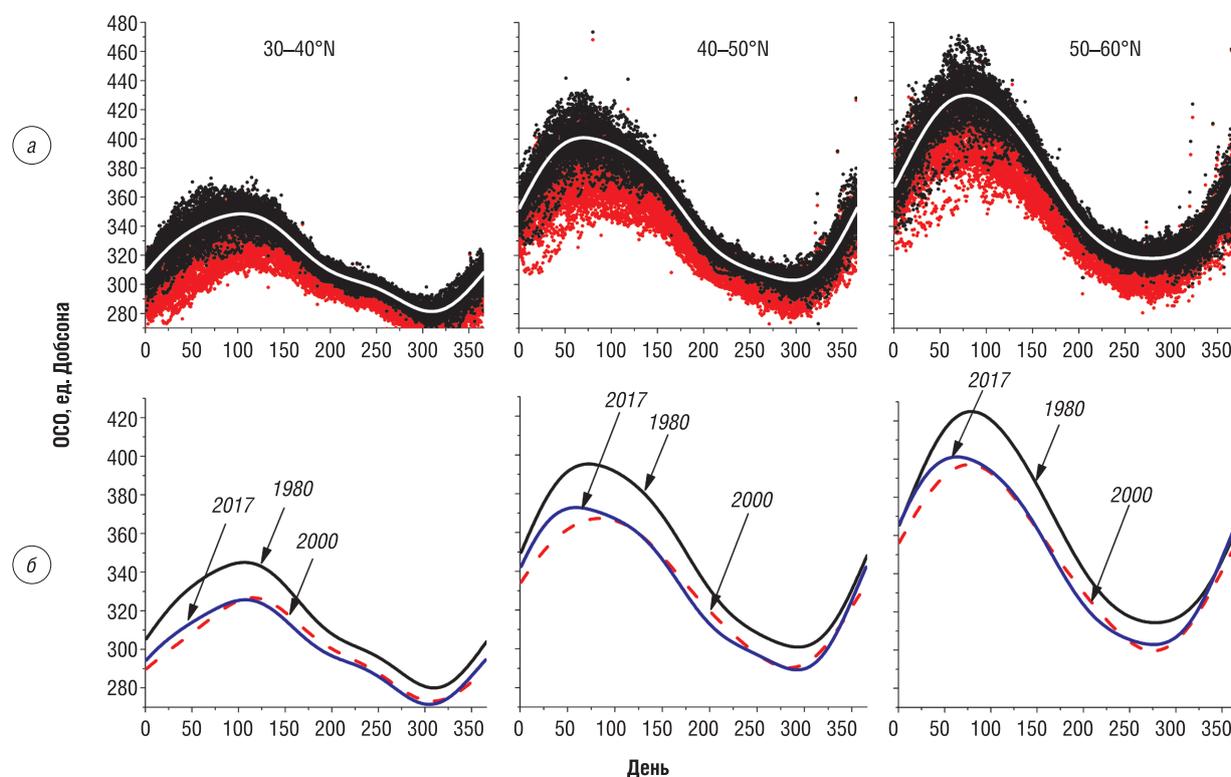


Рис. 2. Данные наблюдений и годовой ход климатической нормы общего содержания озона в различных широтных поясах: а – вся совокупность наблюдений в каждом широтном поясе (красный), данные наблюдений с исключенным многолетним трендом (черный), годовой ход климатической нормы на начало периода (1978 г., белый); б – годовой ход климатической нормы общего содержания озона в разных широтных поясах в 1980, 2000 и 2017 гг.

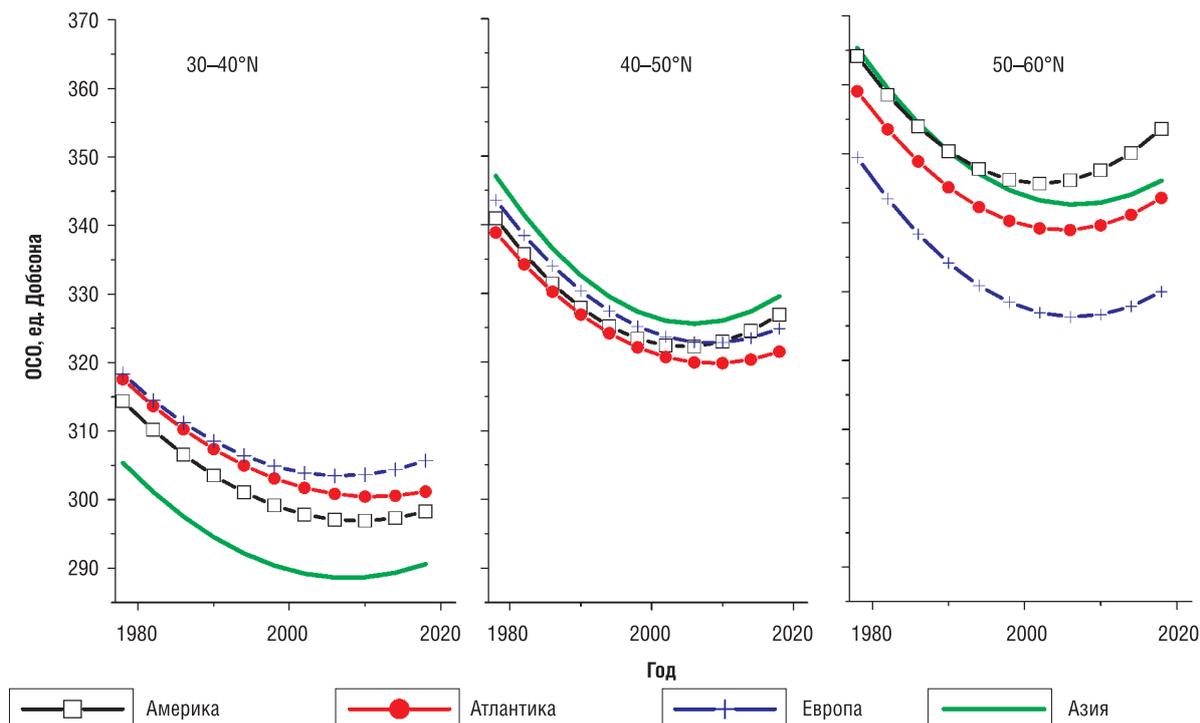


Рис. 3. Многолетние тренды среднегодовых значений общего содержания озона (ОСО)

Различия в годовом ходе и среднегодовых значениях общего содержания озона между отдельными регионами одного широтного пояса существовали и ранее [12], но за последние 40 лет произошли существенные изменения. Так, в полосе широт 30 – 40°N среднегодовое содержание озона над Атлантикой и Европой в начале анализируемого периода практически совпадало, но затем над Атлантикой оно стало уменьшаться заметно быстрее, чем над Европой, и образовавшаяся разница продолжает увеличиваться.

На широтах 40 – 50°N среднегодовые значения общего содержания озона во всех регионах были изначально близки друг другу (особенно над Америкой и Европой) и эта близость достаточно хорошо сохранилась к 2017 г. Интересно также отметить, что в более южной широтной полосе наименьшие среднегодовые значения озона были над Азией, а в данной полосе они наибольшие.

В интервале широт 50 – 60°N больше всего озона в начале периода также было над Азией, но затем ситуация изменилась: среднегодовые значения для азиатского региона приблизились к «атлантическим», а лидирующие позиции занял американский регион.

Меняющиеся по-разному на разных долготах многолетние тренды свидетельствуют о взаимовлиянии общего содержания озона и динамики стратосферы. В отсутствие такого взаимовлияния можно было бы ожидать сохранения соотношения между трендами на разных долготах независимо от разрушительной роли хлорфторуглеродов. Поскольку такое соотношение на самом деле меняется, значит, содержание озона в стратосфере влияет на ее динамику, в том числе и на эффективность волновых процессов. Другая гипотеза заключается в изменении климата стратосферы, не связанном с изменяющейся концентрацией озона.

Более детальные особенности в поведении озона над различными регионами обнаруживаются на графиках его годового хода в 1980, 2000 и 2017 гг. (рис. 4). Здесь также четко проявляется разница между регионами, находящимися в одном широтном поясе. Например, видно различие во времени весеннего озонного максимума и его амплитуде на разных долготах.

В полосе широт 30 – 40°N наиболее существенные изменения после 2000 г. произошли только над Европой и Америкой – общее содержание озона увеличилось в зимний сезон. И заметно, что осенний минимум над Америкой продолжает углубляться. В остальных регионах изменения незначительные. Для этого широтного пояса наиболее четко проявляется отличие годового хода общего содержания озона от чистой синусоиды.

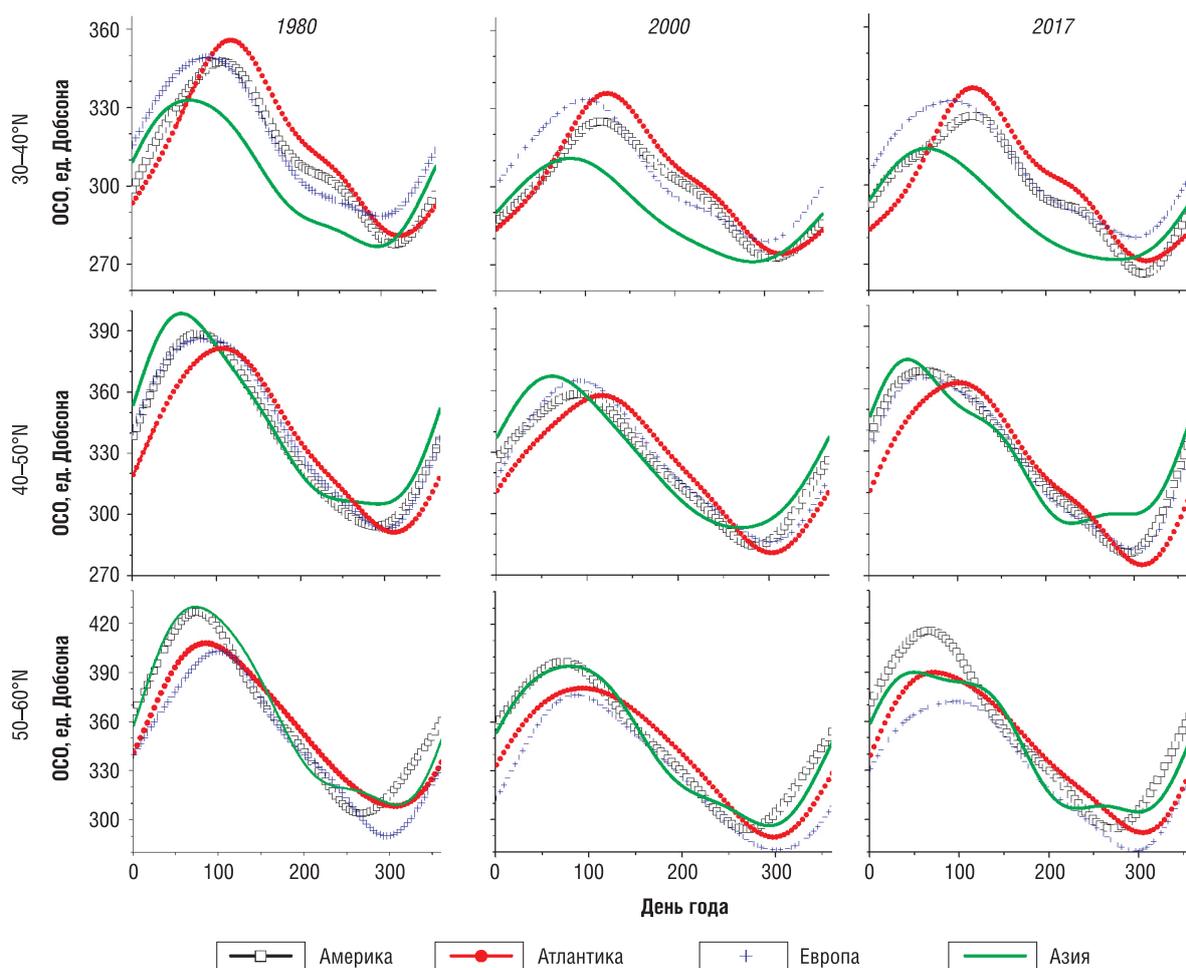


Рис. 4. Годовой ход общего содержания озона на разных широтах Северного полушария в 1980, 2000 и 2017 гг.

В интервале широт 40 – 50°N зимой и весной после 2000 г. заметен рост во всех регионах. В осенний период происходит дальнейшее снижение общего содержания озона над Америкой и Атлантикой и его увеличение над Азией.

Годовой ход общего содержания озона над Азией и Америкой в полосе широт 50 – 60°N практически совпадал в 1980 и 2000 гг. вплоть до начала осени, синхронно уменьшаясь к 2000 г. А в 2017 г. уже заметна существенная разница: весенний максимум над Америкой вырос, а над Азией остался почти на прежнем уровне. Озон над Атлантикой был близок к «европейскому» в 1980 и 2000 гг. зимой, весной и летом. Однако в 2017 г. общее содержание озона над Азией сблизилось с «атлантическим», а озон над Европой продолжил уменьшение.

Следует также заметить, что время наступления сезонного минимума общего содержания озона зависит не только от региона, но меняется при переходе от одного широтного пояса к другому.

Дополнительную информацию об изменении состояния озоносферы можно получить, анализируя многолетние тренды климатической нормы общего содержания озона в различные сезоны. На рис. 5 приведены графики значений динамической климатической нормы для каждого региона, рассчитанные на 15 января (зима), 15 апреля (весна), 15 июля (лето) и 15 октября (осень). Это результаты статистической обработки, поэтому они необязательно совпадают с данными наблюдений.

Сезонные тренды в период 1978–2000 гг. для широтной полосы 50 – 60°N качественно согласуются с описанными в работе [26]. В частности, до 2000 г. озон снижался во все сезоны, быстрее всего весной и медленнее всего летом и осенью. Наиболее сильное снижение происходило в весенний период над азиатским регионом.

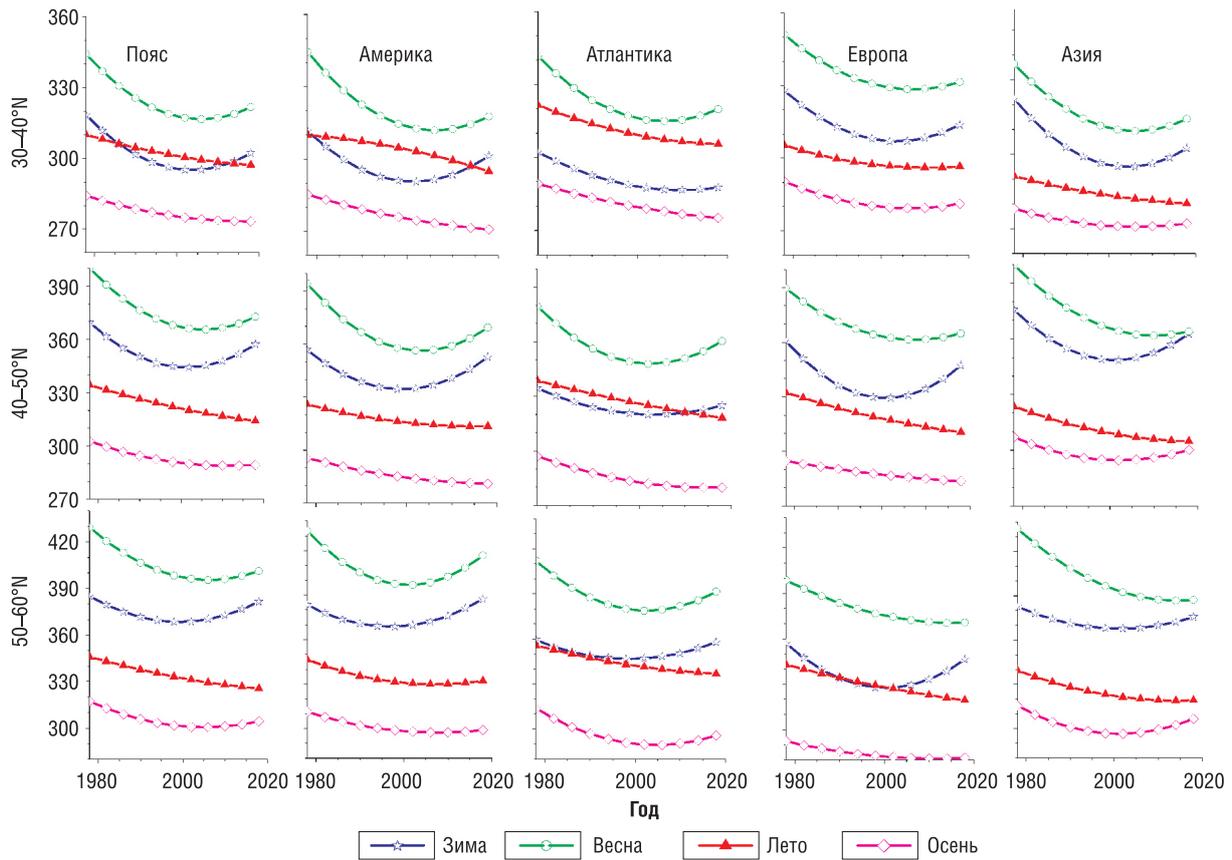


Рис. 5. Сезонные тренды общего содержания озона в различных регионах

После 2000 г. зимой содержание озона над всеми регионами растет. Весной растет всюду, кроме европейского региона в интервале широт 50 – 60°N и азиатского в интервале 40 – 60°N. Летом повсеместно продолжается снижение общего содержания озона, и только над Америкой (50 – 60°N) «летний озон» стабилизировался. Осенью над большинством регионов также происходит снижение общего содержания озона и только в самой северной широтной полосе видны признаки стабилизации и роста.

