

ISSN 1810-9810

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

NATURAL RESOURCES

**№ 1
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 часопіс
«ПРЫРОДНЫЯ РЭСУРСЫ»
Выдаецца з 1996 года
Выходзіць 2 разы ў год
Май 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. Мяльноў, 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: priod_res@mail.ru

Падпісныя індэксы:
012762 ведамасны
01276 індывідуальны

Камп'ютарная вёрстка А. У. Новік
Падпісана да друку 28 мая 2018 г.
Фармат 60×84 1/8. Папера афсетная. Друк лічбавы.
Ум. друк. л. 18,14. Ул.-выд. л. 16,4.
Наклад 78 асобнікаў. Заказ 99.
Кошт: індывідуальная падпіска – 20,26 руб.,
ведамасная падпіска – 20,48 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
May 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: priod_res@mail.ru

Subscription indices:
012762 departmental
01276 individual

Computer imposition A. V. Novik
Signed for publication May 28, 2018
Format 60×84 1/8. Offset paper. Seal digital.
Related press sheet 18.14. Publisher's signatures 16.4.
Circulation 78 copies. Order 99.
Price: individual subscription – 20,26 BYN,
departmental subscription – 20,48 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

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Пеньковская А. М., Попова Е. Н., Петренко Е. Б. Оценка влияния водопользования на поверхностные водные объекты Беларуси	5
Асмаловский Н. А., Колобаев А. Н. Возможные изменения водного режима Вилии после ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС	23
Шестак И. В., Воробьёв П. Д., Чередниченко Д. В., Воробьёв А. Д. Ресурсосберегающие способы водоподготовки в оборотных системах	32

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Савицкая К. Л. Состояние изученности флоры и растительности водных объектов Минской области	40
Алехнович А. В., Сливинская К. А., Молотков Д. В. Потенциальные ресурсы длиннопалого рака <i>Astacus leptodactylus</i> озера и водохранилищ белорусской части бассейна Западного Буга	65
Дробенков С. М. Пространственное распределение и промысловые ресурсы региональной популяции гадюки обыкновенной (<i>Pelias Verus</i>) в Беларуси	72
Мороз М. Д., Гигиняк Ю. Г., Гигиняк И. Ю., Байчоров В. М. Видовой состав водных беспозвоночных родниково-ручьевого комплекса «Трофимова Криница»	81
Беспятова Л. А., Бычкова Е. И., Якович М. М., Бугмырин С. В. Особенности проявления природных очагов клещевых инфекций на территориях Карелии и Беларуси	86

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Божкова В. В., Бурак Р. Н., Козерук Б. Б., Людчик А. М., Мельник Е. А. Антропогенное загрязнение воздуха и приземный озон в городах Беларуси	92
Данилович И. С., Гайер Б. Моделирование изменений температуры воздуха и осадков по декадам текущего столетия для территории Беларуси	102

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Оношко М. П., Глаз А. С., Смыкович Л. И., Подружая М. А. Ландшафтно- и эколого-геохимические оценки территории в районе размещения Белорусской АЭС	115
Юргенсон Н. А., Абрамчук А. В., Шушкова Е. В., Шляхтич Е. А. Проблемы интеграции национальной экологической сети и Изумрудной сети Беларуси	127
Клебанович Н. В., Киндеев А. Л. Геостатистический анализ пространственной неоднородности кислотности почв	138
Воробьёва Е. В., Шестак И. В., Воробьёв А. Д., Матрунчик Ю. В. Применение ингибиторов осадкообразования в водооборотных системах для рационального использования водных ресурсов	148

CONTENTS

WATER RESOURCES

- Penkovskaya A. M., Popova K. N., Petrenko A. B.** Assessment of the impact of water use on surface water objects of Belarus 5
- Asmalouski N. A., Kolobaev A. N.** Possible changes in the Vilia water regime after commissioning of the Belarusian Nuclear Power Plant 23
- Shestak I. V., Vorobiov P. D., Cherednichenko D. V., Vorobiov A. D.** Resource-saving water treatment methods in the current systems 32

BIOLOGICAL RESOURCES

- Savitskaya K. L.** Investigations of flora and vegetation of the water bodies in Minsk Region 40
- Alekhovich A. V., Slivinskaia K. A., Molotkov D. V.** Potential resources of narrow clawed crayfish *Astacus Leptodactylus* in lakes and reservoirs of the belarusian part of the Western Bug 65
- Drobiankov S. M.** Spatial distribution and commercial resources of regional population the common adder (*Pelias Berus*) in Belarus 72
- Moroz M. D., Giginyak J. G., Giginyak I. J., Baitchovrov V. M.** Species composition of aquatic invertebrates of the spring and stream Complex «Trofimova Krinitsa» 81
- Bespyatova L. A., Bychkova E. I., Yakovich M. M., Bugmyrin S. V.** Manifestation peculiarities of natural focuses of tick-borne infections on the territory of Karelia and Belarus 86

CLIMATIC RESOURCES

- Bozhkova V. V., Burak R. N., Kozeruk B. B., Liudchik A. M., Melnik H. A.** Anthropogenic air pollution and surface ozone in cities of Belarus 92
- Danilovich I. S., Gayer B.** Modeling of air temperature and precipitation decadal changes during the current century for the territory of Belarus 102

NATUREMANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE AND RESOURCE- SAVING TECHNOLOGIES

- Onoshko M. P., Glaz A. S., Smykovich L. I., Podrzhaya M. A.** Landscape- and ecological-geochemical assessment territory in the area of location of the Belarusian nuclear power plant 115
- Yurgenson N. A., Abramchuk A. V., Shushkova A. V., Shliakhtsich A. A.** Challenges for integraton of the National Ecological Network and the Emerald Network in Belarus 127
- Clebanovich N. V., Cindeev A. L.** Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of soil acidity 138
- Vorobiova E. V., Shestak I. V., Vorobiov A. D., Matrunctcik Y. V.** Application of inhibitors of sedimentation in water-turning systems for the rational use of water resources 148

ЗМЕСТ

ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

- Пянькоўская А. М., Папова К. Н., Пятрэнка А. Б.** Ацэнка ўплыву водакарыстання на паверхневыя водныя аб'екты Беларусі 5
- Асмалюскі М. А., Калабаеў А. М.** Магчымыя змены воднага рэжыму Віліі пасля ўводу ў эксплуатацыю Беларускай АЭС 23
- Шастак І. В., Вараб'ёў П. Д., Чараднічэнка Д. В., Вараб'ёў А. Д.** Рэсурсазберагальныя спосабы водападрыхтоўкі у абаротных сістэмах 32

БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

- Савіцкая К. Л.** Стан вывучанасці флоры і расліннасці водных аб'ектаў Мінскай вобласці 40
- Аляхновіч А. В., Слівінская К. А., Малаткоў Д. В.** Патэнцыяльныя рэсурсы доўгапалага рака (*Astacus Leptodactylus*) азёр і вадасховішчаў беларускай часткі басейна Заходняга Буга 65
- Драбянкоў С. М.** Прасторавое размеркаванне і прамысловыя рэсурсы рэгіянальнай папуляцыі гадзюкі звычайнай (*Pelias Berus*) ў Беларусі 72
- Мароз М. Д., Гігіняк Ю. Р., Гігіняк І. Ю., Байчароў У. М.** Відавы склад водных бесхрыбетных крынічна-ручаёвага комплексу «Трафімава крыніца» 81
- Беспятава Л. А., Бычкова Я. І., Яковіч М. М., Бугмырын С. В.** Асаблівасці праявы прыродных ачагоў клешчавых інфекцый на тэрыторыі Карэліі і Беларусі 86

КЛІМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

- Бажкова В. У., Бурак Р. М., Казярк Б. Б., Людчык А. М., Мельнік А. А.** Антрапагеннае забруджванне паветра і прыземны азон у гарадах Беларусі 92
- Даніловіч І. С., Гайер Б.** Мадэляванне змен тэмпературы паветра і ападкаў па дэкадах бягучага стагоддзя для тэрыторыі Беларусі 102