О модели многолетнего тренда. В ходе исследования авторы ограничились квадратичной моделью тренда – простейшей зависимостью, допускающей экстремум климатического параметра в многолетнем тренде. Была опробована и более «гибкая» модель – аппроксимация многолетнего тренда общего содержания озона полиномом третьей степени.

Результаты расчетов с кубической моделью тренда почти не отличаются от полученных с квадратичным аналогом во все сезоны, кроме весны: в последние годы кубическая добавка выявляет тенденцию к сильному снижению общего содержания озона в весенний период (рис. 6).

Похоже, что дополнительная степень свободы в модели тренда «почувствовала и оценила» снижение среднегодового озона,

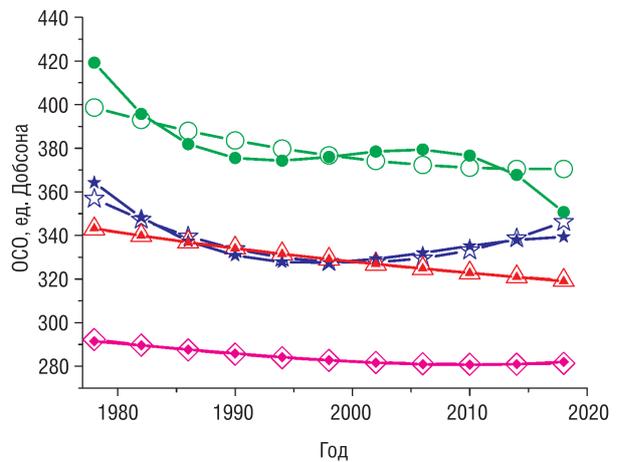


Рис. 6. Сезонные тренды общего содержания озона над Европой (50 – 60°N) для квадратичной и кубической моделей тренда. Обозначения такие же, как на рис. 5. Закрашенные символы отвечают кубическому тренду

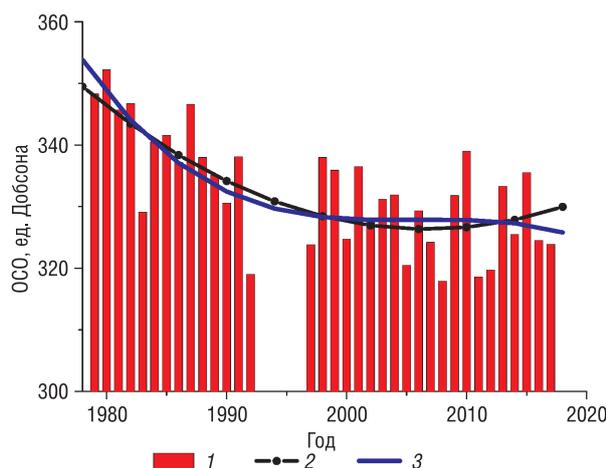


Рис. 7. Среднегодовые значения общего содержания озона над Европой в полосе широт (50 – 60°N) и рассчитанные тренды среднегодовых значений. 1 – среднегодовые значения, 2 – квадратичный тренд, 3 – кубический тренд

произошедшее в последние несколько лет: «Основная причина заключается в том, что в большинстве регионов среднегодовые значения общего озона в последние годы были ниже, чем в предыдущие, однако находились в пределах изменчивости, наблюдавшейся в течение последних 20 лет» [7]. Это известный эффект необоснованного увеличения числа степеней свободы в уравнении регрессии, ведущего к тенденции решения детально описать случайные флуктуации исходных данных [10, 27, 28]. На рис. 7 показаны пониженные в последние годы среднегодовые значения общего содержания озона и их многолетние тренды для квадратичной и кубической моделей. В весенний период понижение было особенно сильным и именно этим объясняется изменение тренда весной и практически

неизменность в другие сезоны при усложнении его модели. Здесь следует также заметить, что расчеты проводились на основе данных дневных измерений, а не их среднемесячных или среднегодовых значений. Поэтому длина рядов данных была очень большой, что обеспечивало статистическую значимость добавления новых параметров в уравнение регрессии. Пример, приведенный выше, говорит о том, что физические соображения часто оказываются важнее статистических и на последние следует полагаться только тогда, когда отсутствуют первые.

Заключение. В приведенном исследовании авторы отказались от традиционно предпринимаемой попытки обоснования эффективности Монреальского протокола и его дополнений и интересовались только состоянием озонового слоя и происходящими с ним изменениями. Рассчитанные многолетние тренды показывают, что среднегодовое общее содержание озона в средних широтах Северного полушария увеличивается в начале нового столетия. В основном этот рост обеспечивается за счет зимне-весеннего периода, а летом по-прежнему продолжается снижение, за исключением Америки, где заметна тенденция к некоторому росту в северной широтной полосе. Однако осенью в этой полосе ситуация постепенно стабилизируется, как и во всех регионах.

То, что годовой ход общего содержания озона различается для разных частей одного и того же широтного пояса, иллюстрирует известное влияние неоднородности земной поверхности на динамику стратосферы. Если бы общее содержание озона изменялось только из-за озоноразрушающих веществ, которые достаточно равномерно распределены по широтным поясам стратосферы, то различия в общем содержании озона над разными регионами сохранялись, несмотря на синхронное изменение их абсолютных значений по мере изменения концентрации этих веществ. Поскольку этого не происходит, следует признать, что мы наблюдаем результаты сочетанного действия нескольких, скорее всего, взаимосвязанных процессов, влияющих на динамику стратосферы. Известно, например, что истощение озонового слоя ведет к охлаждению стратосферы, а температурный режим непосредственно влияет на ее химию и динамику. Возможно также, что температура стратосферы влияет и на эффективность планетарных волн, генерируемых на неоднородностях земной поверхности и поднимающихся до высот стратосферы.

Список использованных источников

1. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalysed destruction of ozone / M. J. Molina, F. S. Rowland // *Nature*. – 1974. – Vol. 249. – P. 810–812.
2. Rowland, F. S. Stratospheric ozone depletion by chlorofluorocarbons / F. S. Rowland, C. Cleveland // *Ambio*. – 1990. – Vol. 19, № 6/7. – P. 281–292.

3. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer [Electronic resource]: UNEP report of the Technology and Economic Assessment Panel / United Nations Environment Programme. – March, 2016. – Mode of access: <http://ozone.unep.org/en/assessment-panels/technology-and-economic-assessment-panel>. – Date of access: 24.12.2017.
4. Chipperfield, M. P. Detecting recovery of the stratospheric ozone layer / M. P. Chipperfield // *Nature*. – 2017. – Vol. 549. – P. 211–218.
5. Update on global ozone: Past, present, and future / S. Pawson [et al.] // *Scientific Assessment of Ozone Depletion: report №55 of the World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project*. – Geneva, 2014. – Chapter 2. – 70 p.
6. Strahan, S. E. Decline in Antarctic ozone depletion and lower stratospheric chlorine determined from Aura Microwave Limb Sounder observations / S. E. Strahan, A. R. Douglass // *Geophysical Research Letters* – 2018. – Vol. 45. – P. 382–390.
7. Total ozone trends from 1979 to 2016 derived from five merged observational datasets—the emergence into ozone recovery / M. Weber [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2018. – Vol. 18. – P. 2097–2117.
8. Chahade, W. Total ozone trends and variability during 1979–2012 from merged data sets of various satellites / W. Chahade, M. Weber, J. P. Burrows // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2014. – Vol. 14. – P. 7059–7074.
9. Ozone trends at northern mid – and high latitudes – a European perspective / N. P. R. Harris [et al.] // *Annales Geophysicae*. – 2008. – Vol. 26. – P. 1207–1220.
10. Vyushin, D. I. Impact of long-range correlations on trend detection in total ozone / D. I. Vyushin, V. E. Fioletov, Th. G. Shepherd // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2007. – Vol. 112, iss. D14. – 18 p.
11. Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery / W. T. Ball [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2018. – Vol. 18. – P. 1379–1394.
12. On the longitude dependence of total ozone trends over middle-latitudes / M. N. Efstathiou [et al.] // *International Journal of Remote Sensing*. – 2003. – Vol. 24, №6. – P. 1361–1367.
13. Hood, L. L. Interannual variations of total ozone at northern midlatitudes correlated with stratospheric EP flux and potential vorticity / L. L. Hood, B. E. J. Soukharev // *Journal of the Atmospheric Sciences*. – 2005. – Vol. 62, №10. – P.3724–3740.
14. On ozone trend detection: using coupled chemistry-climate simulations to investigate early signs of total column ozone recovery / J. Keeble [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics: Discussions*. – 2017. – 17 p. (In review / *Atmospheric Chemistry and Physics: Discussions*).
15. Pinedo-Vega, J. L. Global and hemispherical interannual variation of total column ozone from TOMS and OMI data / J. L. Pinedo-Vega // *Atmospheric and Climate Sciences*. – 2017. – Vol. 7. – P. 247–255.
16. Varotsos, C. A. The exceptional ozone depletion over the Arctic in January-March 2011 / C. A. Varotsos, A. P. Cracknell, C. Tzanis // *Remote Sensing Letters*. – 2012. – Vol. 3. – P. 343–352.
17. Bloomer, B. J. Changes in seasonal and diurnal cycles of ozone and temperature in the eastern U.S. / B. J. Bloomer, K. Y. Vinnikov, R. R. Dickerson // *Atmospheric Environment*. – 2010. – Vol. 44. – P. 2543–2551.
18. Analysis of seasonal cycles in climatic trends with application to satellite observations of sea ice extent / K. Y. Vinnikov [et al.] // *Geophysical Research Letters* – 2002. – Vol. 29. – P. 24-1–24-4.
19. Vinnikov, K. Y. Diurnal and seasonal cycles of trends of surface air temperature / K. Y. Vinnikov, A. Robock, A. Basist // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2002. – Vol. 107, iss. D22. – P. 4641–4661.
20. Analysis of diurnal and seasonal cycles and trends in climatic records with arbitrary observation times / K. Y. Vinnikov [et al.] // *Geophysical Research Letters*. – 2004. – Vol. 31, iss. 6. – 5 p.
21. Temperature trends at the surface and in the troposphere / K. Y. Vinnikov [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2006. – Vol. 111, iss. D3 – 14 p.
22. Total Ozone Mapping Spectrometer data [Electronic resource]. – Mode of access: <ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub>. – Date of access: 24.12.2017.
23. Людчик, А. М. Расчет климатической нормы и многолетнего тренда общего содержания озона над территорией Беларуси / А. М. Людчик, В. И. Покаташкин // *Докл. нац. акад. наук Беларуси*. – 2012. – Т. 56, №3. – С. 104–110.
24. Климатология стратосферного озона над Беларусью / А. М. Людчик [и др.] // *Природные ресурсы*. – 2014. – №2. – С. 106–111.
25. Volland, H. *Atmospheric Tidal and Planetary Waves* / H. Volland. – Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 1988. – 348 p.
26. Total ozone variation between 50° and 60°N / H. Zou [et al.] // *Geophysical Research Letters*. – 2005. – Vol. 32, iss. 23. – 4 p.
27. Von Storch, H. *Statistical analysis in climate research* / H. von Storch, F. W. Zwiers. – Cambridge University Press, 1999. – 484 p.
28. Bojkov, R. D. Total ozone trends from quality-controlled ground-based data (1964–1994) / R. D. Bojkov, L. Bishop, V. E. Fioletov // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 1995. – Vol. 100, iss. D12. – P. 25867–25876.

Поступила 04.07.2018

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

УДК 338.483.11:556.53(476): 004

Н. С. Шевцова¹, А. В. Пахомов²¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: Shevtsova-ns@yandex.ru²Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Минск, Беларусь, e-mail: aliaksandr.pakhomau@gmail.com

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ
ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕК БЕЛАРУСИ**

Представлены результаты использования ГИС-технологий для идентификации географии размещения лимитирующих факторов для контактных, бесконтактных и промысловых видов туристско-рекреационного использования 303 участков 125 рек Беларуси. В итоге, в пределах исследованных рек по количеству ограничивающих факторов лидируют контактные виды туристско-рекреационного использования в составе катания на водных лыжах (до 6 факторов), купания и подводного плавания (до 5 факторов). На втором месте по числу лимитирующих факторов находятся бесконтактные виды туризма, в структуре которых максимум выявлен для катания на яхтах (до 5 факторов), а минимум – для гребли на лодках (до 3). Минимальные значения ограничивающих факторов идентифицированы для промысловых видов отдыха в составе любительской охоты (до 3 факторов) и любительского рыболовства (до 2).

Ключевые слова: туристско-рекреационный природный потенциал, рекреационное использование, типизация рек, водный туризм и отдых

N. S. Shevtsova¹, A. V. Pakhomov²¹Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: Shevtsova-ns@yandex.ru²Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus, e-mail: aliaksandr.pakhomau@gmail.com

**IDENTIFICATION OF THE GEOGRAPHY OF FACTORS RESTRICTING THE TOURISM-RECREATIONAL
USE OF RIVERS OF BELARUS**

In the article are presented the results of identification of the geography of location limiting factors for contact, contactless and commercial types of tourism-recreational uses for 303 parts of 125 rivers of Belarus with application GIS-technologies. As a result, contact types of tourist and recreational use in the composition of water skiing (up to 6 factors), bathing and diving (up to 5 factors) are leading in the limits of the investigated rivers in terms of the number of limiting factors. On the second place in the number of limiting factors are contactless types of tourism, in the structure of which the maximum is revealed for yachting – up to 5 factors, and the minimum – for rowing on boats – to 3. Minimal values of limiting factors were revealed for commercial types of recreation as part of amateur hunting (up to three factors) and for amateur fishing (up to two factors).

Keywords: tourism-recreational nature potential, recreational use, rivers typification, water tourism and recreation

Н. С. Шайцова¹, А. В. Пахомаў²¹Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: Shevtsova-ns@yandex.ru²Цэнтральны-навукова даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь, e-mail: aliaksandr.pakhomau@gmail.com

**ПРЫМЯНЕННЕ ГІС-ТЭХНАЛОГІЙ ДЛЯ ІДЭНТЫФІКАЦЫІ ЛІМІТУЮЧЫХ ФАКТАРАЎ
ТУРЫСЦКА-РЭКРЭАЦЫЙНАГА ВЫКАРЫСТАННЯ РЭК БЕЛАРУСІ**

У артыкуле пададзены вынікі выкарыстання ГІС-тэхналогій для ідэнтыфікацыі геаграфіі размяшчэння абмяжвальных фактараў для кантактных, некантактавых і прамысловых відаў турысцка-рэкрэацыйнага выкарыстання 303 участкаў 125 рэк Беларусі. У выніку ў межах даследаваных рэк па колькасці абмяжвальных фактараў, лідзіруюць

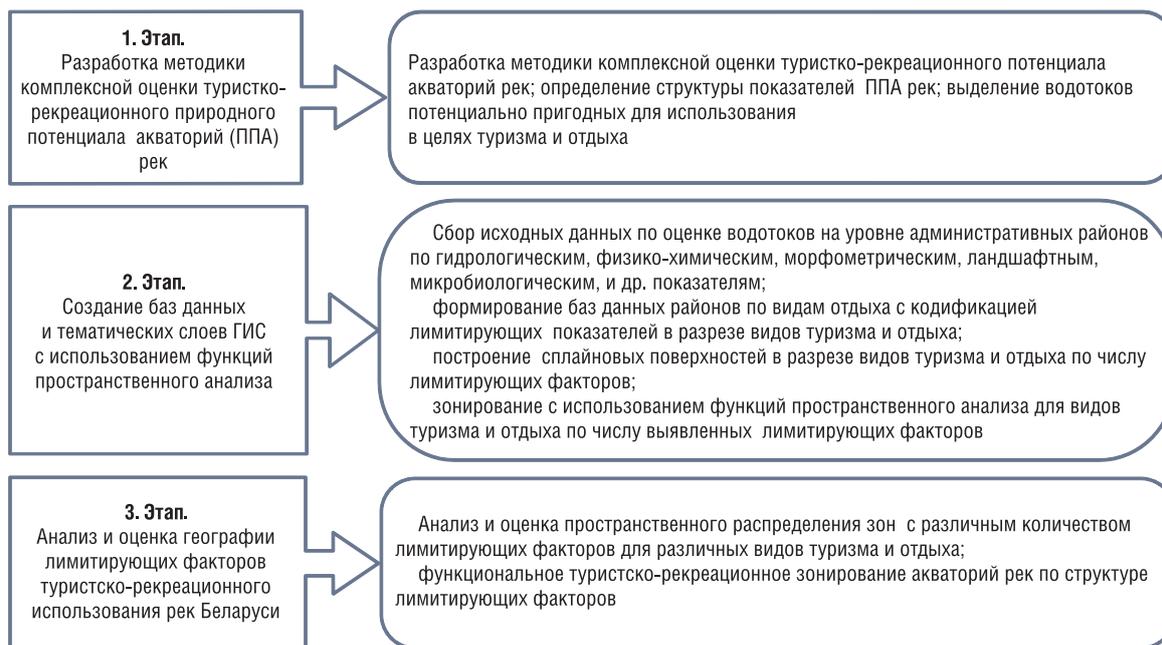


Рис. 1. Этапы исследования

сбор, анализ и систематизация предметных баз данных ГНПЦ по биоресурсам НАН Беларуси, ведомственных материалов Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерства здравоохранения по состоянию 125 водотоков, потенциально пригодных для использования в целях туризма и отдыха.

В рамках второго этапа в соответствии с целями и задачами исследования были сформированы предметные базы данных с учетом структуры видов туризма и отдыха на электронных носителях, необходимые для проведения комплексной туристско-рекреационной оценки указанных рек.

В рамках третьего этапа проводилась комплексная туристско-рекреационная оценка пригодности ППА для идентификации возможностей ее использования в соответствии со структурой видов туризма и отдыха (в составе контактных – купание, подводное плавание, катание на водных лыжах; бесконтактных – гребля на лодках, катание на водных лыжах и яхтах; промысловых – любительское рыболовство и охота).

При этом в качестве критериев для оценки возможности реализации конкретных видов отдыха и туризма были выделены гидрологические, физико-химические, морфометрические, микробиологические, ландшафтные и другие показатели (рис. 2).

В результате сравнительного анализа между существующими условиями и нормативными требованиями к ним в пределах акватории 125 рек Беларуси были выделены 303 участка, различающиеся по структуре профилирующих видов туристско-рекреационного использования на каждом из них. На основе полученных данных сравнительного анализа и идентификации структуры профилирующих видов туристско-рекреационного использования на указанных реках было проведено функциональное зонирование их акваторий. Основным критерий функционального зонирования – спецификация структуры профилирующих видов туристско-рекреационной деятельности (ТРД) и выделение лимитирующих факторов для тех видов туризма и отдыха, реализация которых невозможна [6, 7]. В рамках данной статьи представлены исключительно результаты идентификации лимитирующих факторов рек для туристско-рекреационного использования и особенности географии их распределения на региональном уровне.

Итоговые результаты функционального зонирования рек оформлены в виде как текстовых материалов и паспорта по конкретному объекту, так и в форме картографического материала. В качестве основы для последнего послужили электронные карты М 1: 2 750 000 в формате ГИС ESRI ArcView.

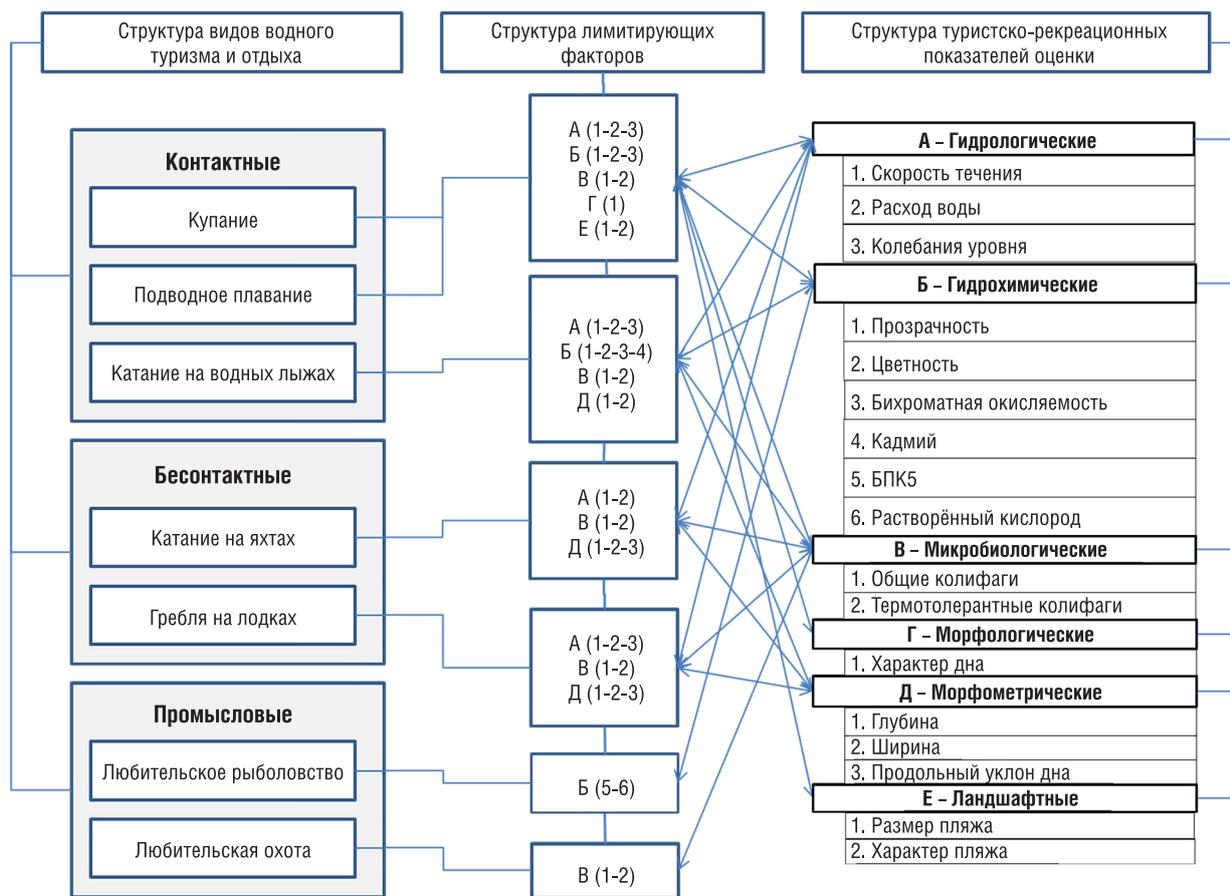


Рис. 2. Структура показателей комплексной туристско-рекреационной оценки и лимитирующих факторов

В результате функционального зонирования рек Беларуси для водных видов туристско-рекреационного использования было выделено 7 зон, отличающихся по количеству лимитирующих факторов для различных видов водного туризма и отдыха:

1. Зона с шестью лимитирующими факторами.
2. Зона с пятью ограничивающими факторами.
3. Зона с четырьмя лимитирующими факторами.
4. Зона с тремя ограничивающими факторами.
5. Зона с двумя лимитирующими факторами.
6. Зона с одним ограничивающим фактором.
7. Зона с отсутствием лимитирующих факторов.

Анализ пространственного распределения зон с различным количеством лимитирующих факторов на участках рек позволил установить, что территориальная локализация указанных зон для различных видов водного туризма и отдыха неидентична.

Для купания на территории страны выделены пять зон с количеством лимитирующих факторов в интервале от 0 до 5, которым присущи следующие пространственные закономерности (рис. 3).

1. *Зона с пятью лимитирующими факторами* выделена на площади 0,16 % от общей, имеет характер широтного простираения и расположена в трех областях страны: в юго-западной части Брестской области, в южных районах Брестской и Гомельской областей, в восточной части Витебской области. Кроме того, зона имеет локальное распределение в шести эпицентрах, три из которых расположены в западной, северо-восточной и центральной части Гродненской области, два – в центральных и южных районах Минской области, один – в восточной части Гомельской области.

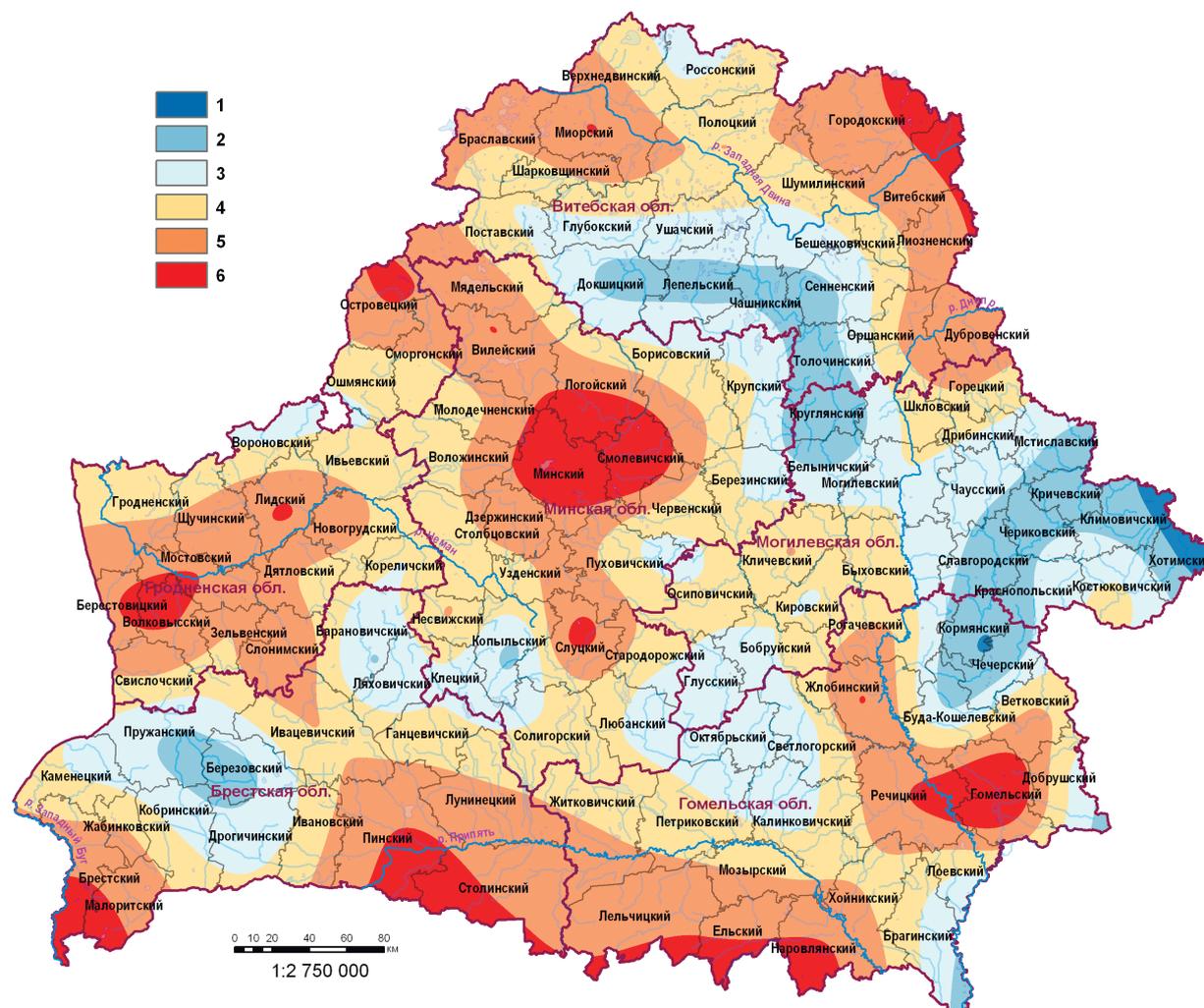


Рис. 3. География распределения лимитирующих факторов на реках Беларуси для купания. Число лимитирующих факторов: 1 – (нет), 2 – (один), 3 – (два), 4 – (три), 5 – (четыре), 6 – (пять)

2. *Зона с четырьмя лимитирующими факторами*, имеющая характер широтного простиранья, выделена на 6,51 % территории и локализована в приграничных районах страны: на северо-западе Витебской области, в западных и центральных районах Гродненской области с частичным включением отдельных участков северной части Брестской области, юго-западных районов Брестской области, восточной, центральной, южной части Брестской области, а также западных, юго-западных и южных районов Гомельской области.

3. *Зона с тремя лимитирующими факторами*, имеющая широтно-меридиональный характер простиранья сложной волнообразной траектории, оконтуривающая 29,96 % территории. Она расположена во всех областях страны: северных и центральных районах Витебской области; северо-восточных и юго-западных частях Могилевской области; юго-восточных и северо-восточных районах Гомельской области; восточных, южных и западных частях Минской области; северо-восточных, северных и юго-западных районах Брестской области; северных, восточных и южных частях Гродненской области.

4. *Зона с двумя лимитирующими факторами* выделена на 34,22 % площади страны, не имеет сплошного распространения в форме восьмерки с незамкнутой траекторией на востоке, которая пересекает ряд районов центральной и южной части Витебской области; восточных территорий Минской области; северной, центральной и восточной части Могилевской области; северо-восточных районов Гомельской области. Кроме того, данная зона представлена 8 ло-

кальными эпицентрами, география которых носит мозаичный характер и тяготеет к центрально-южным, юго-западным, юго-восточным и северным территориям страны.

5. *Зона с одним лимитирующим фактором* не формирует сплошного ареала простирается, выделена на 21,34 % площади территории, локализована в четырех эпицентрах страны: в южной части Витебской в сочетании с северо-западными районами Минской и Могилевской областей; в восточной части Могилевской и северо-восточных районах Гомельской области; в центрально-северных районах Брестской области; на крайнем востоке Гомельской области.

6. *Зона с отсутствием лимитирующих факторов* расположена на весьма ограниченной территории (7,81 %) и локализована на северо-востоке Гомельской и юго-востоке Могилевской областей страны.

При этом в структуре лимитирующих факторов для купания доминируют гидрологические (высокая скорость течения, недостаточная водообеспеченность, высокий уровень колебания вод), гидрохимические (низкая прозрачность, высокая цветность и бихроматная окисляемость), микробиологические (высокие титры общих и термотолерантных колифагов), морфологические (глинистый или гравелистый характер дна) и ландшафтные (недостаточный размер и или отсутствие пляжей) показатели.

Для подводного плавания на территории Беларуси выделены пять зон с числом ограничивающих факторов в диапазоне от 0 до 5, которые имеют следующую географию распространения (рис. 4).

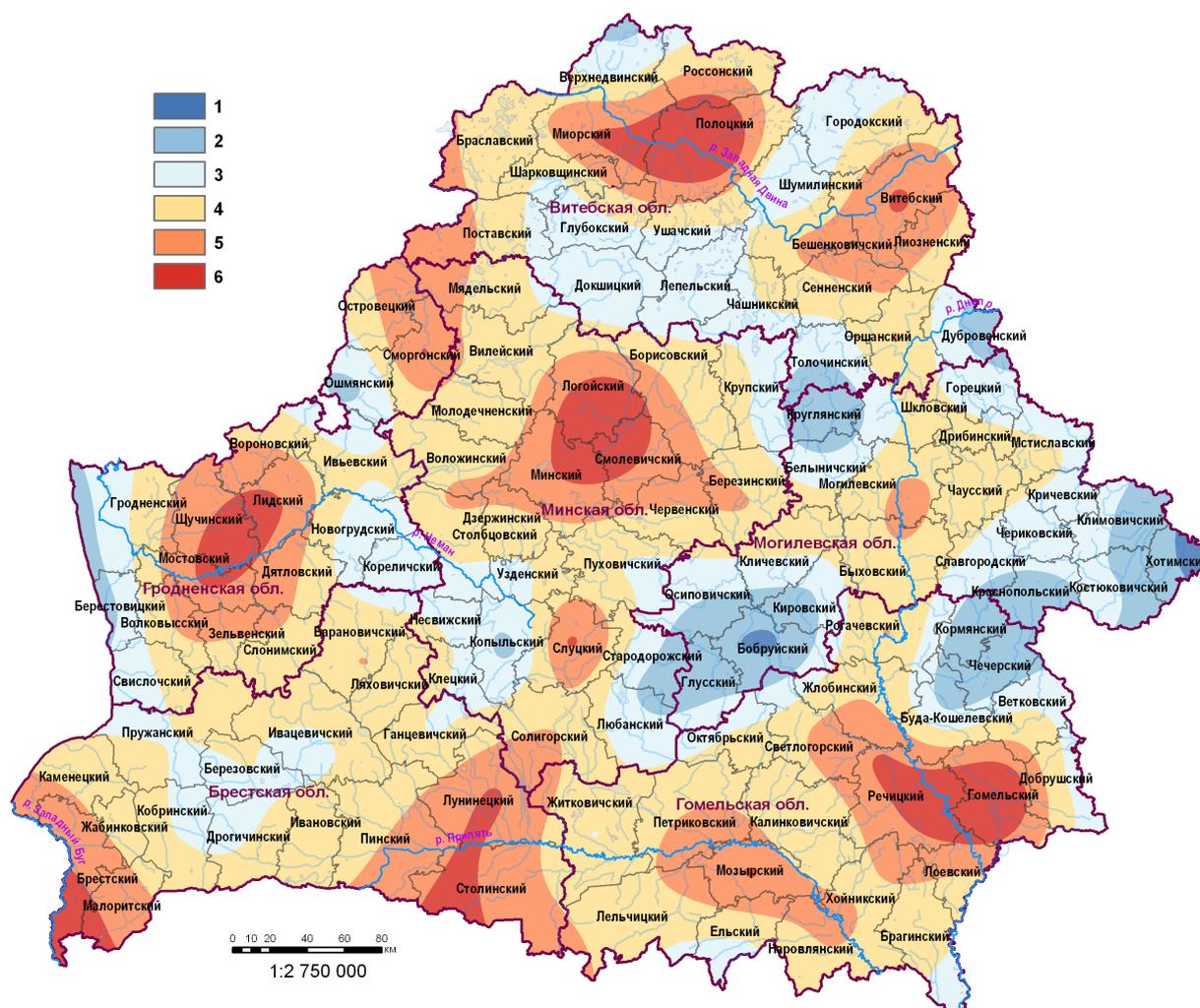


Рис. 4. География распределения лимитирующих факторов на реках Беларуси для подводного плавания. Число лимитирующих факторов: 1 – (нет), 2 – (один), 3 – (два), 4 – (три), 5 – (четыре), 6 – (пять)

1. *Зона с максимальным количеством лимитирующих факторов* выделена на ограниченной территории (0,24 %), не имеет широтного простираения и представлена шестью эпицентрами, расположенными в следующих областях страны: в восточной части Витебской области; в центральных и юго-восточных районах Минской области; в центральной части Гродненской области; в восточных и центрально-южных районах Гомельской области. Кроме того, выделены две зоны ограниченной площади широтного распространения, расположенные на крайнем юго-западе и юго-востоке Брестской области.