ПРЫРОДАКАРЫСТАННЕ, ЭКОЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ

- Аношка М. П., Глаз А. С., Смыковіч Л. І., Падружжая М. А.** Ландшафтна- і экалага-геахімічныя ацэнкі тэрыторыі ў раёне размяшчэння Беларускай АЭС 115
- Юргенсон Н. А., Абрамчук А. В., Шушкова А. В., Шляхціч А. А.** Праблемы інтэграцыі нацыянальнай экалагічнай сеткі і Смарагдавай сеткі Беларусі 127
- Клебановіч Н. В., Кіндзеляў А. Л.** Геастатыстычны аналіз прасторавай неаднароднасці кіслотнасці глеб 138
- Вараб'ёва Е. В., Шастак І. В., Вараб'ёў А. Д., Матрунчык Ю. В.** Ужыванне інгібітараў асадкаатрымання ў водазваротных сістэмах для рацыянальнага выкарыстання водных рэсурсаў 148

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
WATER RESOURCES
ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 626.80

А. М. Пеньковская, Е. Н. Попова, Е. Б. Петренко

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
Минск, Беларусь, e-mail: asyap39@rambler.ru, Katia.Popova@tut.by, alena_ww@mail.ru*

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ
БЕЛАРУСИ**

Приведена динамика водопользования в бассейнах рек Беларуси за период 2006–2015 гг. К настоящему времени добыча (изъятие) вод уменьшилась в целом по стране на 15 %, причем добыча подземных вод сократилась на 20 %, а изъятие поверхностных вод уменьшилось на 7 %. Объемы сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты снизились на 7 %. Выполнен анализ причин изменения основных показателей водопользования. Выявлены водопользователи, оказывающие наибольшее влияние на экологическое состояние поверхностных водных объектов. На основании принятых критериев проведена оценка степени негативного влияния со стороны наиболее крупных водопользователей на качество воды поверхностных водных объектов по гидрохимическим показателям. Установлено, что наибольшей разницей между фактическими и допустимыми значениями добычи (изъятия) воды характеризуется бассейн реки Припять, наименьшей – бассейны рек Неман и Западная Двина, между фактическими и допустимыми значениями сбросов сточных вод – бассейны рек Припять и Днепр, наименьшей – также бассейны рек Неман и Западная Двина. Обосновано различие между фактическими и нормативными объемами водопотребления и водоотведения в разрезе водопользователей и речных бассейнов. Для возможности контроля и уточнения разрешенных объемов водопользования предложено приводить в разрешениях на специальное водопользование данные об источниках информации, используемой при расчетах. При установлении допустимых сбросов рекомендуется использовать бассейновый принцип, что позволит обоснованно распределить ассимиляционный потенциал речного бассейна между водопользователями при его ограниченности.

Ключевые слова: поверхностные водные объекты, сточные воды, нормативные показатели, степень влияния, очистные сооружения

A. M. Penkovskaya, K. N. Popova, A. B. Petrenko

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus
e-mail: asyap39@rambler.ru, Katia.Popova@tut.by, alena_ww@mail.ru*

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF WATER USE ON SURFACE WATER OBJECTS OF BELARUS

Given the dynamics of water use in river basins of Belarus for the period 2006–2015. To date, extraction (withdrawal) of water decreased in the whole country by 15 %, and the extraction of groundwater was reduced by 20 % and withdrawal of surface waters has decreased by 7 %. The volumes of wastewater discharges into surface water bodies decreased by 7 %. The analysis of the causes of changes in main indices of water use. Identified water users that have the greatest impact on the ecological status of surface water bodies. On the basis of accepted criteria, assess the degree of negative influence of the major water users on the water quality of surface water hydrochemical indicators. It is established that the greatest difference between actual and allowable values of production (withdrawal) of water is characterized by the basin of the Pripyat river, the lowest – the basins of rivers Neman and Western Dvina, between the actual and permissible values of wastewater discharges – the river basins of the Pripyat and the Dnieper, the smallest is also the basins of rivers Neman and Western Dvina. It justifies the distinction between factual and normative volumes of water consumption and water disposal in the context of water users and river basins. To control and clarify permissible amounts of water proposed to give permits for special water use data on the sources of information used in the calculations. When setting permissible discharge it is recommended to use the basic principle that will help to reasonably allocate the assimilative capacity of the river basin among water users with its limitations.

Keywords: surface water objects, waste water, normative parameter, assessment of the impact, treatment facilities

А. М. Пенькоўская, К. М. Папова, А. Б. Пятрэнка

Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь,
e-mail: asyap39@rambler.ru, Katia.Popova@tut.by, alena_vw@mail.ru

АЦЭНКА ЎПЛЫВУ ВОДАКАРЫСТАННЯ НА ПОВЕРХНЕВЫЯ ВОДНЫЕ АБ'ЕКТЫ БЕЛАРУСІ

Прыведзена дынаміка водакарыстання ў басейнах рэк Беларусі за перыяд 2006–2015 гг. Да цяперашняга часу здабыча (адабранне) вод зменшылася ў цэлым па краіне на 15 %, прычым здабыча падземных вод скарацілася на 20 %, а адабранне паверхневых вод – на 7 %. Аб'ёмы скіданняў сцэкавых вод у паверхневыя водныя аб'екты знізіліся на 7 %. Выкананы аналіз прычын змены асноўных паказчыкаў водакарыстання. Выяўлены водакарыстальнікі, якія аказваюць найбольшы ўплыў на экалагічны стан паверхневых водных аб'ектаў. На падставе прынятых крытэрыяў праведзена ацэнка ступені негатывага ўплыву з боку найбольш буйных водакарыстальнікаў на якасць вады паверхневых водных аб'ектаў па гідрахімічным паказчыкам. Устаноўлена, што найбольшай розніцай паміж фактычнымі і дапушчальнымі значэннямі здабычы (адабрання) вады характарызуецца басейн ракі Прыпяць, найменшай – басейны рэк Нёман і Заходняя Дзвіна, паміж фактычнымі і дапушчальнымі значэннямі скіданняў сцэкавых вод – басейны рэк Прыпяць і Днепр, найменшай – таксама басейны рэк Нёман і Заходняя Дзвіна. Абгрунтавана адрозненне паміж фактычнымі і нарматыўнымі аб'ёмамі водаспажывання і водаадвядзення ў разрэзе водакарыстальнікаў і рачных басейнаў. Для магчымасці кантролю і ўдакладнення дазволена аб'ёмаў водакарыстання прапанавана прыводзіць у дазволы на спецыяльнае водакарыстанне дадзеныя аб крыніцах інфармацыі, якая выкарыстоўваецца пры разліках. Пры вызначэнні дапушчальных аб'ёмаў скіданняў рэкамендуецца выкарыстоўваць басейнавы прынцып, што дазволіць абгрунтавана размеркаваць асіміляцыйны патэнцыял рачнога басейна паміж водакарыстальнікамі пры яго абмежаванасці.

Ключавыя словы: паверхневыя водныя аб'екты, сцэкавыя воды, нарматыўныя паказчыкі, ступень уплыву, ачышчальныя збудаванні

Введение

Водные ресурсы являются элементом природной среды. Они формируются за счет поверхностных и подземных вод. И поверхностные, и подземные воды используются в народном хозяйстве. Их состояние определяется влиянием как природных, так и антропогенных воздействий. Ведущими антропогенными факторами изменения природной среды выступают развитие производственного комплекса страны и динамика численности населения.

Производственные отрасли (энергетика, промышленность, сельское хозяйство, транспорт) служат основными источниками поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, образования отходов, преобразования природных комплексов. Численность населения оказывает влияние на использование природных ресурсов как непосредственное (для удовлетворения своих жизненных потребностей), так и опосредованное (для производственных нужд). Обеспечение нормальной жизнедеятельности населенных пунктов связано также с загрязняющим воздействием на окружающую среду.

На количественные показатели водных ресурсов основное влияние оказывает хозяйственная деятельность, осуществляемая непосредственно на водных объектах. На качественные характеристики водных ресурсов также основное влияние оказывает хозяйственная деятельность в пределах водосбора (вырубка и посадка лесов, осушение болот, распашка земель, применение минеральных и органических удобрений, сбросы сточных вод, сток с промышленных площадок, территорий городов, населенных пунктов и т.д.).

При анализе данных по использованию водных ресурсов в каждом конкретном случае как на региональном, так и на отраслевом уровнях учитываются все виды водопользования (хозяйственно-питьевое, производственное, сельскохозяйственное водоснабжение, орошение, прудовое рыбное хозяйство и др.). Так, в промышленности используется вода не только на производственные, но и на хозяйственно-питьевые нужды (обеспечение работников водой в процессе производства). Определенное количество воды в промышленности расходуется на орошение, прудовое хозяйство, сельскохозяйственное водоснабжение, так как исторически сложилось, что некоторые отрасли обладают собственными подсобными хозяйствами. В то же время под расходом воды на производственные нужды подразумевается использование ее не только в промышленности, но и в сельскохозяйственном производстве, и в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Централизованное водоснабжение городов (за исключением г. Минска), городских и сельских населенных пунктов и промышленных предприятий республики базируется на использовании пресных подземных вод.