2. *Зона с четырьмя лимитирующими факторами* имеет мозаичный характер распространения, выделена на 5,42 % территории и локализована в восьми эпицентрах страны. Два из них расположены в центрально-западной и северной частях, юго-восточных, южных, юго-западных районах Витебской области; третий – пятый локализованы в границах северной, центральной, крайней западной, восточной частей Минской области и в центрально-западных, южных районах Гомельской области; шестой – в центральном районе Могилевской области, седьмой – в северной части Гродненской области, а восьмой – на юго-востоке Гомельской области.

Кроме того, выделено три зоны с четырьмя лимитирующими факторами для подводного плавания, две из которых имеют широтный характер ограниченного распространения в направлении с северо-запада на юго-восток и пересекают узкой полосой ряд районов: юго-запад Брестской области; трех областей в составе юго-востока Брестской, юго-запада Гомельской и юга Минской областей. Третья зона, имеющая меридиональный характер распространения, расположена на границе трех областей: западных районов Витебской области, северо-восточных территорий Гродненской и северо-западной части Минской областей.

3. *Зона с тремя лимитирующими факторами* – наиболее обширный ареал, имеющий широтно-меридиональный характер простираения сложной волнообразной траектории, которая охватывает около 21,13 % территории и расположена во всех областях страны. В их числе западные, частично северные, центральные и юго-восточные районы Витебской области; северные, западные, южные и центральные районы Могилевской области; северные, западные, южные и юго-восточные районы Гомельской области; северо-западные, южные и северо-восточные районы Минской области; северные, восточные, западные и южные районы Брестской области; западные, южные и восточные районы Гродненской области.

4. *Зона с двумя лимитирующими факторами* расположена на 43,34 % территории, имеющая ареал сплошного распространения со сложной волнообразной конфигурацией широтного простираения. Территориально наиболее выражена в центральных, северо-восточных районах Витебской области и одновременно в северных, северо-западных частях Могилевской области и северо-восточных районах Минской области. Кроме того, имеет ареал меридионального простираения, расположенный как в юго-восточной части Витебской, так и в восточных районах Могилевской и Гомельской областей. Кроме зон сплошного простираения, выявлено четыре локальных эпицентра мозаичного характера, размещенных в западной части Гродненской, северных районах Витебской, южных и юго-восточных территориях Гомельской областей.

5. *Зона с одним лимитирующим фактором* не имеет сплошного простираения, выделена на 23,14 % территории и локализована в трех частях страны. Первый ареал расположен в восточной и юго-восточной частях Могилевской области, захватывает северо-восточные районы Гомельской области. Вторым ареалом меридионального простираения расположен в западной части Гродненской области, а третий и четвертый ареалы локального широтного простираения выделены соответственно в северных и юго-восточных районах Витебской области. Кроме того, локальные эпицентры зафиксированы в западной части Минской области, северо-западных районах Гродненской области, а также на территории пограничных районов трех областей: юго-западе Могилевской, востоке Минской и севере Гомельской областей.

6. *Зона с отсутствием лимитирующих факторов* расположена на весьма ограниченной территории (6,71 %) и локализована в двух эпицентрах страны: на крайнем востоке и юго-западе Могилевской области.

Следует отметить, что структура лимитирующих факторов для подводного плавания идентична вышеуказанным для купания, исключая показатель ландшафтной характеристики пляжей.

Для гребли на лодках на территории страны выделены три зоны с количеством факторов, лимитирующих этот вид туризма, в интервале от 0 до 3, которые имеют следующие особенности географии распространения (рис. 5).

1. *Зона с тремя лимитирующими факторами* выделена на ограниченной части территории (7,29 %), не образует сплошного ареала распространения, представлена семью эпицентрами с мозаичной географией распространения по территории страны и тремя локально размещенными ареалами, расположенными в следующих областях страны. Первый находится в приграничных районах юго-западной части Гродненской и северо-восточных районах Брестской областей. Второй ареал меридионально вытянутый узкой полосой пересекает ряд центрально-южных районов Гродненской области, также северных, центрально-южных частей Брестской области, а третий ареал широтного простираения расположен в юго-восточных территориях Брестской и юго-западных районах Гомельской областей.

Кроме того, выявлено семь локальных эпицентров, из которых три эпицентра расположены в центральных районах Минской области, два – в северо-западной и юго-восточной частях Витебской области, один – на северо-востоке Могилевской и еще один – на севере Гомельской областей.

2. *Зона с двумя лимитирующими факторами* представляет собой наиболее обширную зону широтно-меридионального характера простираения сложной волнообразной траектории,

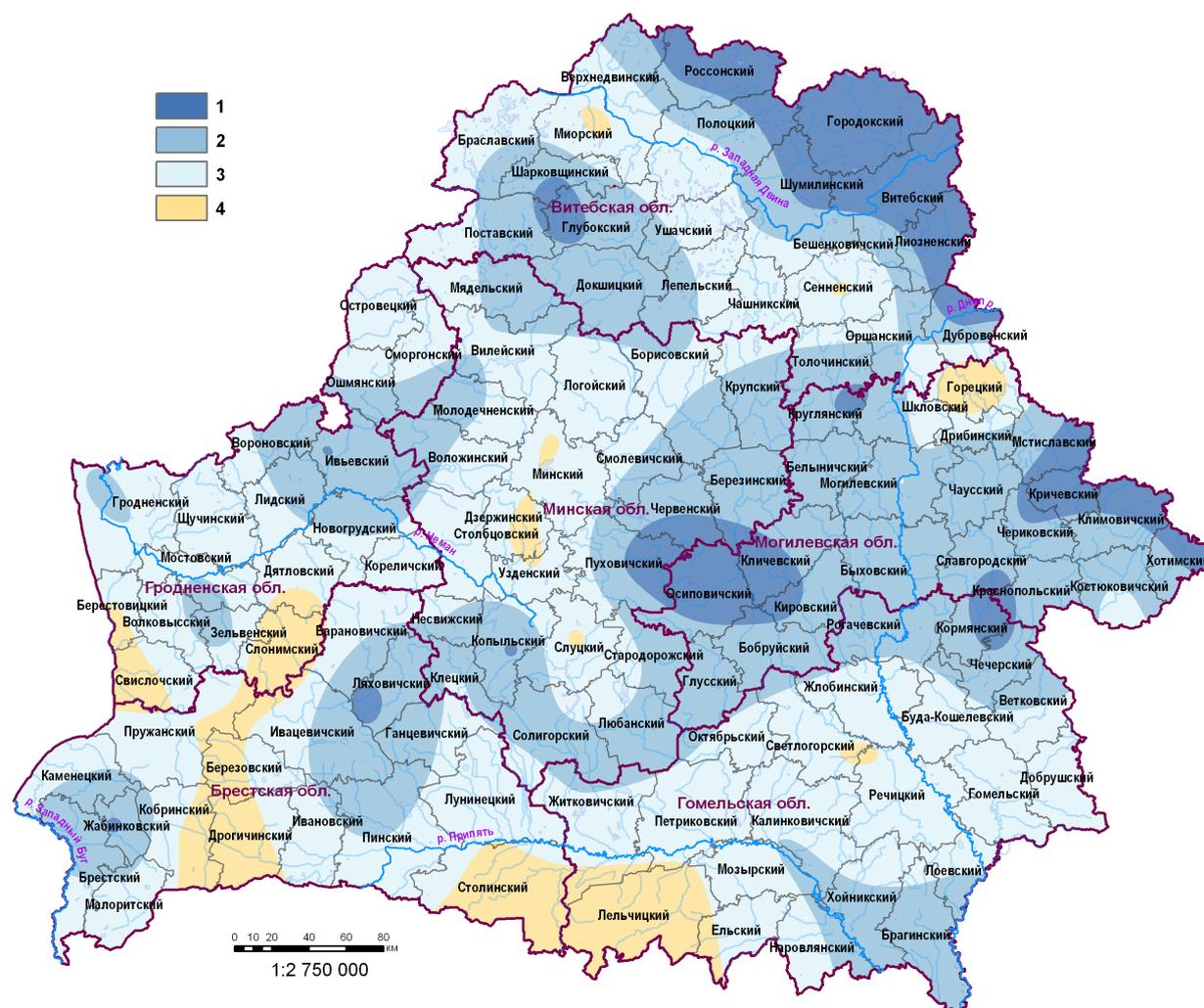


Рис. 5. География распределения лимитирующих факторов на реках Беларуси для гребли на лодках. Число лимитирующих факторов: 1 – (нет), 2 – (один), 3 – (два), 4 – (три)

которая оконтуривает около 45,43 % территории и расположена во всех областях страны. В их числе западные, частично северные, центрально-южные районы Витебской области; северо-западные, центральные и юго-восточные территории Минской области; северные, западные и восточные районы Гродненской области; западные, восточные и южные районы Брестской области; западные, центральные, южные и восточные территории Гомельской области; северо-восточные и юго-восточные районы Могилевской области.

3. *Зона с одним лимитирующим фактором* расположена на 37,97 % территории, имеет как три ареала широтного сплошного распространения, так и пять локальных эпицентров, каждый из которых отличается спецификой географии распространения. Первый ареал включает восточные районы Брестской области, частично захватывая районы юго-западной, южной, восточной частей Минской области, большинство районов западной, центральной, южной частей Могилевской, северо-восток Гомельской и южные районы Витебской областей. Второй ареал меридионального характера простирается в форме узкой полосы пересекает ряд районов Витебской области в направлении с северо-запада на юго-восток и плавно переходит в первый ареал. Третий ареал широтного простирается выклинивается в северо-западном направлении и расположен на юго-востоке Гомельской области.

Кроме ареалов сплошного простирается, выявлено пять локальных эпицентров с географией мозаичного распространения, генерализованных вдоль оси, простирающейся с северо-запада на юго-запад страны.

4. *Зона с отсутствием лимитирующих факторов* широтно вытянутым ареалом волнообразной конфигурации простирается узкой полосой вдоль северо-восточной границы страны (9,31 % площади страны) и находится на территории северо-восточных районов Витебской области и восточных частей Могилевской области, а также в форме шести эпицентров, мозаично рассредоточенных по территории страны. География шести эпицентров носит мозаичный характер, они распространены в границах отдельных районов пяти областей. Первый локализован в центральной части Витебской области; второй – в восточных районах Минской и западных территориях Могилевской областей; третий – в приграничных районах двух областей: юго-восточной части Витебской и северо-западных районов Могилевской, четвертый – на границе двух областей: юго-востока Могилевской и северо-востока Гомельской; пятый и шестой – одновременно в границах северо-западных и юго-западных районов Брестской области.

Следует отметить, что в качестве доминирующих в структуре лимитирующих факторов для гребли на лодках преобладают гидрологические (высокая скорость течения и колебания уровня воды, низкая водообеспеченность), микробиологические (высокие титры общих и термотолерантных колифагов) и морфометрические (высокий продольный уклон дна, недостаточная глубина и ширина) характеристики.

Для катания на водных лыжах на территории Беларуси выделены шесть зон с числом ограничивающих факторов в диапазоне от 0 до 6, которым присущи следующие пространственные закономерности (рис. 6).

1. *Зона с шестью лимитирующими факторами* представлена фрагментарно в восточной части страны, в центре Могилевской области (1,17 % площади).

2. *Зона с пятью лимитирующими факторами* расположена во всех областях страны на площади 7,37 % территории, имеющая как широтный, так и локальный характер простирается в виде четырех эпицентров. Ареалы широтного простираются находятся в юго-западной и юго-восточной частях страны: в южных частях Брестской и Гомельской областей. Четыре локальных эпицентра мозаичной генерализации расположены в следующих областях страны. Один пересекает ряд центральных районов Могилевской области, три эпицентра расположены соответственно на востоке Гомельской, в южных районах Витебской и на юге Гродненской областей.

3. *Зона с четырьмя лимитирующими факторами* имеет выраженный широтный характер с шестью ареалами распространения: в северной, юго-западной, юго-восточной и восточной частях страны, а также в трех эпицентрах локальной генерализации мозаичного характера распределения (34,37 % территории). Первый ареал широтного простирается выклинивается

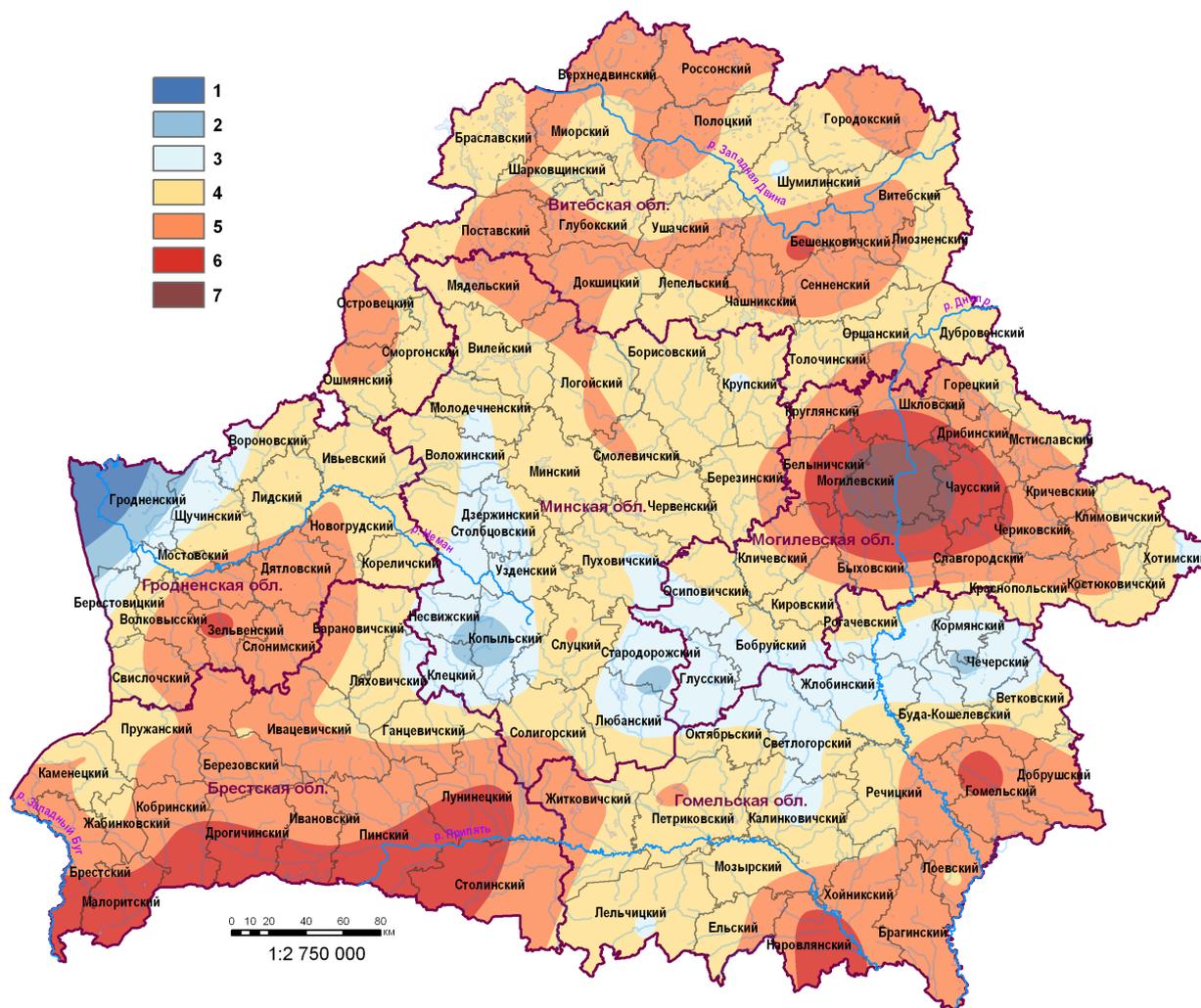


Рис. 6. География распределения лимитирующих факторов на реках Беларуси для катания на водных лыжах. Число лимитирующих факторов: 1 – (нет), 2 – (один), 3 – (два), 4 – (три), 5 – (четыре), 6 – (пять), 7 – (шесть)

в северо-восточном направлении локализован на территории четырех областей: в западных, центральных и восточных районах Брестской области; в западных, южных частях Минской области; северо-западных районах Гомельской области; в центральной, юго-восточной части Гродненской области. Второй ареал характеризуется широтным распространением и компактной локализацией, приурочен к юго-восточной части Гомельской области. Третий ареал пересекает как ряд районов Могилевской области и частично юго-восточных районов Витебской, а также западных районов Минской области. Четвертый ареал широтного простираения расположен как на севере и юге Витебской, так и на северо-западе Минской области. Кроме того, три эпицентра расположены соответственно в северо-восточной части Гродненской, южных районах Минской и в северо-восточных районах Гомельской областей.