Вся информация о состоянии водных ресурсов и водопользовании интегрируется в рамках Государственного водного кадастра. Там же формируется база данных о разрешенных и фактических объемах добычи (изъятия) воды и ее использовании, сбросе сточных вод, об установленных нормативах допустимых сбросов и фактических сбросах загрязняющих веществ в составе сбрасываемых сточных вод. Информация, содержащаяся в этой базе, послужила основой для выполнения исследования.

Динамика водопользования

С 1990 г. в Беларуси прослеживается тенденция уменьшения добычи (изъятия) воды. Анализ динамики водопользования в бассейнах рек за период 2005–2016 гг. свидетельствует о том, что к настоящему времени добыча подземных и изъятие поверхностных вод уменьшились в целом по стране (по сравнению с 2005 г.) на 15,2 %, причем добыча подземных вод сократилась на 20,8 %, а изъятие поверхностных вод уменьшилось на 7,3 % (табл. 1, рис. 1) [2]. Сокращение добычи подземных вод связано с экономией воды в результате установки населением индивидуальных приборов учета воды в жилом секторе и усилением позитивных тенденций водосбережения в отрасли жилищно-коммунального хозяйства. Сохраняется тенденция уменьшения использования воды питьевого качества на производственные нужды. Снижился объем воды, использованной на производственные и сельскохозяйственные нужды. Это обусловлено не только снижением объемов производства, но и более рациональным и экономным водопользованием.

Объемы использования свежей воды сократились на 18,6 %, в том числе на хозяйственно-питьевые нужды – на 32,8 %, на производственные – на 55,6 %. Увеличились объемы использования воды в прудовом рыбном хозяйстве на 22,3 %.

Т а б л и ц а 1. Динамика основных показателей водопользования в Республике Беларусь (за 2005–2016 гг.)

Показатель	млн м ³ в год											
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Количество отчитывающихся водопользователей	4118	4005	3903	3740	3611	3423	3200	3266	3199	3171	3097	3109
Добыто воды из подземных источников и изъято из поверхностных водных объектов	1773	1730	1698	1638	1573	1598	1638	1642	1570	1571	1448	1504
Добыто воды из подземных источников	1034	1010					891	898	874	867	845	819
Изъято из поверхностных водных объектов	739	720					747	744	696	704	603	685
Использовано свежей воды:	1600	1546	1485	1410	1338	1359	1406	1442	1373	1371	1270	1302
на хозяйственно-питьевые нужды	750	708	653	573	501	495	486	492	477	473	474	504
из них подземных вод												90,06
на производственные нужды	441	423	428	423	371	393	423	429	407	405	389	195,57
на сельскохозяйственное водоснабжение	121	117	110	109	110	107	110	114	112	112	110	116,4
на орошение	6	17	6	5	6	7	4	6	5	3	4	–
в рыбном прудовом хозяйстве	282	281	288	300	350	357	383	401	372	378	293	344,86
Расходы воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения	6369	6522	6349	6697	6134	6385	5973	5642	5690	5803	5414	4988
Сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты, всего:	1146	1082	1038	990	996	990	1000	1015	974	954	870	1071
недостаточно очищенных	10	9,4	9,0	11	3,2	5,3	5,8	3,4	2,9	3,4	5,7	8,8
нормативно очищенных	846	817	760	709	684	671	662	667	654	635	618	818
не требующих очистки	290	256	269	270	309	314	332	345	317	316	246	244
Мощность очистных сооружений, после которых сточные воды сбрасываются в поверхностные водные объекты	1329	1390	1425	1450	1533	1560	1578	1635	1640	1677	1679	–

П р и м е ч а н и е. В 2016 г. введена новая форма статистической отчетности 1-вода (Минприроды), изменены требования по ее заполнению, представление материалов может отличаться от предыдущего периода.

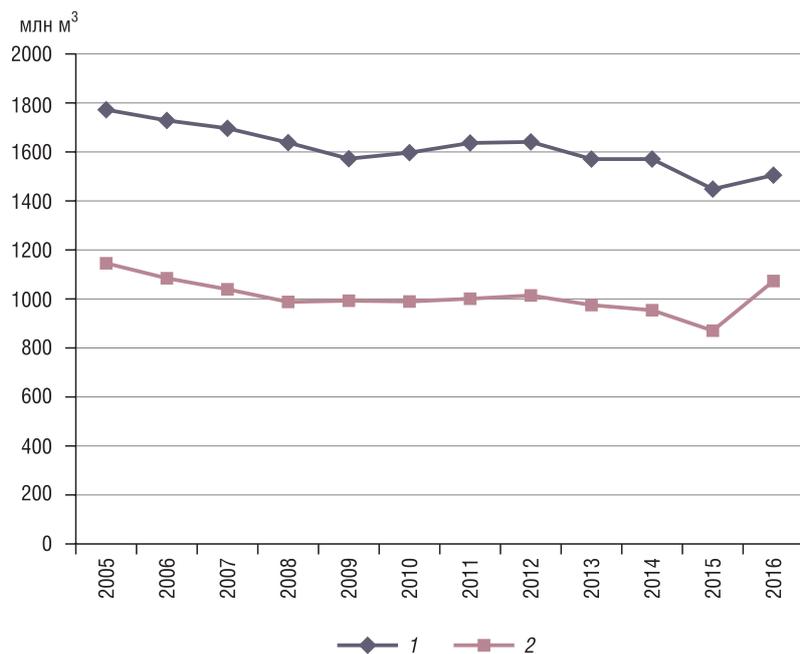


Рис. 1. Динамика основных показателей водопользования за период 2005–2016 гг. Здесь и далее: 1 – добыто воды из подземных источников и изъято из поверхностных водных объектов; 2 – сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты

Объемы сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты уменьшились на 6,5 %, в том числе недостаточно очищенных – на 12,0 %, нормативно очищенных – на 3,3 %, не требующих очистки – на 15,9 %. При этом расходы воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения сократились на 21,7 %.

За указанный период наблюдений отмечено увеличение мощности очистных сооружений, после которых очищенные сточные воды сбрасываются в поверхностные водные объекты.

Использование водных ресурсов для нужд гидроэнергетики вследствие равнинности территории республики идет путем строительства низконапорных гидроэнергетических объектов небольшой мощности. Гидроэнергетический потенциал водных объектов использован только на 3 %. Наиболее благоприятные условия для строительства гидроэлектростанций имеются на притоках реки Днепр, а также в бассейнах рек Западная Двина и Неман.

Поверхностные водные ресурсы Беларуси в силу трансграничного характера естественных водотоков складываются из стока, формирующегося в пределах страны, и трансграничного стока. Средний многолетний объем общего речного стока составляет 57,9 км³ в год, в том числе на долю местного стока приходится 59 %, что соответствует 34,0 км³ в год. Общий речной сток 95%-ной обеспеченности на ~1/3 ниже и составляет 37,2 км³ в год, а местный 95%-ной обеспеченности – 22,8 км³ в год.

Среди областей с максимальными объемами речного стока выделяется Гомельская область, по территории которой протекают крупнейшие реки в Беларуси. Показатели изъятия, добычи, потерь, сбросов сточных вод наивысшие в Минской области, в чем проявляется влияние крупного промышленного центра – г. Минска.

Водохозяйственные балансы как в целом для Беларуси, так и для каждой из областей положительные. Существуют значительные резервы для увеличения потребления речных вод (табл. 2).

Динамика изменения показателей сброса сточных вод и недостаточно очищенных сточных вод приведена в табл. 3, 4. По количеству сбрасываемых сточных вод на первом месте находится жилищно-коммунальное хозяйство – 50 %, затем сельское – 17 и прудовое рыбное хозяйство – 16, промышленность – 14 и энергетика – 3 %.