3. *Зона с тремя лимитирующими факторами* – это самая обширная зона, расположенная на 44,26 % территории, имеющая как ареал широтного распространения во всех областях страны (западные, центральные и юго-восточные районы Витебской области; южные и восточные территории Могилевской области; частично юго-западные, центральные и северо-восточные районы Гомельской области; большинство северо-западных, северо-восточных, центральных, частично южных территорий Минской области; северо-западные и северо-восточные части Брестской области; северо-восточные и западно-центральные районы Гродненской области), так и локальный эпицентр на юго-востоке страны (юго-восточная часть Гомельской области).

4. *Зона с двумя лимитирующими факторами* занимает 11,06 % территории. Это весьма ограниченная зона, имеющая как три ареала широтного простираения в трех частях страны: западной (северо-западные районы Гродненской области), центральной (запад и юго-запад Минской области) и восточной (восточная часть Минской, юго-восточные районы Могилевской и север Гомельской области), так и четыре эпицентра, география размещения которых по территории страны носит мозаичный характер. Один – в центральной части Шумилинского района Витебской области; второй – на западе Крупского района Минской области; третий – в южной части Лельчицкого района Гомельской области; четвертый – на крайнем востоке Гомельской области.

5. *Зона с одним лимитирующим фактором* выделена на ограниченной территории (1,16 % площади страны), образует как сплошной широтный ареал исключительно на западе страны (северо-западная часть Гродненской области), так и два эпицентра, расположенные в центре республики (в юго-западных и юго-восточных районах Минской области).

6. *Зона с отсутствием лимитирующих факторов* образует ареал сплошного распространения (0,61 % площади страны), широко вытянутый вдоль северо-западной границы страны. Расположена в пределах северо-запада Гродненской области.

В качестве приоритетных в структуре лимитирующих факторов для катания на водных лыжах доминируют гидрологические (высокая скорость течения и уровень колебания вод, низкая водообеспеченность), гидрохимические (низкая прозрачность, высокая цветность и бихроматная окисляемость, загрязнение кадмием), микробиологические (высокие титры общих и термотолерантных колифагов) и морфометрические (отсутствие судоходных параметров глубины и ширины) параметры.

Для катания на яхтах на территории страны выделены пять зон с количеством лимитирующих факторов в интервале от 0 до 5, которые имеют следующую географию распространения (рис. 7).

1. *Зона с пятью лимитирующими факторами* расположена на весьма ограниченной территории (2,65 % площади страны), не имеет широтного простираения и представлена двумя эпицентрами, локализованными в следующих областях страны. Первый ареал зоны находится в центральной части Могилевской области; второй – в пограничных районах трех областей: юга Минской, северо-запада Гомельской и востока Брестской.

2. *Зона с четырьмя лимитирующими факторами* имеет мозаичный характер распространения, выделена на 11,1 % территории и локализована в пяти эпицентрах страны. В их числе два эпицентра в форме меридионально вытянутого кольца. Одно из них расположено одновременно на территории двух областей: в центральной части Могилевской и южных районах Витебской; второе – на границе районов трех областей: южной части Минской, юго-восточной Брестской и западных районов Гомельской. География размещения пяти локальных эпицентров представлена как самым большим ареалом на границе юго-запада Гродненской и северо-западных районов Брестской областей, так и четырьмя локальными эпицентрами, расположенными в границах центрально-южных районов Витебской области; в приграничьи юго-восточных районов Гродненской и западной части Минской областей; на севере Гродненской области; юго-восточных районов Могилевской области.

3. *Зона с тремя лимитирующими факторами* имеет два ареала широтного распространения и расположена на 29,21 % территории. Первый ареал находится в пределах северо-восточных, юго-западных и восточных районов Гродненской области, фрагментарно захватывает районы западной части Минской области, в пределах которой образует три рукава меридионального простираения. При этом один из рукавов имеет юго-западное простираение, а второй и третий – юго-восточное. Вторая зона меридионального простираения имеет сложную конфигурацию неправильной формы восьмерки, выклинивающейся в юго-западном и юго-восточном направлении, расположена на территории сразу четырех областей: юго-восточной части Витебской, западных и восточных районов Могилевской, северо-восточной части Минской и частично северо-восточных районов Гомельской. Единичный локальный эпицентр точно расположен в восточной части Гомельской области.

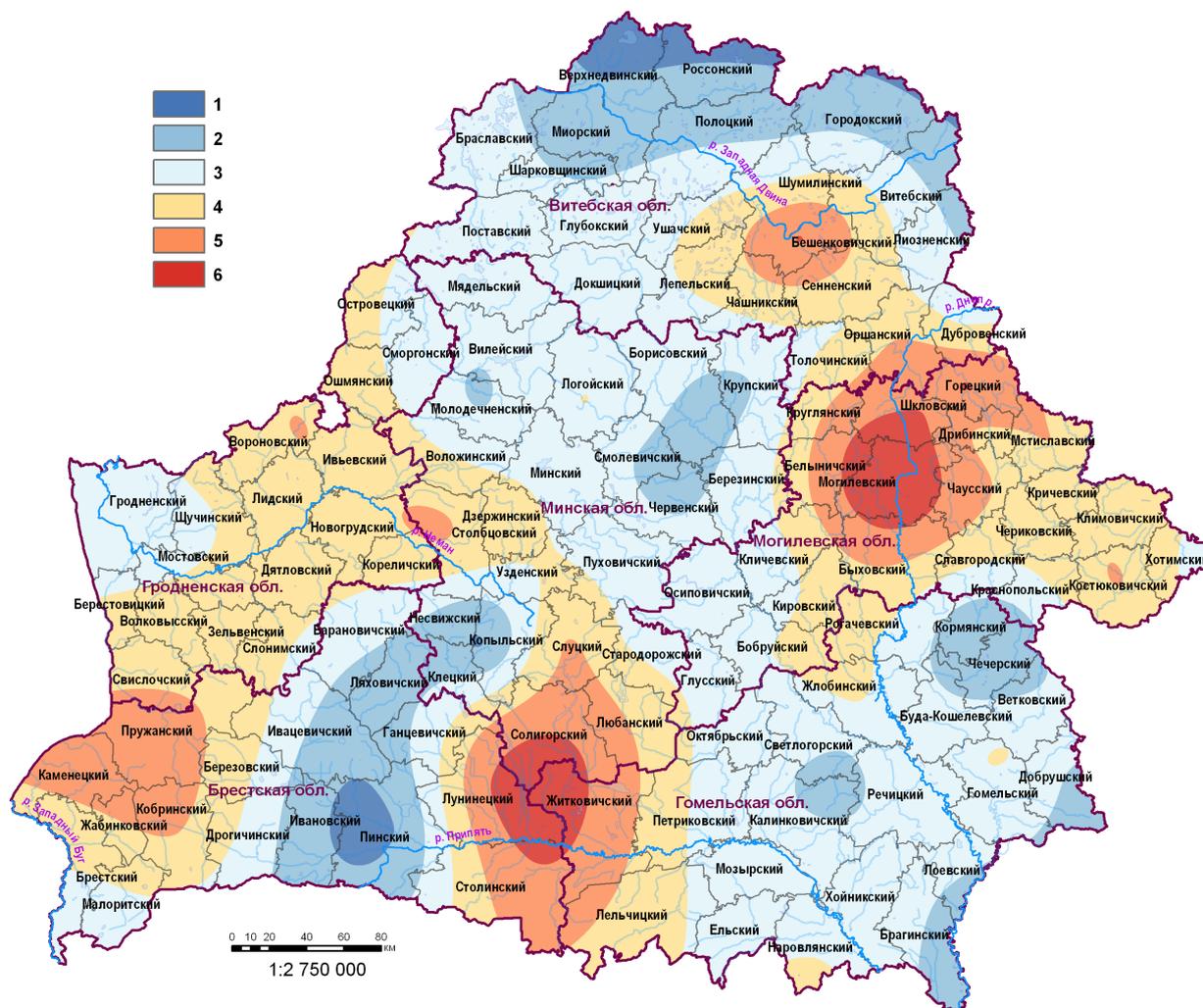


Рис. 7. География распределения лимитирующих факторов для катания на яхтах на реках Беларуси. Число лимитирующих факторов: 1 – (нет), 2 – (один), 3 – (два), 4 – (три), 5 – (четыре), 6 – (пять)

3. *Зона с двумя лимитирующими факторами* – это наиболее обширная зона, имеющая два ареала широтно-меридионального простираения, которые расположены во всех областях страны и оконтуривают 42,19 % территории страны. Один ареал пересекает широкую полосу территорию страны с севера на юго-восток, выклиниваясь в северо-восточном и юго-восточном направлении. В состав указанного ареала частично входят территории пяти областей: юго-западные, центральные и юго-восточные районы Витебской; северо-западные, центральные и восточные территории Минской; западные, южные и восточные районы Могилевской; северные, западные, южные и юго-восточные территории Гомельской; северо-западные районы Гродненской. Второй узкополосной ареал меридионального простираения, выклинивающийся в направлении на северо-восток, формируется за счет районов центрально-южной части страны (западные районы Минской области; восток, юго-восток, север и юг Брестской области; локально юго-восток Гродненской области). Один эпицентр расположен точно в западной части страны (в Гродненской области).

4. *Зона с одним лимитирующим фактором* расположена на 13,29 % территории, имеет как три ареала сплошного широтного распространения на юго-западе (юго-запад Минской области, северо-восток, юго-восток Брестской области), юго-востоке (в пределах юго-восточной, пограничной с Украиной части Гомельской области) и севере страны (центральные районы Витебской области), так и четыре эпицентра локальной генерализации. При этом два из них находятся

в центральной (Минская область) и два – в юго-восточной части страны (первый – на юге Могилевской и северо-востоке Гомельской областей, второй – в центре Гомельской области).

5. *Зона с отсутствием лимитирующих факторов* не имеет ареала сплошного простира-ния, расположена на 1,56 % площади территории и локализована в двух частях страны: в юж-ной части Брестской и на юго-западе Минской областей.

Следует отметить, что для катания на яхтах в структуре лимитирующих факторов в каче-стве доминирующих выделяются гидрологические (высокая скорость течения, низкий уровень водообеспеченности), микробиологические (высокие титры общих и термотолерантных коли-фагов) и морфометрические (высокий продольный уклон дна, отсутствие судоходных параме-тров глубины и ширины) показатели.

Для любительской охоты на территории Беларуси выделены три зоны с количеством ограничивающих факторов в диапазоне от 0 до 3, которым присущи следующие пространствен-ные закономерности (рис. 8).

1. *Зона с тремя лимитирующими факторами* локализована исключительно в восточной части страны, в центре Могилевской области (1,16 % от площади страны).

2. *Зона с двумя лимитирующими факторами* – это значительная по площади зона (40,40 % от площади страны), расположенная во всех областях страны, имеющая как широтный характер простира-ния (юго-запад, юг и частично центр Витебской области; запад, центр, юго-запад Грод-

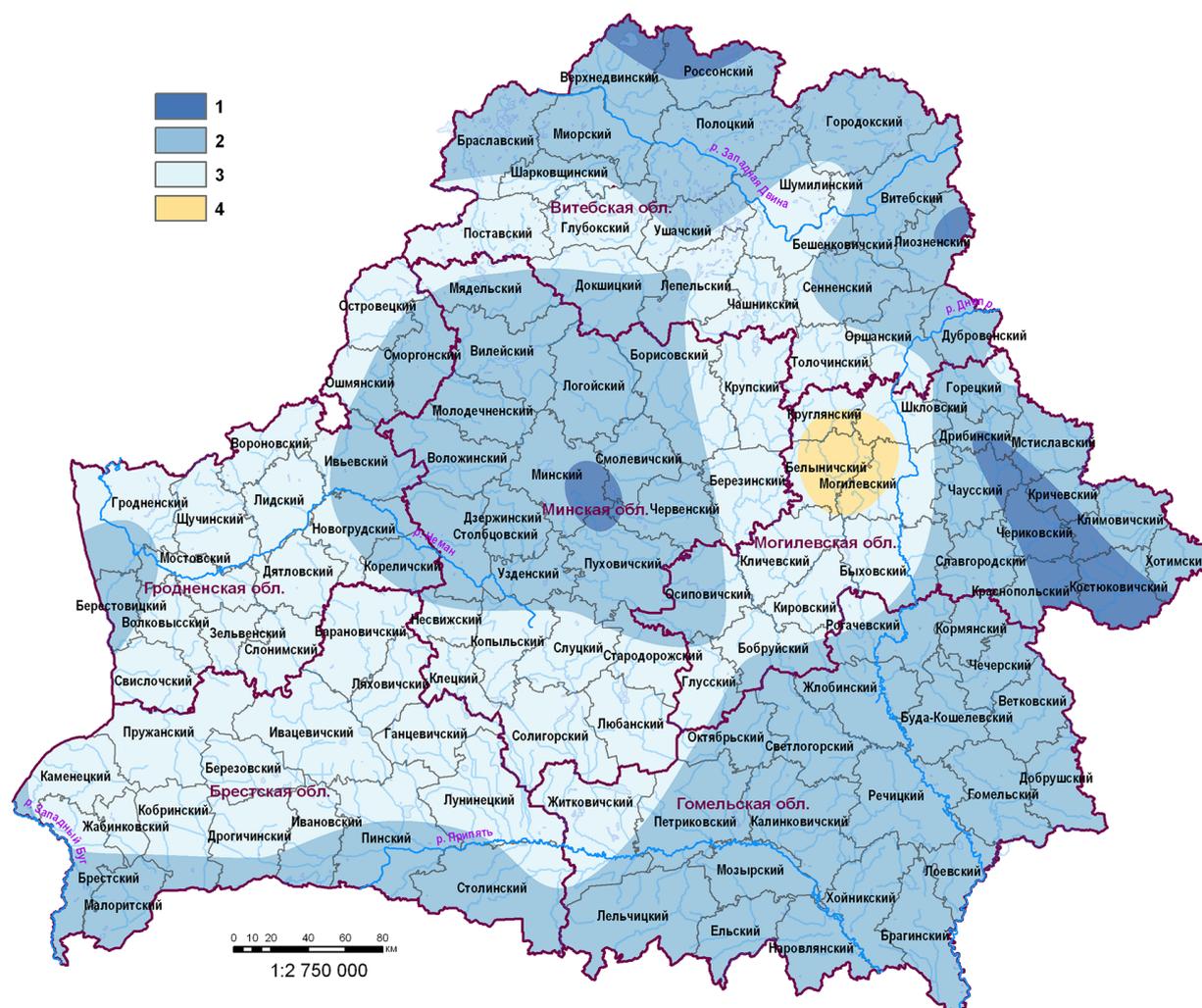


Рис. 8. География распределения лимитирующих факторов на реках Беларуси для любительской охоты. Число лимитирующих факторов: 1 – (нет), 2 – (один), 3 – (два), 4 – (три)

ненской; север, северо-запад, восток и центр Брестской; северо-запад, восток и юго-запад Минской; северо-запад, запад, юго-запад Могилевской; северо-запад Гомельской областей), так и локальный эпицентр в восточной части страны (на крайнем северо-востоке Могилевской области).

3. *Зона с одним лимитирующим фактором* представляет самую большую зону, занимающую 55,09 % от площади республики, которая имеет два ареала широтно-меридионального простира-ния. При этом один из ареалов пересекает ряд районов пяти областей страны (северо-западные, северо-восточные и восточные районы Витебской области; юго-восточные и восточные терри-тории Могилевской; северные, восточные и южные районы Гомельской; южные части Брестской и западные районы Гродненской областей), а второй локализован в западно-центральной ча-сти страны (северные, западные и центральные территории Минской области; южные части Витебской; юго-западные районы Могилевской; восточные территории Гродненской области).

4. *Зона с отсутствием лимитирующих факторов* выделена на 3,35 % площади стра-ны, имеет широтное простираение в двух частях страны: на крайнем севере (северные райо-ны Витебской области) и юго-востоке (юго-восток Могилевской области, выклиниваясь в се-веро-западном направлении и пересекая ряд районов Могилевской области). Два локальных эпицентра зафиксированы в северо-восточной (юго-восточные районы Витебской области) и центральной частях страны (центр Минской области).

Следует отметить, что в качестве основных в структуре лимитирующих факторов для лю-бительской охоты доминируют исключительно микробиологические показатели (высокий титр общих и термотолерантных колифагов).

Для любительского рыболовства в пределах территории страны выделены две зоны с количеством лимитирующих факторов в интервале от 0 до 2, для которых характерна следую-щая география распространения (рис. 9).

1. *Зона с двумя лимитирующими факторами* весьма ограничена по площади (0,14 % от площади страны), локализована исключительно в восточной части страны, в центре Могилев-ской области.

2. *Зона с одним лимитирующим фактором* расположена на 14,26 % территории, имеющая как три ареала широтного распространения на юго-западе (в границах трех областей: юго-за-падных, южных и юго-восточных районах Брестской области; южных территорий Минской об-ласти; юго-западных районах Гомельской области), северо-западе (северо-запад Гродненской области) и востоке страны, так и представленная двумя эпицентрами локальной генерализа-ции, расположенными на востоке (в двух областях: северной, центральной части Могилевской и юго-восточных районах Витебской) и в центре страны (юго-запад Минской области).