Т а б л и ц а 2. **Водохозяйственный баланс по областям Республики Беларусь (обеспеченность 95 %, уровень 2015 г.), млн м³**

Показатель	Область						Республика Беларусь
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская	
Естественный речной сток, в том числе местный	6680 3110	12 100 5000	19 470 3540	6170 3090	5360 4900	9580 3360	36 600 23 000
Уменьшение речного стока вследствие добычи воды из подземных источников	71,21	61,21	76,87	57,99	143,33	58,75	494,42
Изъятие воды из поверхностных водных объектов	127,32	93,25	64,93	59,49	188,87	37,59	571,79
Сброс сточных вод	149,08	128,80	110,0	101,42	127,97	89,90	869,61
Потери воды	9,86	14,61	17,30	10,24	19,83	15,38	128,21
Комплексный попуск	1720	2760	1960	1700	2700	1860	12 700
Баланс по поверхностному (местному) стоку	1330,69	2199,73	1530,9	1363,7	1975,9	1478,18	9975,19

П р и м е ч а н и е. В 2016 г. введена новая форма статистической отчетности 1-вода (Минприроды), изменены требования по ее заполнению, представление материалов может отличаться от предыдущего периода.

Т а б л и ц а 3. **Динамика сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты по бассейнам рек Республики Беларусь (за 2005–2016 гг.), млн м³**

Бассейн реки	Год											
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Днепр	792	768	734	696	716	704	703	723	680	642	566	448
Припять	200	202	207	209	261	272	280	296	277	254	186	252
Неман	140	139	135	131	128	128	130	130	131	147	145	167
Западная Двина	156	126	119	117	103	108	117	116	117	114	116	130
Западный Буг	58	49	50	46	50	50	51	46	46	51	43	53
Всего	1146	1082	1038	990	997	990	1000	1015	974	954	870	1088

Т а б л и ц а 4. **Динамика сбросов недостаточно очищенных сточных вод по бассейнам рек Республики Беларусь за 2005–2016 гг., млн м³**

Бассейн реки	Год											
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Днепр	8	7	4	3	1	2	3	1	1	2	4	5
Припять	6	4	2	1	0	1	1	0	0	1	2	1
Неман	1	1	2	3	1	2	2	2	2	2	1	2
Западная Двина	1	1	3	5	1	1	0	0	0	0	0	1
Западный Буг	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	10	9	9	11	3	5	6	3	3	3	6	9

Согласно данным статистической отчетности по форме 1-вода (Минприроды), за последние десять лет поступление загрязняющих веществ в водные объекты Республики Беларусь снизилось по отношению к 2005 г.: органические вещества – на 7 %; нефтепродукты – 31; нитрит-ион – 80; аммоний-ион – 3; сульфат-ион – на 14,9 %.

Детальный анализ причин изменения показателей водопользования приведен в изданиях государственного водного кадастра за весь анализируемый период (2005–2016 гг.).

В качестве примера ниже приведен анализ причин изменения показателей водопользования за 2015 г. Объем добычи (изъятия) воды в этом году сократился по сравнению с предыдущим годом на 123,2 млн м³ и составил 1447,5 млн м³ (изъятие из водных объектов – 602,9 млн м³,

добыча подземных вод – 844,6 млн м³). При этом добыча (изъятие) воды для использования уменьшилась на 114,5 млн м³ вследствие уменьшения на 5,5 млн м³ изъятия воды для переборки стока в р. Свислочь.

Сокращение добычи (изъятия) воды из поверхностных водных объектов и подземных вод обусловлено тем, что в 2015 г. существенно сокращен объем добычи (изъятия) воды для использования рядом крупных водопользователей (ОАО Рыбхоз «Красная Слобода», Солигорский район – на 34,7 млн м³, РУП «Любанское ПМС» – на 33,0 млн м³, ОАО «Рыбхоз «Полесье», Пинский район – на 12,1 млн м³, ОАО «Рыбхоз «Тремля», Петриковский район – на 4,8 млн м³, КУПП «Минскводоканал» – на 4,0 млн м³, ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат» – на 2,5 млн м³ и др.).

В 2015 г. использование воды в целом по республике сократилось на 101,2 млн м³ и составило 1269,5 млн м³.

Использование воды на производственные нужды в целом по Республике Беларусь (389,2 млн м³) в 2015 г. уменьшилось по сравнению с прошлым годом на 16,1 млн м³ (4 %). Существенное уменьшение этого показателя наблюдалось в Гомельской области – на 4,82 млн м³ (ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат» – на 2,4 млн м³ по причине уменьшения объемов выпускаемой продукции, РУП «Гомельэнерго» филиал Мозырская ТЭЦ – на 2,0 млн м³ вследствие упорядочения отражения данных передачи химически очищенной технической воды ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»); в г. Минске – на 4,7 млн м³ (КУПП «Минскводоканал» – 4,7 млн м³ – уменьшение потребления на собственные технологические нужды); в Могилевской области – на 4,3 млн м³ (из них ОАО «Белшина», г. Бобруйск – на 1,5 млн м³ по причине снижения выпуска продукции, Могилевское ГКУП «Горводоканал» – на 0,9 млн м³ уменьшение потребления на собственные технологические нужды). При этом в Брестской области этот показатель увеличился на 4,5 млн м³ (из них филиал РУП «Брестэнерго» Березовская ГРЭС – на 2,6 млн м³ в связи с увеличением производства электроэнергии). В остальных областях уменьшение использования воды на производственные нужды составило 2–5 % от данных предыдущего года.

В результате проводимой политики экономии подземной питьевой воды и перехода на самостоятельное обеспечение питьевой водой в 2015 г. зарегистрировано существенное снижение потребления воды питьевого качества на производственные нужды (на 5,4 млн м³), а также снижение потребления воды из коммунального водопровода на производственные нужды (с 22,0 до 20,6 млн м³).

Отмечено увеличение использования воды на орошение (на 0,9 млн м³) и уменьшение использования на сельскохозяйственное водоснабжение (на 1,7 млн м³) в основном в Минской и Гомельской областях.

В 2015 г. отмечено уменьшение (на 6,7 %) объемов воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения (с 5803 до 5414 млн м³). Наибольшее уменьшение на 349,9 млн м³ или на 21 % имело место в Витебской области (в том числе РУП «Витебскэнерго» филиал Лукомльская ГРЭС – на 323,9 млн м³ в связи со снижением выработки электроэнергии); на 62,2 млн м³ или на 11 % – в Минской области (причем по Минскому РУП электроэнергетики «Минскэнерго» филиал ТЭЦ-5 – на 87,6 млн м³ в связи со снижением выработки электроэнергии с 3827,7 до 3000,0 млн кВт/ч).

В 2015 г. в целом по Республике Беларусь сброшено 870 млн м³ сточных вод (на 85 млн м³ меньше, чем в 2014 г.), в том числе 754,08 млн м³ сточных вод, содержащих загрязняющие вещества.

В поверхностные водные объекты в составе сточных вод сброшено 12,38 тыс. т взвешенных веществ, 8,4 тыс. т органических веществ (по БПК₅), 65,56 тыс. т хлорид-ионов, 53,38 тыс. т сульфат-ионов, 0,68 тыс. т фосфат-ионов (по Р), 0,11 тыс. т нефтепродуктов, 8,69 тыс. т соединений азота (по N) – аммоний-ионов, нитрит-ионов, нитрат-ионов, а также соединений металлов (278,37 т железа, 25,17 т цинка, 4,61 т меди, 2,06 т никеля, 3,19 т хрома) и других загрязняющих веществ.

Основное количество сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, формируется в секции «производство и распределение электроэнергии, газа и воды» (более 67 % суммарного объема сточных вод, содержащих загрязняющие вещества). В их составе содержалось почти 90 % всего сбрасываемого в реки количества аммоний-ионов, 83 % – нитрит-ионов, 82 % – органических веществ, 84 % – СПАВ_{анион.}, 83 % – хлорид-ионов, 69 % – взвешенных веществ, 73 % – нефтепродуктов, а также основная масса свинца (98 %), железа (76 %), цинка (90 %) и меди (87 %), поступивших в поверхностные водные объекты республики.

В сельском хозяйстве основным поставщиком загрязняющих веществ остается, как и в предыдущие годы, прудовое рыбное хозяйство.

В 2015 г. за счет строительства и реконструкции введены в действие дополнительные мощности очистных сооружений, после которых сточные воды отводятся в поверхностные водные объекты, в том числе по типам очистных сооружений:

биологическая очистка: очистные сооружения УКПП «Чериковский жилкоммунхоз» (завершена реконструкция) – 1200 м³/сут; очистные сооружения производственных сточных вод ОАО «Поставский молочный завод» – 600 м³/сут;

физико-химическая очистка: очистные сооружения поверхностных сточных вод РУП «Белтаможсервис» Брестский филиал – 1296 м³/сут;

механическая очистка: очистные сооружения поверхностных сточных вод РУП «Белтаможсервис» Брестский филиал – 4320 м³/сут; очистные сооружения поверхностных сточных вод филиала РУП «Брестэнерго» Березовская ГРЭС – 3457 м³/сут; очистные сооружения поверхностных сточных вод КУМПП ЖКХ «Барановичское районное ЖКХ» пос. Жемчужный – 3153,6 м³/сут; очистные сооружения поверхностных сточных вод КУМПП ЖКХ «Жабинковское ЖКХ» г. Жабинка – 1728 м³/сут; очистные сооружения поверхностных сточных вод ОАО «Кобринский маслодельный-сыродельный завод» – 1728 м³/сут; очистные сооружения поверхностных сточных вод ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев» г. Пинск – 1728 м³/сут.

Степень загрузки очистных сооружений при сбросе в поверхностные водные объекты сточных вод в среднем по республике составляет 37 %, по крупным городам в условиях сохраняющегося неполного использования производственных мощностей крупных предприятий остается в среднем на уровне 30–65 %, в том числе Минск (47 %), Гомель (64 %), Гродно (43 %), Брест (27 %), Витебск (45 %), Могилев (41 %).

Однако многие очистные сооружения принимают сточные воды с концентрациями, по отдельным ингредиентам значительно превышающими нормируемые значения. В результате в водные объекты поступают недостаточно очищенные сточные воды, содержащие различные загрязняющие вещества сверх установленных нормативов (табл. 4).

Невозможно достичь 100%-ной степени нормативной очистки всего объема загрязненных сточных вод. Это явление обусловлено перегрузкой ряда эксплуатируемых сооружений по количеству загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами; высоким физическим износом сооружений и оборудования, необходимостью их вывода из технологического процесса очистки для ремонта; залповыми сбросами промышленных сточных вод на общегородские очистные сооружения, пагубно влияющими на технологическое оборудование для очистки и микроорганизмы.

Основные загрязнители поверхностных водных объектов в пределах речных бассейнов республики

В связи с трансграничным характером практически всех крупных речных систем Беларуси их гидрохимический режим формируется еще за пределами страны. На формирование качества природных вод оказывает влияние поступление загрязняющих веществ от точечных и диффузных источников загрязнения. В результате анализа данных статистической отчетности за период 2006–2016 гг. определены наиболее представительные водопользователи, деятельность которых отличалась ежегодным сбросом в поверхностные водные объекты наибольших объемов сточных вод. В табл. 5 приведен перечень основных водопользователей, оказывающих негативное влияние на экологическое состояние поверхностных водных объектов.

Т а б л и ц а 5. Перечень водопользователей, оказывающих наибольшее влияние на состояние поверхностных вод (по данным за 2006–2016 гг.)

Наименование объекта	Объем чистой воды для разбавления сточных вод до ПДК, млн м ³
КУПП «Минскводоканал»	3326
КПУП «Гомельводоканал»	3271
ГУКПП «Гродноводоканал»	2168
КПУП «Брестводоканал»	1439
КПУП «Борисовводоканал»	1276
Бобруйское УКДПП «Водоканал»	1178
УП «Витебскводоканал»	1114
КПУП «Пинскводоканал»	761
Лидское ГУП ЖКХ	589
КУП «Слуцкое ЖКХ»	390
ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»	287
ГКУП «Жодинский водоканал»	254
КУП ВКХ «Оршаводоканал»	173
Сморгонское РУП ЖКХ	165
ГУПП «Березовское ЖКХ»	149
ГКУП «Солигорскводоканал»	145
ОАО «Слонимский водоканал»	140
ПКУП «Волковысское коммунальное хозяйство»	128
КЖЭУП «Рогачев»	101
Лунинецкое КУП ВКХ «Водоканал»	76
ОАО «ГродноАзот»	67
КУПП «Барановичиводоканал»	60
ОАО «СветлогорскХимволокно»	59
Могилевское ГКУП «Горводоканал»	43
Новогрудское РУП ЖКХ филиал «Предприятие Новогрудский водоканал»	42
ГКУП «Молодечноводоканал»	38
КУПП «Кобринрайводоканал»	28
ОАО «Рыбхоз «Красная Слобода»	27
ОАО «Нафтан»	20
КЖУП «Уником»	17
ОАО «Рыбокомбинат «Любань»	15
ОАО «Гомельский химический завод»	2

Водопользователи ранжированы по объему чистой воды, требуемой для разбавления сточных вод до значения ПДК загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах (по веществу с наибольшей кратностью превышения над ПДК).

Наиболее крупными локальными источниками воздействия на поверхностные водные объекты являются предприятия жилищно-коммунального хозяйства г. Минска, областных и промышленных центров республики, причем как по количеству сбрасываемых сточных вод, так и по количеству содержащихся в них загрязняющих веществ. На их долю приходится 33 % общей нагрузки на поверхностные водные объекты по тяжелым металлам (железу общему, никелю, цинку, хрому общему), 53 % – по взвешенным веществам, 55 % – по аммоний-ионам, 57 % – по нитрат-ионам, 44 % – по нитрит-ионам, 42 % – по нефтепродуктам, 50 % – по органическим веществам.

Анализ степени влияния водопользователей на экологическое состояние поверхностных водных объектов выполнен отдельно для каждого основного речного бассейна. В каждом речном бассейне определены все объекты-водопользователи, сбрасывающие сточные воды в поверхностные водные объекты. Из их числа выделено по 10 основных наиболее крупных объектов-загрязнителей с наибольшим объемом сточных вод, содержащих загрязняющие вещества.

За период 2006–2016 гг. проанализирован перечень приоритетных загрязняющих веществ, содержащихся в составе сточных вод каждого из этих объектов. Для каждого объекта определены кратности превышения концентраций приоритетных загрязняющих веществ над установленными для этих веществ значениями ПДК в поверхностных водах, из полученного массива данных выбрана наибольшая кратность превышения над ПДК.

Степень влияния объекта-водопользователя на экологическое состояние поверхностного водного объекта выражена объемом чистой воды, требуемой для разбавления сточных вод до значения ПДК в поверхностных водных объектах.

Ниже для примера приведены результаты анализа за 2015 г. Перечень объектов-загрязнителей приведен в табл. 6.

На рис. 2–6 в разрезе речных бассейнов представлена степень влияния водопользователей, перечисленных в табл. 6, на поверхностные водные объекты в виде принятых показателей – объема чистой воды, требуемой для разбавления сточных вод до значения ПДК, и максимальной кратности превышения над ПДК. При этом по оси абсцисс приведены номера водопользователей в соответствии с перечнем, приведенным в табл. 6 для соответствующих речных бассейнов.

Т а б л и ц а 6. Перечень водопользователей, оказывающих наибольшее негативное влияние на состояние поверхностных водных объектов, за 2015 г.

Номер водопользователя (соответствует номерам на рисунках)	Наименование водопользователя	Объем чистой воды, необходимой для разбавления сточных вод до уровня ПДК, млн м ³	Наибольшая кратность превышения над ПДК, раз
Бассейн р. Западный Буг			
1	КПУП «Брестводоканал»	1465	54
2	Пружанское КУПП «Коммунальник»	26	16
3	КУПП «Кобринрайводоканал»	22	9
4	Филиал ОАО «Полесьегипроводхоз» Рыбхоз «Соколово» участок «Центральный»	7	1
5	КУМПП ЖКХ «Малоритское ЖКХ»	4	12
6	ОАО «Птицефабрика Медновская»	3	2
7	КУМПП ЖКХ «Каменецкое ЖКХ»	2	8
8	ОАО «Комаровка»	1	16
9	СЗАО «КварцМелПром»	1	1
10	КУМПП ЖКХ «Брестское ЖКХ» (объекты Чернавчицкого цеха)	1	8
Бассейн р. Западная Двина			
1	УП «Витебскводоканал»	771	28
2	ОАО «Нафтан» завод «Полимир»	477	26
3	ОАО «Нафтан»	130	10
4	УП ЖКХ Поставского района	39	47
5	Новолукомльское УП ЖКХ «Коммунальник»	31	19
6	ОАО «Глубокский молочно-консервный комбинат»	20	30
7	Лепельское КУПП ЖКХ «Лепель»	15	17
8	УКП ЖКХ «Бешенковичский коммунальник»	13	27
9	КУП ЖКХ «Браслав-коммунальник»	13	26
10	УП ЖКХ Шумилинского района	13	21