3. *Зона с отсутствием лимитирующих факторов* – это самая обширная зона, занимаю-щая более 85,6 % площади страны, имеющая широтное простираение в районах всех областей страны, не включенных в вышеуказанные зоны.

При этом в числе приоритеных в структуре лимитирующих факторов для любительского рыболовства были выделены исключительно гидрохимические показатели (высокое значение БПК₅, низкая концентрация растворенного кислорода).

Таким образом, по количеству лимитирующих факторов, ограничивающих различные виды водного туризма и отдыха на реках Беларуси, лидируют контактные виды туристско-рекреаци-онного использования в составе катания на водных лыжах, для которых выделено до 6 фак-торов, а также купания и подводного плавания, для каждого из которых идентифицировано до 5 факторов. Из бесконтактных видов водного туризма, максимум ограничивающих факторов выявлено для катания на яхтах – до 5, а минимум – для гребли на лодках – до 3. Минимальные значения лимитирующих факторов выявлены для промысловых видов отдыха в составе люби-тельской охоты (до 3) и любительского рыболовства (до 2).

Следует отметить, что динамика изменения показателя площади зон с разной степенью не-благоприятности условий для купания, подводного плавания, катания на яхтах, определяемых по числу лимитирующих факторов, имеет положительный тренд в диапазоне от 5 до 2 ограни-чивающих факторов и отрицательный – в интервале от 2 до отсутствия указанных факторов.

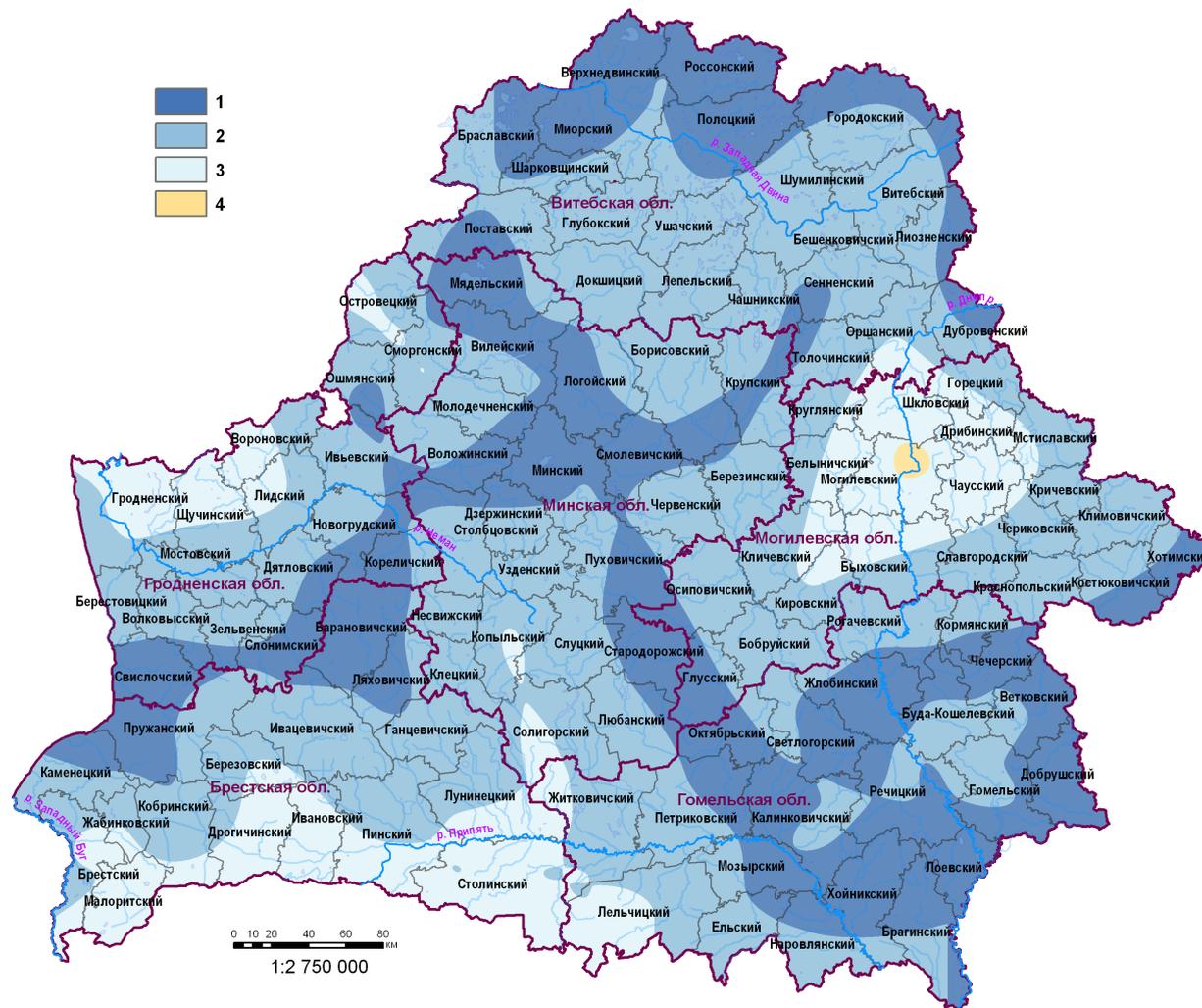


Рис. 9. География распределения лимитирующих факторов на реках Беларуси для любительского рыболовства. Число лимитирующих факторов: 1 – (нет), 2 – (один), 3 – (два), 4 – (три)

В то же время площадные параметры зон, не располагающих условиями для гребли на лодках ввиду наличия ограничивающих факторов в интервале от 3 до 2, имеют тенденцию к увеличению, далее уменьшаясь для зон, в которых диапазон лимитирующих факторов варьирует от 2 до 0. При этом площадь зон, непригодных для катания на водных лыжах из-за наличия на их территории ограничивающих факторов в интервале от 6 до 3, имеет выраженный положительный тренд, который сменяется отрицательным в зонах с диапазоном от 3 до 0. Варьирование площади зон с различным уровнем проявления неблагоприятных условий для любительской охоты зависит от числа ограничивающих факторов, изменение которых в интервале от 2 до 1 имеет положительный тренд, а в диапазоне от 1 до 0 – отрицательный. В то же время площадь зон, непригодных для любительского рыболовства из-за наличия на их территории лимитирующих факторов в границах от 2 до 0, имеет исключительно положительную тенденцию.

Использованы ГИС-технологии для пространственно-функционального туристско-рекреационного зонирования Беларуси, проведенное на 125 реках с целью идентификации лимитирующих факторов для тех видов водного туризма и отдыха, реализация которых невозможна в настоящее время. Полученные результаты по географии и структуре ограничивающих факторов позволят разработать систему адресных мероприятий на районном уровне, направленных на минимизацию воздействия ограничивающих факторов, что в свою очередь создаст условия для расширения спектра предоставляемых услуг в сфере водного туризма и отдыха.

Список использованных источников

1. Блакітная кніга Беларусі. Энцыклапедыя (Водныя аб'екты Беларусі. – Мінск, БЭ імя П. Броўкі, 1996. – 416 с.
2. Пирожник, И. И. Географические аспекты формирования рекреационных систем озерно-речного типа / И. И. Пирожник, В. М. Зайцев, В. П. Романов // Вестник БГУ. Сер. 2. – 1983. – № 1. – С. 57–61.
3. Национальная программа по развитию туризма в Республике Беларусь на 2006–2010 гг.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 24.08.2005 г. №927 / Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2005 г. – № 137.5/16437.
4. О государственном кадастре туристских ресурсов: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 18.06.2004 г., № 730 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 23 июня 2004 г. – N 5/14411.
5. Шевцова, Н. С. Функционально-временное зонирование акватории озер по количественным и качественным критериям рекреационной пригодности / Н. С. Шевцова // Природные ресурсы. – 1998. – № 2. – С. 34–46.
6. Шевцова, Н. С. Структура профилирующих видов и лимитирующих факторов туристско-рекреационного использования рек Минской и Гомельской областей Беларуси / Н. С. Шевцова // Пятые междунар. чтения памяти Н. М. Пржевальского : Евразийские маршруты и исследования Н. М. Пржевальского: интеграция и перспективы научных исследований в системе ООПТ. Сб. науч. ст. – Смоленск: СГУ, 2017. – С. 244–246.
7. Шевцова, Н. С. Типизация рек Беларуси по структуре профилирующих видов водного туризма и отдыха / Н. С. Шевцова, А. В. Пахомов // Туризм и региональное развитие: науч. тр. X Междунар. науч.-практ. конф. – Смоленск: СГУ, 2017. – С. 226–234.

Поступила 03.01.2018

В. И. Чепрасова, О. С. Залыгина

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, e-mail: vicacheprasova10@gmail.com, zalyhina@mail.ru

СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ЦИНКОВАНИЯ

Показана возможность снижения воздействия гальванического производства на окружающую среду за счет переработки отработанных электролитов цинкования. Проведен анализ существующих способов обращения с отработанными электролитами цинкования гальванического производства, позволяющих обеспечить снижение поступления тяжелых металлов в окружающую среду. Представлены результаты, подтверждающие возможность переработки отработанных электролитов цинкования с получением пигментов. Изучено осаждение ионов цинка из отработанных электролитов цинкования фосфатом натрия в присутствии примесей блескообразователей и соединений железа, которые наиболее часто содержатся в отработанных электролитах вследствие их загрязнения в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: окружающая среда, тяжелые металлы, отработанный электролит, осаждение, пигмент, блескообразователь, белизна

V. I. Cheprasova, V. S. Zalyhina

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, e-mail: vicacheprasova10@gmail.com, zalyhina@mail.ru

REDUCTION OF THE IMPACT OF GALVANIC PRODUCTION ON THE ENVIRONMENT BY PROCESSING SPENT ZINC ELECTROLYTES

Article shows the possibility of reduction the impact of galvanic production on the environment due to the processing of spent zinc electrolytes. Analyzed existing methods of treatment of spent zinc electrolytes, allow to reduce the flow of heavy metals into the environment. Presented results confirm the possibility of recycling spent zinc electrolytes to produce pigments. The precipitation of zinc ions from spent zinc electrolytes with sodium phosphate in the presence of admixtures of bright agents and iron compounds, which are most often found in spent electrolytes due to their contamination during operation, was studied.

Keywords: environment, heavy metals, spent electrolyte, precipitation, pigment, brightener, whiteness

В. І. Чапрасава, В. С. Залыгіна

Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: vicacheprasova10@gmail.com, zalyhina@mail.ru

ЗНІЖЭННЕ ЎЗДЗЕЯННЯ ГАЛЬВАНІЧНАЙ ВЫТВОРЧАСЦІ НА НАВАКОЛЬНАЕ АСЯРОДДЗЕ ШЛЯХАМ ПЕРАПРАЦОЎКІ АДПРАЦАВАНЫХ ЭЛЕКТРАЛІТАЎ ЦЫНКОВАННЯ

Паказана магчымасць зніжэння ўздзеяння гальванічнай вытворчасці на навакольнае асяроддзе за кошт перапрацоўкі адпрацаваных электралітаў цынкавання. Праведзены аналіз існуючых спосабаў абыходжання з адпрацаванымі электралітамі цынкавання гальванічнай вытворчасці, якія дазваляюць забяспечыць зніжэнне паступлення цяжкіх металаў у навакольнае асяроддзе. Прадстаўлены вынікі, якія пацвярджаюць магчымасць перапрацоўкі адпрацаваных электралітаў цынкавання з атрыманнем пігментаў. Вывучана асаджэнне іонаў цынку з адпрацаваных электралітаў цынкавання фасфатам натрыю ў прысутнасці прымешак блескаўтваральнікаў і злучэнняў жалеза, якія найбольш часта ўтрымліваюцца ў адпрацаваных электралітах з прычыны іх забруджвання ў працэсе эксплуатацыі.

Ключавыя словы: навакольнае асяроддзе, цяжкія металы, адпрацаваны электраліт, асаджэнне, пігмент, блескаўтваральнік, беласць

Введение. В настоящее время гальваническое производство является одним из наиболее опасных с экологической точки зрения. Основное воздействие гальваническое производство оказывает на гидросферу вследствие образования большого объема сточных вод. Наиболее опасными являются сточные воды, содержащие ионы тяжелых металлов, которые обладают токсическим, мутагенным и канцерогенным действиями. При этом основное количество тяжелых металлов от гальванического производства поступает в окружающую среду вследствие совместного сброса промывных сточных вод и отработанных электролитов.

Объемы сбрасываемых отработанных электролитов составляют порядка 2–3 % от общего количества сточных вод гальванического производства, однако концентрация ионов тяжелых металлов в них в 100–150 раз превышает соответствующую концентрацию в промывных водах. Периодический характер таких сбросов приводит к нарушению работы очистных сооружений, ухудшению качества очистки и ее удорожанию, риску попадания в окружающую среду тяжелых металлов. Кроме этого, тяжелые металлы являются ценным и дефицитным сырьем, в связи с чем рекомендуется производить раздельное отведение промывных сточных вод и отработанных электролитов с последующей переработкой последних [1, 2].

В настоящее время первое место по площади покрываемых деталей занимает цинкование. Вследствие ряда преимуществ наибольшее распространение получили хлоридно-аммонийные электролиты цинкования [3]. Такие электролиты характеризуются высокой катодной поляризацией и хорошей электропроводностью, что оказывает благоприятное влияние на рассеивающую способность, которая выше всех нецианидных электролитов, в том числе сульфатных. Они характеризуются широким интервалом рабочих плотностей тока при катодном выходе металла по току, близком к 100 %, и могут использоваться для покрытия деталей различной конфигурации. В связи с этим отработанные электролиты хлоридно-аммонийного цинкования были выбраны в качестве объекта исследования в данной работе.

Известны следующие направления переработки отработанных электролитов цинкования: регенерация [1], извлечение ценных металлов [4, 5], получение пигментов [6–9] и др. [10, 11]. Методы регенерации восстанавливают работоспособность растворов электролитов за счет удаления из них примесей. Регенерация электролитов является сложным многостадийным процессом и в зависимости от условий их эксплуатации может включать в себя фильтрацию, ультрафильтрацию, выпаривание, электродиализ, ионный обмен, химическую и электрохимическую обработки, корректировку состава и ряд других операций. Стоимость оборудования для регенерации отработанных электролитов составляет от нескольких сотен до десятков тысяч евро [12]. При этом электролит может выдерживать лишь определенное количество циклов регенерации вследствие накопления в нем различных примесей, удаление которых становится затруднительным.

Извлечение металлов из отработанных электролитов чаще всего предлагается осуществлять методом мембранного электролиза [4, 5]. Однако этот метод достаточно энергоемкий, требует специального оборудования и не обеспечивает достаточно полного извлечения ионов металла – остаточная концентрация цинка составляет более 1 г/л.

Высокая концентрация ионов цинка, обладающих хромофорными свойствами, в отработанных электролитах цинкования свидетельствует о возможности их использования для получения пигментов и пигментных паст. Данное направление является особо актуальным для Республики Беларусь, поскольку в стране производство пигментов отсутствует, они полностью закупаются за рубежом (Германия, Чехия, Китай, Испания и др.).

В ряде работ описываются исследования, свидетельствующие о возможности получения пигментов из отработанных электролитов цинкования гальванического производства путем осаждения ионов цинка в виде труднорастворимых соединений [6–9]. В работе [7] предлагается перерабатывать отработанный электролит цинкования с получением оксалата цинка с использованием в качестве осадителя щавелевой кислоты, оксалатов калия, натрия, аммония или их водных растворов. Авторами заявлена возможность применения полученного оксалата цинка в качестве пигмента, однако не приводятся пигментные свойства, подтверждающие это. Недостатками этого способа также являются длительность процесса (до 3 сут) и выброс ацетона на стадии промывки осадка.

В работе [9] показана возможность получения пигментных материалов, представляющих собой смешанные гексацианоферраты железа (III)-цинка (II) из отработанных электролитов цианистого цинкования. Получение пигмента включает в себя обработку раствором соли Fe(II) с последующим окислением кислородом воздуха. Однако полученный пигмент характеризуется непостоянством состава, а его использование ограничено неустойчивостью к действию щелочей.

Рядом авторов [6, 8] предлагается получать пигменты и пигментные пасты путем обработки отработанного электролита цинкования раствором обезжиривания, основными компонентами которого являются фосфат натрия (Na_3PO_4), сода кальцинированная (Na_2CO_3), жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$) и гидроксид натрия (NaOH). Однако это приводит к образованию многокомпонентного осадка, что затрудняет возможность его дальнейшего использования. В [6] также предлагается в качестве осадителей ионов цинка использовать фосфат натрия, гидро- и дигидрофосфат натрия, однако не определены условия осаждения и влияние на него различных примесей, содержащихся в отработанных электролитах цинкования.

Таким образом, число работ по получению пигментов из отработанных электролитов цинкования ограничено и они зачастую носят общий характер. Это может быть связано с тем, что переработка отработанных электролитов гальванического производства затруднена вследствие их сложного химического состава, который характеризуется наличием не только основных компонентов самого электролита, но и различных примесей. В процессе эксплуатации электролитов их исходный состав меняется в связи с накоплением загрязняющих веществ, которые вносятся в ванну вместе с обрабатываемыми деталями, образуются в результате растворения анодов, при взаимодействии стальных деталей с электролитом, при разложении блескообразователей, смачивателей и других добавок [1].