Номер водопользователя (соответствует номерам на рисунках)	Наименование водопользователя	Объем чистой воды, необходимой для разбавления сточных вод до уровня ПДК, млн м ³	Наибольшая кратность превышения над ПДК, раз
Бассейн р. Днепр			
1	КУПП «Минскводоканал»	2735	18
2	КПУП «Гомельводоканал»	1826	43
3	Бобруйское УЖДПП «Водоканал»	1178	62
4	Могилевское ГКУП «Горводоканал»	687	16
5	КПУП «Борисовводоканал»	627	47
6	КУП ВКХ «Оршаводоканал»	528	45
7	КЖУП «Уником»	402	57
8	ГКУП «Жодинский водоканал»	225	34
9	ОАО «Гомельский химический завод»	209	137
10	Осиповичское ДУКПП «Водоканал»	112	36
Бассейн р. Неман			
1	ГУКПП «Гродноводоканал»	2101	73
2	Лидское ГУП ЖКХ	877	76
3	Барановичское КУПП «Водоканал»	248	20
4	ГКУП «Молодечноводоканал»	138	17
5	Сморгонское РУП ЖКХ	115	42
6	ПКУП «Волковысское коммунальное хозяйство»	115	26
7	Филиал «Фанипольское ЖКХ» РПУП «Дзержинское ЖКХ»	99	82
8	ОАО «Слонимский водоканал»	97	19
9	ГУПП «Ивацевичское ЖКХ»	86	56
10	ИП Дрозд М.Б.	69	6
Бассейн р. Припять			
1	ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»	754	45
2	КУП «Солигорскводоканал»	600	72
3	КУП «Слуцкое ЖКХ»	453	46
4	КПУП «Пинскводоканал»	306	31
5	ГУПП «Березовское ЖКХ»	76	26
6	Лунинецкое КУП ВКХ «Водоканал»	76	39
7	ОАО «Рыбокомбинат «Любань»	74	5
8	ОАО «Рыбхоз «Красная Слобода»	68	2

Фактические и нормативные показатели водопользования

Нормативные показатели водопользования устанавливаются в разрешениях на специальное водопользование.

Анализ нормативных документов, содержащих требования по оформлению разрешений на специальное водопользование, свидетельствует об их достаточности и обоснованности в краткосрочной перспективе.

Разрешения на специальное водопользование выдаются на основе заявления водопользователя, оформленного в соответствии с [4].

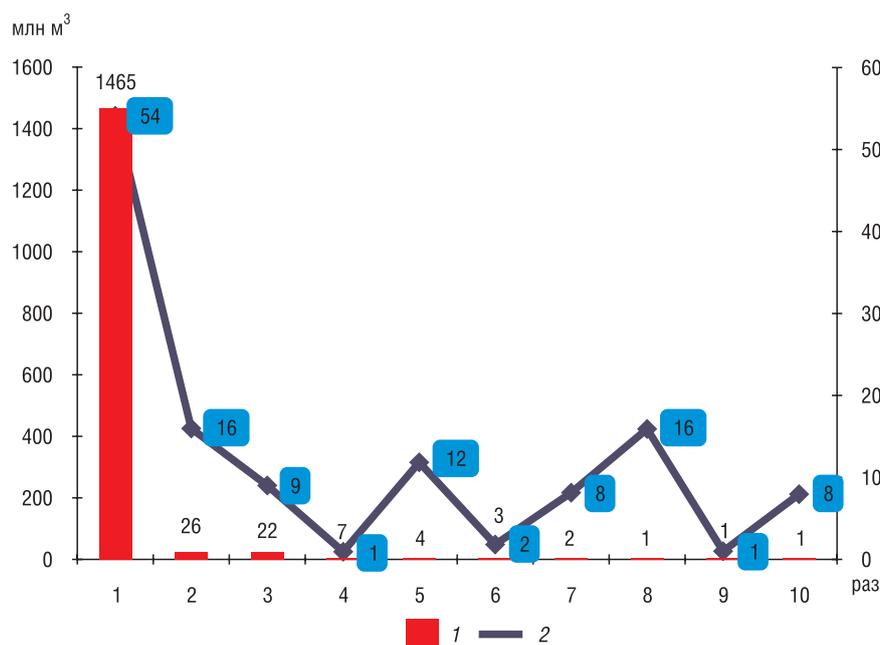


Рис. 2. Степень влияния сбросов сточных вод на поверхностные водные объекты в бассейне р. Западный Буг за 2015 г. Здесь и далее: 1 – объем чистой воды необходимый для разбавления сточных вод до уровня ПДК, млн м³; 2 – наибольшая кратность превышения над ПДК, раз

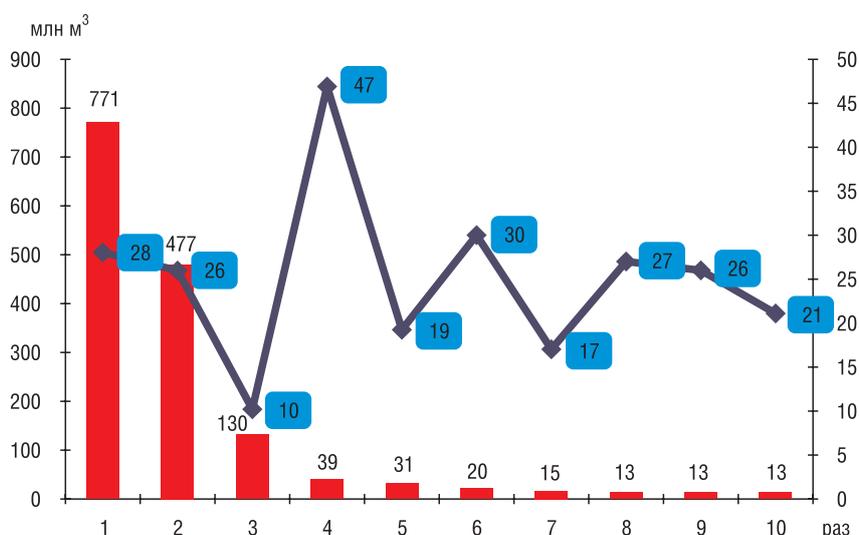


Рис. 3. Степень влияния сбросов сточных вод на поверхностные водные объекты в бассейне р. Западная Двина за 2015 г. Обозначения те же, что и на рис. 2

В заявлениях на водопользование приводятся предполагаемые объемы изъятия поверхностных вод, добычи подземных вод и сбросов сточных вод, рассчитанные согласно производственной программе и утвержденным на предприятии индивидуальным технологическим нормативам водопотребления и водоотведения.

Учитывая тот факт, что установление нормативов водопотребления и водоотведения, по сути, связано с прогнозом водопользования, а прогноз может быть только вероятностным, полное совпадение фактических и нормативных величин практически невозможно, т.е. расхождение величин закономерно (табл. 7, 8).

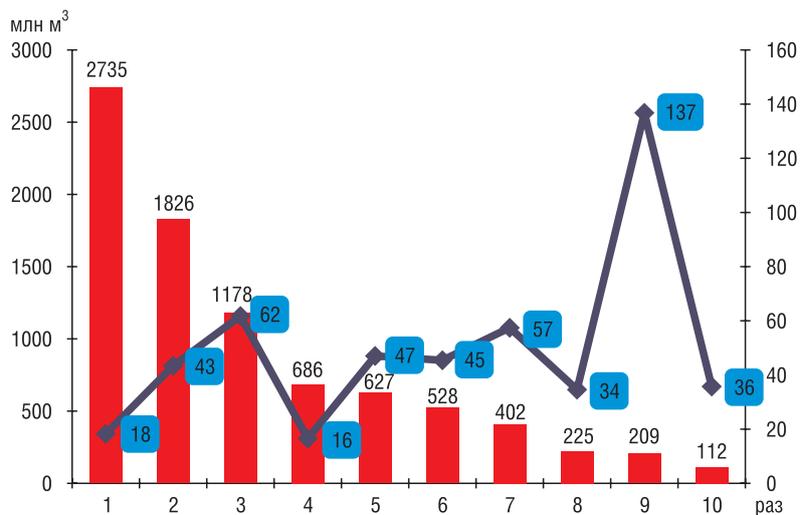


Рис. 4. Степень влияния сбросов сточных вод на поверхностные водные объекты в бассейне р. Днепр за 2015 г. Обозначения те же, что и на рис. 2

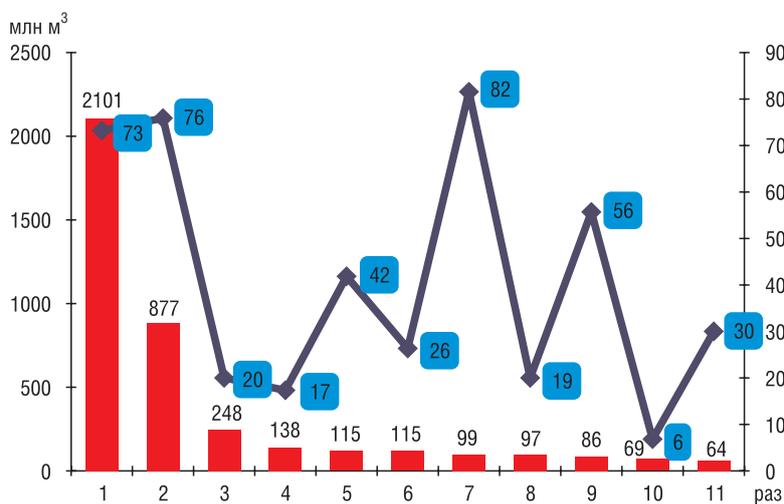


Рис. 5. Степень влияния сбросов сточных вод на поверхностные водные объекты в бассейне р. Неман за 2015 г. Обозначения те же, что и на рис. 2

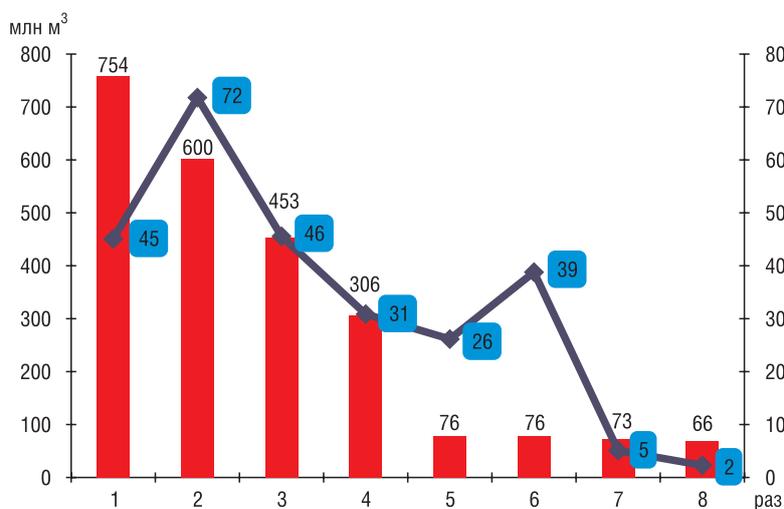


Рис. 6. Степень влияния сбросов сточных вод на поверхностные водные объекты в бассейне р. Припять за 2015 г. Обозначения те же, что и на рис. 2

Таблица 7. Динамика основных фактических и нормативных показателей водопользования в целом по бассейнам основных рек за 2006–2015 гг.

Наименование бассейна реки	Год	Добыто подземных и изъято поверхностных вод, млн м ³	Норматив добычи (изъятия) воды, млн м ³	Сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³	Норматив сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³
ЗАПАДНАЯ ДВИНА	2006	190	232	126	138
	2007	183	228	118	124
	2008	175	218	117	127
	2009	159	204	103	118
	2010	175	222	108	140
	2011	181	239	116	128
	2012	181	246	116	144
	2013	178	242	117	142
	2014	176	226	114	138
	2015	172	224	116	138
ЗАПАДНЫЙ БУГ	2006	77	101	49	69
	2007	70	102	50	68
	2008	68	115	46	68
	2009	67	107	50	61
	2010	70	111	50	61
	2011	69	101	51	77
	2012	70	97	46	72
	2013	68	90	46	63
	2014	73	100	51	72
	2015	65	92	43	59
НЕМАН	2006	387	465	139	156
	2007	396	460	135	152
	2008	372	457	131	151
	2009	361	444	128	143
	2010	351	489	128	160
	2011	357	520	130	168
	2012	351	496	130	166
	2013	348	494	131	166
	2014	375	443	147	175
	2015	362	461	145	179
ДНЕПР	2006	1075	1262	768	855
	2007	1048	1252	734	897
	2008	1021	1268	695	887
	2009	984	1272	716	909
	2010	1000	1317	704	877
	2011	1030	1285	703	947
	2012	1038	1327	723	1031
	2013	974	1304	680	942
	2014	946	1283	642	878
	2015	847	1270	566	910

Наименование бассейна реки	Год	Добыто подземных и изъято поверхностных вод, млн м ³	Норматив добычи (изъятия) воды, млн м ³	Сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³	Норматив сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³
ПРИПЯТЬ	2006	395	438	202	192
	2007	389	444	208	230
	2008	389	460	209	249
	2009	424	507	261	327
	2010	442	573	272	287
	2011	468	513	280	372
	2012	477	598	296	447
	2013	451	564	277	361
	2014	430	548	254	329
	2015	349	556	186	365

Приведенные в табл. 7 данные свидетельствуют о том, что разница между нормативными и фактическими объемами добычи (изъятия) вод и сбросов сточных вод по всем бассейнам довольно значительная, причем по большинству бассейнов наблюдается некоторый рост этого значения. По данным за 2006–2015 гг. разница составляет:

бассейн р. Западный Буг по добыче (изъятию) – 23,6–29,3 % с максимальными значениями в 2008, 2009, 2010 гг., по сбросам – 28,5–27,4 % с максимальными значениями в 2008, 2011, 2012 гг.;

бассейн р. Западная Двина по добыче (изъятию) – 17,9–23,5 % с максимальными значениями в 2012, 2013 гг., по сбросам – 8,7–16,3 % с максимальным значением в 2010 г.;

бассейн р. Неман по добыче (изъятию) – 16,8–21,5 % с максимальными значениями в 2011, 2012, 2013 гг., по сбросам – 11,2–18,9 % с максимальными значениями в 2011, 2012 гг.;

бассейн р. Днепр по добыче (изъятию) – 14,8–33,3 % с максимальными значениями в 2010, 2014, 2015 гг., по сбросам – 10,1–37,7 % с максимальными значениями в 2012, 2015 гг.;

бассейн р. Припять по добыче (изъятию) – 9,7–37,2 % с максимальными значениями в 2010, 2015 гг., по сбросам – 5,4–49,1 % с максимальными значениями в 2012, 2015 гг.

Таким образом, наибольшей разницей между фактическими и допустимыми значениями добычи (изъятия) характеризуется бассейн р. Припять, наименьшей – бассейны рек Неман и Западная Двина.

Наибольшей разницей между фактическими и допустимыми значениями сбросов сточных вод – бассейны рек Припять и Днепр, наименьшей – Неман и Западная Двина. Такое положение объясняется рядом факторов, в числе которых климатические особенности года и преобладающая хозяйственная деятельность в бассейне.

Так, в бассейне р. Припять расположено и функционирует значительное количество крупных рыбоводческих хозяйств, специфика работы которых связана с большими объемами забора и сброса сточных вод и особенностями режима их работы.

Заметная разница между фактическими и разрешенными объемами водопользования (табл. 8) может быть следствием неточности прогнозируемых объемов водопользования, связанной с изменением технологии производства, производственной программы; аварийными ситуациями; индивидуальными технологическими нормативами водопотребления и водоотведения, которые требуют уточнения.

Одним из примеров превышения установленных нормативов забора-сброса речной воды может быть ситуация, сложившаяся с использованием воды филиалом «Витебская ТЭЦ». В период капитального ремонта тепловых сетей в 2016 г. для обеспечения нужд паровых потребителей планировалось остановить работу турбоагрегата и включить в работу котел «Штейнмюллер» с суммарной нагрузкой паровых потребителей 15 т/ч, что соответствовало техническому мини-

муму котлоагрегата. Этот режим был рассчитан в Комплексном природоохранном разрешении (далее – КПР) № 1/6 от 31.12.2015 г. Но в связи с тяжелой экономической ситуацией было принято решение о работе турбогенератора в режиме нормального вакуума, т.е. охлаждение конденсатора турбины речной водой из р. Западная Двина. При этом на значительную величину увеличивается забор и сброс воды. Использование такого незапланированного объема воды филиалом «Витебская ТЭЦ» привело к превышению установленных в КПР годовых лимитов забора речной воды и сброса отработанной воды.