Поэтому цель работы – исследование возможности использования хлоридно-аммонийных электролитов цинкования сложного состава для получения пигментов, что позволит снизить воздействие гальванического производства на окружающую среду.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования являлись отработанные электролиты цинкования (ОЭЦ) одного из белорусских предприятий, а также модельные отработанные электролиты цинкования (МОЭЦ). Основными компонентами ОЭЦ являются ZnCl_2 и NH_4Cl , наиболее вероятные примеси – ионы железа (Fe^{2+} и Fe^{3+}) и блескообразователи (СБЦ-1 и СБЦ-2).

Для приготовления МОЭЦ использовали ZnCl_2 , NH_4Cl , FeCl_3 и FeCl_2 квалификации ч.д.а., а также блескообразующие добавки СБЦ-1 и СБЦ-2. Согласно данным производителя, химический состав блескообразователя СБЦ-1 представлен водным раствором карбоксильных соединений и поверхностно-активных веществ (ПАВ), блескообразователя СБЦ-2 – раствором ПАВ, карбонильных соединений и органического растворителя (аcetона или изопропилового спирта).

Для осаждения из МОЭЦ ионов цинка использовали фосфат натрия $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ квалификации ч.д.а. После осаждения Zn^{2+} полученный осадок отделяли от раствора декантацией, отмывали от водорастворимых соединений дистиллированной водой до отрицательной реакции на хлорид-ионы, отфильтровывали и высушивали при температуре 80 °С. Определение диапазонов pH осаждения соединений цинка проводили на основании результатов потенциометрического титрования. Величину pH контролировали с помощью иономера лабораторного И-160.1 М (погрешность измерений 0,02).

Рентгенофазовый анализ полученных образцов проводили на рентгеновском дифрактометре D8 Advance Bruker AXS (Германия), детектор – сцинтилляционный счетчик. Запись производилась в диапазоне углов 2θ и 10–80° с шагом 0,1–0,2° и накоплением импульсов в течение 2 с. Идентификация полученных рентгенограмм проводилась с применением специализированного программного обеспечения Match1.10.1.446 и базы данных ICDDPDF-2. ИК-спектры полученных образцов получали на ИК-Фурье спектрометре NEXUSE.S.P. (Thermo Scientific, США). Спектральный диапазон 4000–400 cm^{-1} . Образцы готовили в виде таблеток, спрессованных из смеси КВг и исследуемого материала. Регистрацию ИК-спектров осуществляли при 32-кратном сканировании и разрешении 4 cm^{-1} . Определение размеров, формы частиц (структуры) и элементного состава осуществляли методом электронно-микроскопического анализа на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV с системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония). Определение дисперсности полученных образцов проводили на лазерном анализаторе размеров частиц Analizette 22 MicroTec (FritschGmbH, Германия).

Результаты и их обсуждение. Химический анализ показал, что исследуемый отработанный хлоридно-аммонийный электролит цинкования характеризуется высокой концентрацией ионов цинка – 51,4 г/л. Это свидетельствует о перспективности использования ОЭЦ для получения цинксодержащих пигментов.

В ранее проведенных исследованиях [13, 14] нами было установлено, что использование фосфата натрия Na_3PO_4 для осаждения Zn^{2+} из модельных растворов электролитов, содержащих 70 г/л ZnCl_2 , 100 г/л NH_4Cl , обеспечивает наибольшую степень извлечения ионов цинка при наименьшем расходе по сравнению с другими осадителями. Также было установлено, что осаждение Zn^{2+} из МОЭЦ фосфатом натрия до pH 8,5 с последующим подкислением до pH 6,9 обеспечивает перевод ионов цинка в осадок более чем на 99,99 %.

В работе исследовали влияние примесей блескообразователей и соединений железа, содержащихся в отработанных электролитах цинкования, на состав, структуру и свойства получаемых пигментов. Для этого были приготовлены модельные отработанные электролиты цинкования (70 г/л ZnCl_2 , 100 г/л NH_4Cl) с различным содержанием СБЦ-1, СБЦ-2, Fe^{2+} и Fe^{3+} . Для определения pH осаждения Zn^{2+} в присутствии блескообразователей было проведено потенциометрическое титрование модельных электролитов цинкования с различным содержанием СБЦ-1 и СБЦ-2 фосфатом натрия (рис. 1).

Как было установлено ранее [14], первый пик на дифференциальных кривых потенциометрического титрования при pH 6,7–6,9 соответствует осаждению тетрагидрата фосфата цинка $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, а два последующих при pH 7,5–7,7 и pH 7,9–8,1 – двухстадийному осаждению фосфата цинка-аммония ZnNH_4PO_4 , что обусловлено его кристаллизацией в гексагональной и орторомбической сингониях.

Как видно из дифференциальных кривых потенциометрического титрования, блескообразователь СБЦ-1 практически не влияет на осаждение Zn^{2+} (рис. 1, а, б).

При введении в МЭЦ СБЦ-2 pH осаждения Zn^{2+} незначительно смещается в кислую область, причем увеличивается интенсивность среднего пика (рис. 1, в), который соответствует осаждению ZnNH_4PO_4 в гексагональной сингонии. Это подтверждается данными электронной

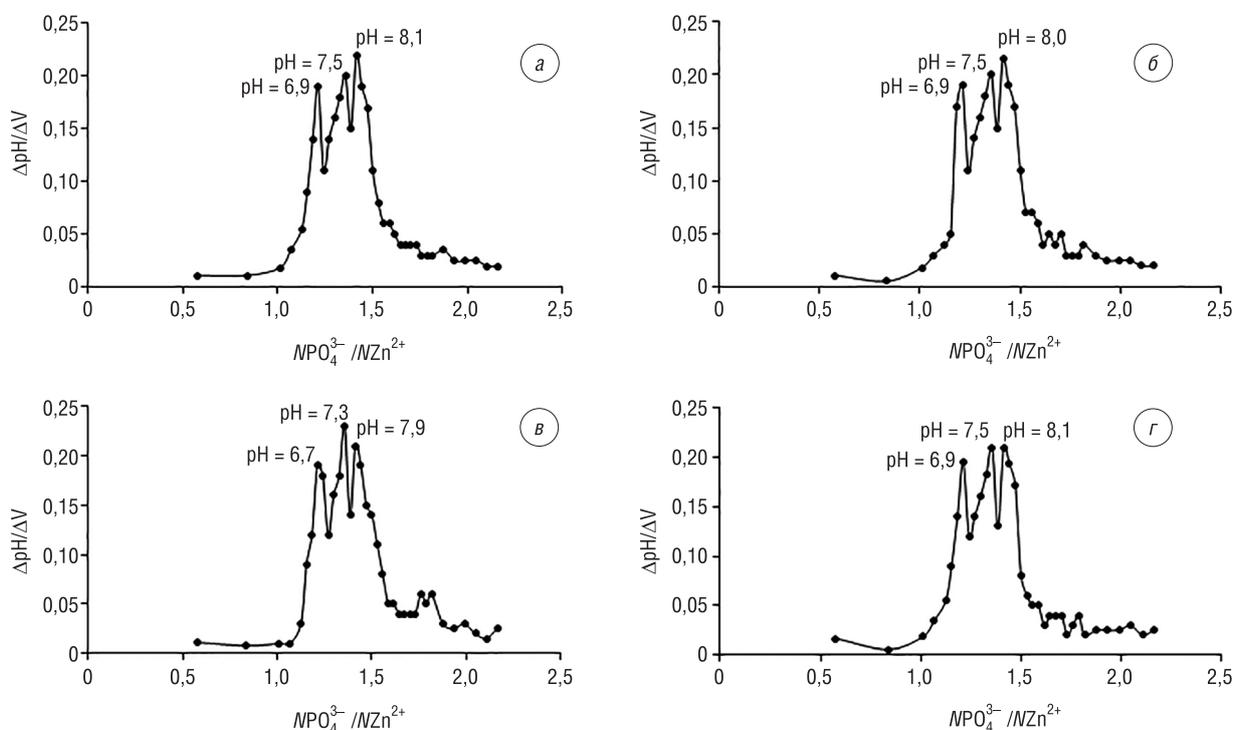


Рис. 1. Дифференциальные кривые потенциометрического титрования 1 н. раствором фосфата натрия: а – МОЭЦ-0 (без блескообразователей); б – МОЭЦ-1 (содержание СБЦ-1 – 5 г/л); в – МОЭЦ-2 (содержание СБЦ-2 – 3 г/л); г – МОЭЦ-1-2 (содержание СБЦ-1 – 5 г/л и СБЦ-2 – 3 г/л)

микроскопии (рис. 2). На микрофотографии образцов, полученных осаждением Zn^{2+} фосфатом натрия, из модельного электролита цинкования, содержащего СБЦ-2 (рис. 2, б), хорошо видны как кристаллы призматической формы, соответствующие орторомбической сингонии, так и кристаллы сложной конфигурации, соответствующие гексагональной сингонии. Элементный анализ этих кристаллов (точки 1 и 2 на рис. 2, б) подтверждает их одинаковый химический состав, соответствующий фосфату цинка-аммония (табл. 1).

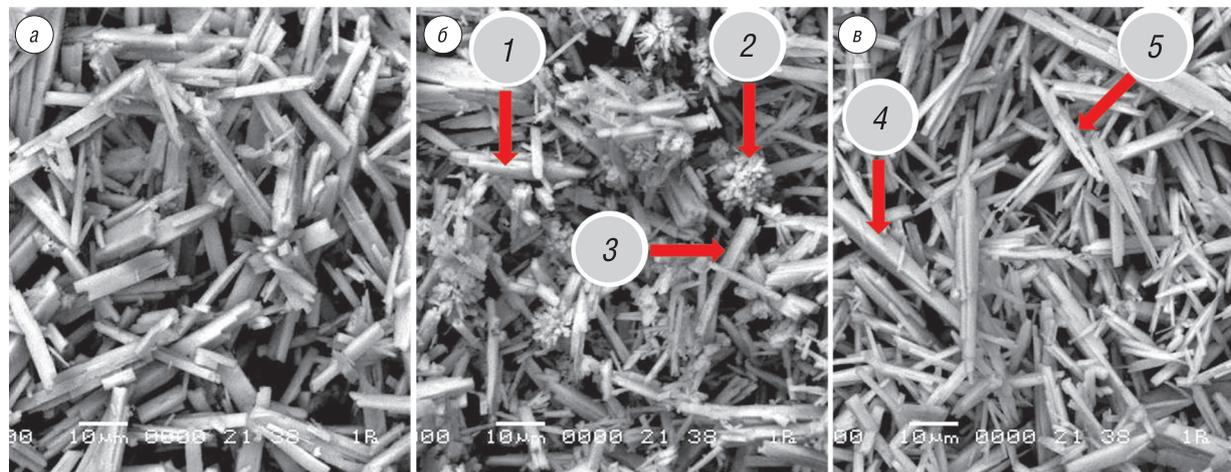


Рис. 2. Микрофотографии образцов, полученных осаждением Zn^{2+} из а – МОЭЦ-1, содержащего СБЦ-1 (5 г/л); б – МОЭЦ-2, содержащего СБЦ-2 (3 г/л); в – МОЭЦ-1-2, содержащего СБЦ-1 (5 г/л) и СБЦ-2 (3 г/л) фосфатом натрия при времени старения 30 мин, – 10 мкм

Т а б л и ц а 1. Элементный состав образцов, полученных осаждением Zn^{2+} из МОЭЦ-1, МОЭЦ-2, МОЭЦ-1-2 фосфатом натрия

Номер точки	Элементный состав, мас. %				
	Zn	P	O	N	C
1	55,99	9,06	15,38	11,72	7,55
2	56,01	9,39	15,24	11,91	7,45
3	68,05	9,79	15,38	–	6,78
4	56,06	9,42	15,45	11,69	7,38
5	67,72	9,85	15,49	–	6,94

Как было показано ранее [14], в процессе старения осадка происходит его перекристаллизация с переходом $ZnNH_4PO_4$ из гексагональной в орторомбическую сингонию. По-видимому, в присутствии СБЦ-2 этот процесс замедляется или подавляется.

Фосфат цинка во всех случаях кристаллизуется также в орторомбической сингонии. Поэтому некоторые призматические кристаллы на микрофотографиях соответствуют фосфату цинка (точка 3 на рис. 2, б, табл. 1). При совместном присутствии СБЦ-1 и СБЦ-2 влияние последнего снижается – на микрофотографии (рис. 2, в) снова наблюдаются кристаллы призматической формы, которые соответствуют фосфату цинка-аммония орторомбической сингонии и фосфату цинка (точки 4 и 5 рис. 2, в, табл. 1).

Вопрос несоответствия соотношения Zn:P ни одному из идентифицированных соединений ($ZnNH_4PO_4$ и $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$) требует дополнительных исследований. Однако наличие азота в точках 1, 2, 4 и его отсутствие в точках 3 и 5 (табл. 1) косвенно свидетельствует об образовании фосфата цинка-аммония и фосфата цинка соответственно. Результаты рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии подтверждают образование именно этих соединений.

Было установлено, что блескообразователи оказывают влияние на размер кристаллов (рис. 3). В присутствии СБЦ-1 происходит укрупнение кристаллов (увеличивается доля фракции

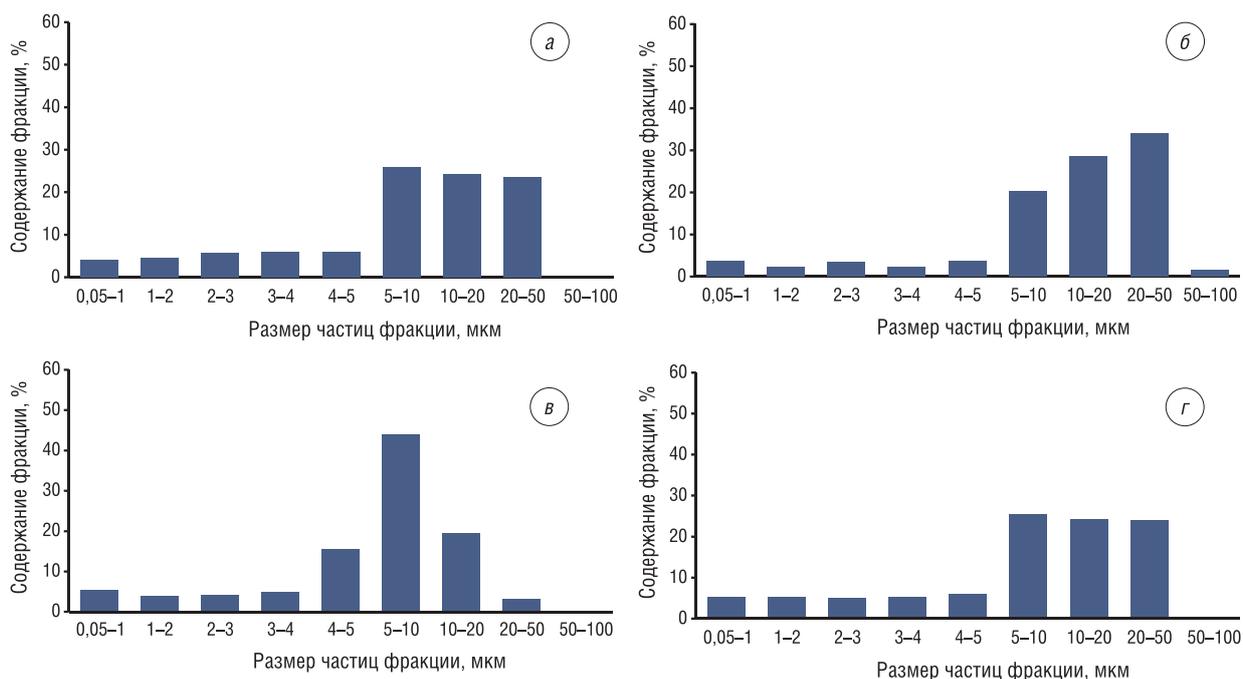


Рис. 3. Гистограммы распределения размеров частиц осадков по фракциям, полученных из: а – МЭЦ-0; б – МЭЦ-1; в – МЭЦ-2, г – МЭЦ-1-2

20–50 мкм), в присутствии СБЦ-2 – их уменьшение (увеличивается доля фракции 5–10 мкм). В случае совместного присутствия СБЦ-1 и СБЦ-2 их влияние нивелируется: распределение частиц по фракциям такое же, как и в образце, полученном из раствора без блескообразователей МЭЦ-0.

Данные рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии свидетельствуют о том, что фазовый состав осадков не зависит от присутствия блескообразователей СБЦ-1 и СБЦ-2 и во всех случаях представлен фосфатом цинка-аммония и фосфатом цинка. На рентгенограммах всех образцов, полученных из исследуемых модельных отработанных электролитов цинкования, наблюдаются ярко выраженные характеристические пики фосфата цинка-аммония $ZnNH_4PO_4$ и тетрагидрата фосфата цинка $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$.

На ИК-спектрах образцов (рис. 4), полученных из МОЭЦ-0, МОЭЦ-1, МОЭЦ-2, МОЭЦ-1-2, присутствуют полосы поглощения с максимумами при 1044 см^{-1} , соответствующие валентным колебаниям PO_4 -группы, а также при 630 и 582 см^{-1} , соответствующие деформационным колебаниям этой группы. Наличие NH_4 -группы подтверждается присутствием полос поглощения при 1438 см^{-1} (деформационные колебания) и в диапазоне $2850\text{--}3036\text{ см}^{-1}$ (валентные колебания) [15].

Было установлено, что примеси блескообразователей СБЦ-1 и СБЦ-2 не влияют на белизну получаемых осадков, а также на степень извлечения ионов цинка из ОЭЦ – во всех случаях она остается высокой и составляет 99,99 %. В процессе эксплуатации электролитов также происходит их загрязнение ионами железа вследствие взаимодействия стальных деталей, на которые наносится гальваническое покрытие, с раствором электролита.

Известно, что Fe^{3+} обладает гораздо большими хромофорными свойствами, чем Fe^{2+} . Однако анализ состава исследуемого ОЭЦ показал, что концентрация Fe^{3+} в нем на порядок ниже концентрации Fe^{2+} . Это связано с гидролизом Fe^{3+} , который протекает в процессе хранения отработанного электролита цинкования при pH 5,5–5,8. Это подтверждается экспериментальными исследованиями: при добавлении к МОЭЦ $FeCl_3$ или $FeCl_2$ происходит образование осадка коричневого цвета и снижение концентрации ионов железа в растворе. В случае $FeCl_3$ концентрация Fe^{3+} в модельном растворе электролита за 20 ч снижается со 100 до 0,12 мг/л, т.е. почти в 1000 раз. В случае $FeCl_2$ концентрация Fe^{2+} снижается всего на 8–10 %, причем за счет частичного окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} с гидролизом последнего.

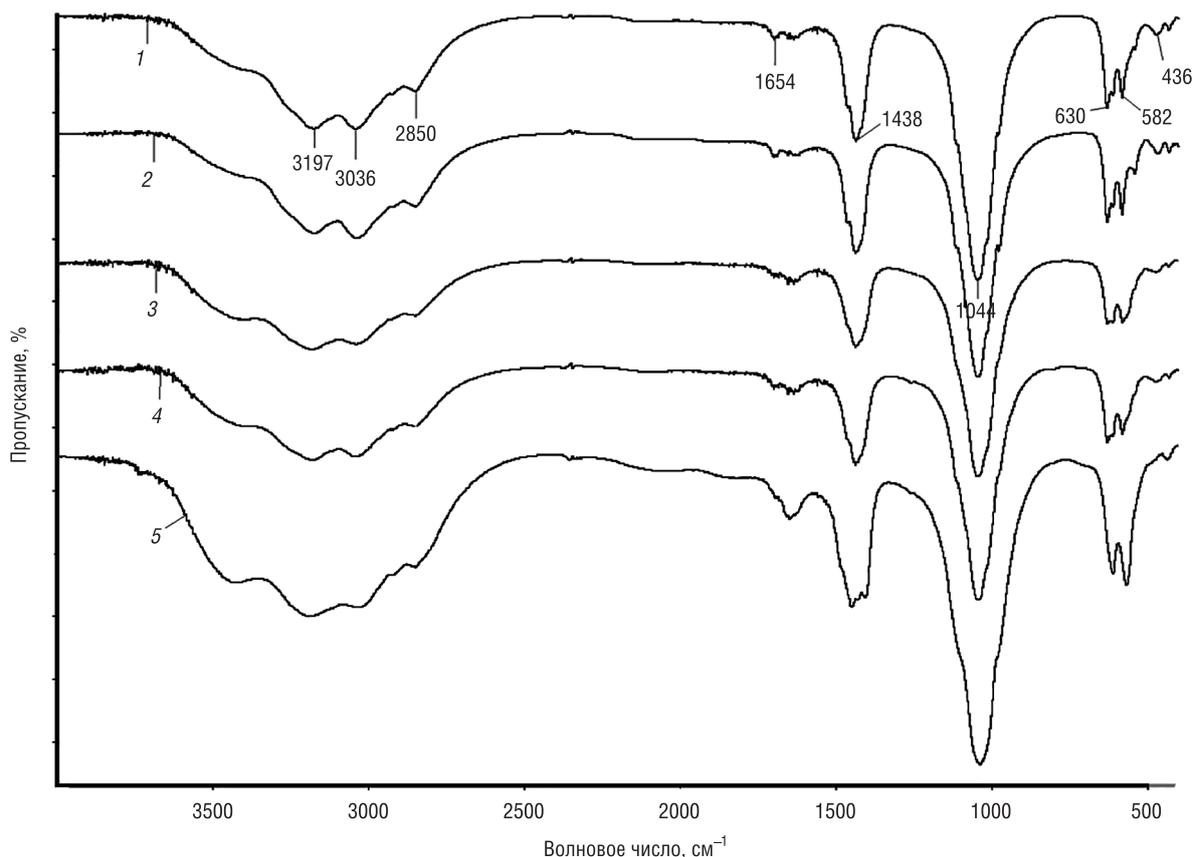


Рис. 4. ИК-спектры образцов, полученных осаждением Zn^{2+} фосфатом натрия: 1 – МОЭЦ-0; 2 – МОЭЦ-1; 3 – МОЭЦ-2; 4 – МОЭЦ-1-2; 5 – ОЭЦ

В результате гидролиза Fe^{3+} образуется аморфный осадок, в состав которого входят (мас. %): Fe – 54,51; С – 24,51; О – 14,45; Zn – 4,37; Cr – 1,04; Cl – 0,88 и Si – 0,24. Высокое содержание железа свидетельствует о возможности его использования после термообработки в качестве железосодержащего пигмента коричневой цветовой гаммы.

Исследование влияния Fe^{3+} на белизну пигмента показало, что из отработанных хлоридно-аммонийных электролитов цинкования получается пигмент требуемой белизны до концентрации Fe^{3+} 170 мг/л (согласно ТУ 2329-0-002-12588 040-95 белизна должна быть не менее 92 %). Однако вследствие гидролиза достижение такой высокой концентрации Fe^{3+} маловероятно. Чтобы исключить влияние Fe^{3+} на цвет цинксодержащего пигмента, перед его получением отработанный электролит следует отфильтровывать. Было установлено, что Fe^{3+} не влияет на степень извлечения Zn^{2+} из отработанных электролитов цинкования, а также на структуру и дисперсность образующегося осадка. Поскольку в отработанных хлоридно-аммонийных электролитах железо содержится в основном в виде Fe^{2+} , также было исследовано его влияние на осаждение Zn^{2+} и белизну получаемого пигмента (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что Fe^{2+} ухудшает осаждение Zn^{2+} , возможно, за счет замещения цинка в кристаллической решетке образующихся соединений. Установлено, что получение пигментов требуемой белизны возможно при содержании ионов Fe^{2+} в отработанных электролитах в количестве до 1000 мг/л.

Рентгенофазовый анализ не показал изменения состава получаемых пигментов в присутствии Fe^{2+} и Fe^{3+} – на рентгенограммах наблюдаются только характеристические пики тетрагидрата фосфата цинка $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ и фосфата цинка-аммония $ZnNH_4PO_4$. Однако это может быть связано с низкой чувствительностью рентгенофазового анализа либо с образованием рентгеноаморфных соединений железа, так как появление на дифференциальной кривой

Т а б л и ц а 2. Влияние Fe^{2+} на осаждение Zn^{2+} и на белизну получаемых пигментов

Концентрация Fe^{2+} в МЭЦ, мг/л	Концентрация Zn^{2+} в фильтрате, мг/л	Степень осаждения Zn^{2+} , %	Степень осаждения $Fe_{общ.}$, %	Выход осадка, г из 1 л МОЭЦ	Белизна, %
0	0,57	99,99	–	42,6	98
50	0,58	99,99	95,70	42,7	98
100	1,63	99,99	91,65	42,6	98
150	7,28	99,98	93,06	42,8	97
300	8,56	99,97	94,76	42,7	97
500	16,34	99,95	96,25	42,7	95
1000	16,34	99,95	98,14	42,8	94
1500	21,59	99,94	98,68	42,8	83
2000	32,68	99,90	99,02	42,6	81

потенциометрического титрования при осаждении цинка из модельного отработанного электролита цинкования, содержащего 170 мг/л Fe^{2+} и 1000 мг/л Fe^{3+} , пика при pH 6,3 может быть связано с образованием аморфного фосфата железа-аммония (рис. 5).

При осаждении ионов цинка из реальных отработанных электролитов цинкования, содержащих не только СБЦ-1, СБЦ-2, Fe^{2+} , Fe^{3+} , но и другие примеси в микроколичествах, также происходит образование $ZnNH_4PO_4$ и $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, что подтверждается данными рентгенофазового анализа (рис. 6) и ИК-спектроскопии (рис. 4, кривая 5). Также возможно образование примесных количеств фосфата железа-аммония. При этом наблюдается образование мелкодисперсного осадка с преобладанием фракции 5–20 мкм (84 %).

Повышение концентрации ионов железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}) в ОЭЦ приводит к снижению белизны, однако пигменты необходимой белизны можно получить при содержании Fe^{3+} до 170 мг/л, Fe^{2+} – до 1000 мг/л. Поскольку в исследованном ОЭЦ эти концентрации ниже (95 мг/л и 475 мг/л соответственно), были получены образцы с белизной 98 %, удовлетворяющие требованиям ТУ 2329-0-002-12588 040-95.

Полученные образцы характеризуются следующими свойствами: массовая доля соединений цинка в пересчете на ZnO – 65 %; массовая доля соединений железа в пересчете на Fe_2O_3 – 4,5 %; массовая доля веществ, растворимых в воде – 0,1 %; белизна – 98 %; остаток после просеивания на сите №0056 – 0,04 %; pH водной суспензии – 7,0.

Таким образом, свойства полученных образцов свидетельствуют о возможности их использования в качестве пигментов белого цвета. Они прошли успешную апробацию на УП «Комбинат декоративно-прикладного искусства им. А. М. Кищенко» и могут быть использованы для окрашивания изделий художественно-бытового назначения.

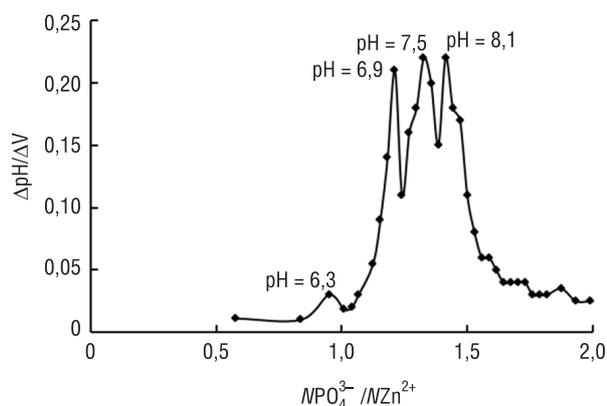


Рис. 5. Дифференциальная кривая потенциометрического титрования МОЭЦ, содержащего 1000 мг/л Fe^{2+} и 170 мг/л Fe^{3+} 1 н. раствором фосфата натрия

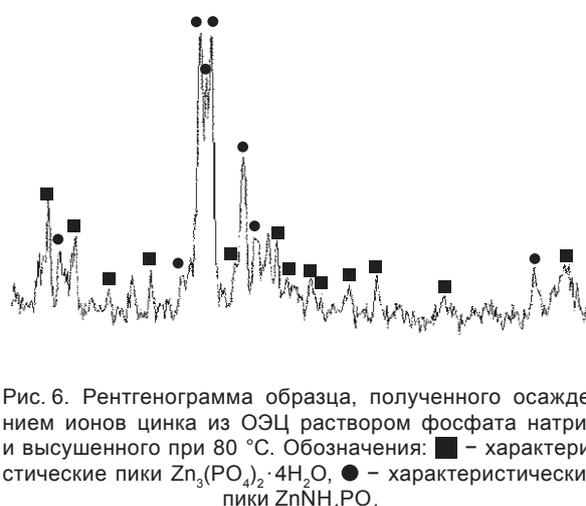


Рис. 6. Рентгенограмма образца, полученного осаждением ионов цинка из ОЭЦ раствором фосфата натрия и высушенного при 80 °С. Обозначения: ■ – характеристические пики $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, ● – характеристические пики $ZnNH_4PO_4$

Выводы. 1. Результаты проведенных исследований подтверждают возможность получения из отработанных электролитов цинкования пигментов белого цвета, соответствующих требованиям ТУ 2329-0-002-12 588 040-95, которые могут использоваться в керамической, лакокрасочной и других отраслях промышленности.

2. Установлено, что присутствие блескообразователей в отработанных хлоридно-аммонийных электролитах цинкования практически не влияет на pH и степень осаждения ионов цинка, а также на белизну получаемых пигментов. Присутствие в ОЭЦ ионов железа приводит к снижению белизны получаемых осадков, однако пигменты требуемой белизны могут быть получены при содержании Fe^{3+} до 170 мг/л, а Fe^{2+} до 1000 мг/л. В процессе хранения отработанных хлоридно-аммонийных электролитов цинкования происходит окисление Fe^{2+} до Fe^{3+} с дальнейшим гидролизом последнего, что обеспечивает снижение концентрации ионов железа до требуемой величины.

3. Показано, что переработка отработанных электролитов цинкования с получением пигментов позволит уменьшить поступление тяжелых металлов в окружающую среду, вследствие чего снизится негативное воздействие гальванического производства на окружающую среду.

Список использованных источников

1. *Виноградов, С.С.* Экологически безопасное гальваническое производство / С.С. Виноградов. – М.: Глобус, 2002. – 352 с.
2. *Марцуль, В.Н.* Очистка сточных вод гальванических цехов предприятий Республики Беларусь / В.Н. Марцуль, О.С. Залыгина, А.В. Лихачева, В.И. Романовский // Труды БГТУ. Химическая технология неорганических материалов и веществ. – 2013. – №3. – С. 61–66.
3. *Кудрявцев, Н.Т.* Электролитические покрытия металлами / Н.Т. Кудрявцев. – М.: Химия, 1979. – 352 с.
4. *Мороз, Е.М.* Извлечение ионов цинка из отработанного электролита цинкования методом мембранного электролиза / Е.М. Мороз, А.А. Черник, И.М. Жарский // Изв. Санкт-Петербург. гос. технол. ин-та. – 2013. – №19(45). – С. 19–20.
5. *Тураев, Д.Ю.* Применение метода мембранного электролиза для извлечения ионов тяжелых металлов / Д.Ю. Тураев // Журн. прикл. химии. – 2007. – Т.80. – №1. – С. 84–87.
6. *Кандидатова, И.Н.* Синтез цинксодержащих пигментов из отработанных электролитов цинкования / И.Н. Кандидатова, А.В. Степаневич, Т.А. Алексеева // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. – 2016. – №1. – С. 100–104.
7. Патент 2259347 Российская Федерация МПК С 01 G 9/06, С 01 С 1/24 Способ получения дигидрата оксалата цинка, автор: Афонин Е.Г., патентообладатель: Калуж. науч.-исследов. ин-т телемеханич. устройств; заявл. 24.11.2003; опубл. 27.08.2005.
8. Патент 2069240 Российская Федерация МПК С 25 D 21/16 Способ утилизации кислого отработанного раствора гальванического производства; авторы: Рослякова Н.Г., Росляков Р.О.; патентообладатель: Рослякова Н.Г., Росляков Р.О.; заявл. 20.04.1992; опубл. 20.11.1996.
9. *Ходяшев, Н.Б.* Закономерности обезвреживания концентрированных цианосодержащих сточных вод гальванических производств с получением пигментных материалов на основе смешанных гексацианоферратов переходных металлов // Н.Б. Ходяшев, И.С. Глушанкова, Г.А. Старкова // Фундаментальные исследования. – 2012. – №11. – С. 1254–1260.
10. Патент 2307793 Российская Федерация МПК С 01 G 9/06, С 01 С 1/24 Способ получения гексагидрата сульфата цинка-аммония, авторы: Афонин Е.Г.; патентообладатель: Калуж. науч.-исследов. ин-т телемеханич. устройств; заявл. 17.10.2005; опубл. 27.04.2007.
11. Патент 2352575 Российская Федерация МПК С 07 F 9/38, С 07 F 3/06, С 07 F 15/04, С 07 F 1/08 Способ получения бис(1-гидроксиэтан-1,1-дифосфонато(2-))купрата(2+), цинката(2+) и никелата(2+) этилендиаммония, авторы: Афонин Е.Г.; патентообладатель: Калуж. науч.-исследов. ин-т телемеханич. устройств; заявл. 17.12.2007; опубл. 20.04.2009.
12. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics. – European commission – August, 2006. – 582 p.
13. *Чепрасова, В.И.* Отработанные электролиты цинкования как вторичное сырье для получения пигментов / В.И. Чепрасова, О.С. Залыгина // Журн. прикл. химии. – 2017. – Т. 90, вып. 3. – С. 318–326.
14. *Чепрасова, В.И.* Исследование возможности получения пигментов из отработанных электролитов цинкования / В.И. Чепрасова, О.С. Залыгина, В.Н. Марцуль // Вестник Витеб. гос. технол. ун-та. – 2016. – №30. – С. 105–116.
15. Crystallographic properties of fertilizer compounds / Chemical engineering bulletin. Tennessee valley authority. – 1967. – №6. – 305 с.

Поступила 15.08.2018