В связи с тяжелой экономической ситуацией на предприятиях-потребителях филиала «Витебская ТЭЦ» подобный режим работы на циркуляционной (речной) воде планируется и в 2017–2020 гг.

Анализ сходимости нормативных и фактических величин водопользования для отдельных водопользователей свидетельствует о том, что наибольшие расхождения характерны для предприятий жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), для которых прогноз представляется наиболее сложным (табл. 8).

Таблица 8. Водопользователи с наибольшим расхождением между нормативными и фактическими величинами сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты по основным бассейнам рек Беларуси за 2015 г.

Водопользователь	Разрешенный объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³	Фактический объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³	% к разрешенному	Относительное расхождение, %
Бассейн р. Западный Буг				
ОАО «Брестский завод бытовой химии»	0.04	0.01	27	300
ОАО «Брестский комбинат строительных материалов»	0.04	0.01	19	300
ОАО «Торфобрикетный завод «Гатча-Осовский»	0.12	0.05	43	140
КУМПП ЖКХ « Малоритское ЖКХ»	0.75	0.34	46	121
П/в «Белое озеро» филиал Барановичская дистанция водоснабжения и санитарно-технических устройств	0.02	0.01	53	100
КУМПП ЖКХ «Брестское ЖКХ» (объекты Чернавчицкого цеха)	0.17	0.09	51	89
ОАО «Агро-Заречье»	0.17	0.10	57	70
Филиал ОАО «Полесьегипроводхоз» Рыбхоз «Соколово» участок «Центральный»	13.44	7.99	59	68
СЗАО «КварцМелПром»	1.88	1.17	62	61
Бассейн р. Западная Двина				
КУПП «Чашникский завод пищевых продуктов»	0.49	0.19	39	158
РУП «Полоцкое ПМС»	0.59	0.25	42	136
Сенненское районное УП ЖКХ	0.52	0.28	54	86
ОАО «Глубокский молочно-консервный комбинат»	1.26	0.68	54	85
КУПП «Боровка»	0.51	0.28	55	82
КУПП «Городокское предприятие котельных и тепловых сетей»	0.83	0.50	61	66
ГПО «Белэнерго» РУП «Витебскэнерго» филиал Витебская ТЭЦ	2.70	1.68	62	61
Бассейн р. Неман				
ОАО «Рыбхоз «Солы»	1.83	1.11	60	65
РПУП «Мядельское ЖКХ» (Нарочанский участок)	1.49	0.94	63	59
ОАО «Слонимский водоканал»	7.96	5.20	65	53
ГУПП «Ивацевичское ЖКХ»	2.31	1.53	66	51
ФХ «У Петруся»	0	4.11	0	100
ОАО «Рыбхоз «Грицево»	0	1.65	0	100
КСУП «Экспериментальная база «Погородно»	0	1.21	0	100
Филиал «Фанипольское ЖКХ» РПУП «Дзержинское ЖКХ»	0	1.21	0	100

Водопользователь	Разрешенный объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³	Фактический объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³	% к разрешенному	Относительное расхождение, %
Бассейн р. Припять				
ОАО «Опытный рыбхоз «Селец», участок «Центральный»	70.56	15.29	22	362
ОАО «Рыбхоз «Красная Слобода»	91.49	27.17	30	237
ОАО «Рыбхоз «Тремля»	12.70	5.70	45	123
ОАО «Рыбокомбинат «Любань»	30.80	14.89	48	107
КФХ «Финюрид»	0.87	0.43	49	102
ОАО «Рыбхоз «Локтыши»	20.00	10.00	50	100
КЖУП «Хойникский коммунальник»	1.65	0.85	52	94
ОАО «Рыбхоз «Полесье»	24.95	13.71	55	82
КУП «Стародорожское ЖКХ»	0.95	0.53	56	79
РУП «Любанское ЖКХ»	1.10	0.67	61	64
КУМПП ЖКХ «Дрогичинское ЖКХ»	0.94	0.59	63	59
КУМПП ЖКХ «Ганцевичское РЖКХ»	1.81	1.16	64	56
РУПП «Гранит»	4.76	21.17	445	78
Бассейн р. Днепр				
КРЭУП «Горремливносток»	43.90	7.48	17	487
ОАО «Гомельский химический завод»	3.69	1.52	41	143
РУП «Завод газетной бумаги»	2.25	0.98	44	130
ОСП ПЦ «Уречский спиртзавод» ОАО «Минск-Кристалл»	1.03	0.48	46	115
ОАО «Гомельстекло»	1.30	0.66	51	97
УП «Червенское ЖКХ»	0.84	0.45	53	87
Бобруйское УКДПП «Водоканал»	35.70	19.16	54	86
РУП «Минскэнерго» филиал ТЭЦ-5	0.90	0.50	55	80
ОАО «СветлогорскХимволокно»	24.03	13.57	56	77
Кричевское УКПП «Водоканал»	1.72	1.03	60	67
Горецкое УКПП «Коммунальник»	2.86	1.85	65	55
КЖЭУП «Рогачев»	0	2.38	–	100
РУП «Логойский комхоз»	0	0.53	0	100

Предложения по совершенствованию системы разрешений на спецводопользование

Для возможности контроля и уточнения разрешенных объемов изъятия и добычи водных ресурсов, сбросов сточных вод представляется целесообразным в разрешениях на специальное водопользование приводить данные об источниках информации о прогнозируемых объемах водопотребления и водоотведения, а также использованных прогнозных объемах производства основных видов продукции и индивидуальных нормативах водопользования.

С научной точки зрения распределение нагрузки на поверхностные водные объекты должно выполняться на основе расчета водохозяйственных балансов участков водных объектов, на которых расположены водопользователи.

В имеющихся нормативных документах декларируется необходимость обоснования предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах с применением бассейнового принципа, учитывающего водохозяйственную обстановку в конкретном бассейне, но до сих пор неизвестен ни один пример реализации такого подхода. При установлении допустимых сбросов объекты-водопользователи рассматриваются изолированно, вне бассейновых связей. Методические принципы распределения нагрузки между водопользователями, расположенными в одном речном бассейне, не нашли своей реализации, что не позволяет обоснованно распределять ассимиляционный потенциал речного бассейна между водопользователями при его ограниченности.

Особое значение приобретает анализ достоверности исходной информации в заявлении на получение разрешения на специальное водопользование и корректности расчетов при определении допустимых концентраций в сточных водах, сбрасываемых в поверхностные водные объекты. Для верификации и анализа этих данных специалистами территориальных органов Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды целесообразно включить в макет разрешения на специальное водопользование необходимую информацию, представленную в заявлении.

Особое внимание при расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в поверхностные водные объекты, требуют случаи, когда принимающий водный объект имеет удовлетворительный экологический статус и хуже. В соответствии с законодательством в таких случаях рекомендуется устанавливать допустимые концентрации в сточных водах, не превышающие фоновые концентрации принимающего поверхностного водного объекта.

Наличие в разрешениях на специальное водопользование всех необходимых данных, включая прогнозные величины водопотребления и водоотведения, позволит выполнять анализ и прогноз водопользования в бассейнах рек Республики Беларусь с большей долей вероятности.

Заключение

Для обоснования планирования, проектирования и осуществления мероприятий по охране водных ресурсов и их рациональному использованию, необходима предварительная оценка состояния водных ресурсов в будущем, т.е. прогноз влияния различных факторов, которые могут повлиять на речной сток. При разработке подобных прогнозов необходимо отчетливо различать характеристики, специфические для водного хозяйства (нормативные и другие параметры на перспективу), и показатели, совсем или почти не зависящие от состояния водного хозяйства республики (рост промышленного производства, изменение численности жителей, осуществление различных программ развития и т.д.). В результате сложного взаимодействия обеих групп факторов в их реальном проявлении и происходит антропогенное изменение водных ресурсов.

Опыт выполненных к настоящему времени прогнозов показывает, что они в основном не оправдались [3]. В значительной мере это объясняется ходом экономического развития. Вместе с тем общие антропогенные нагрузки на водные ресурсы, как на важнейший элемент окружающей среды, в этих условиях оказались значительно выше, чем это предполагалось, что свидетельствует о необходимости уточнения в практических проработках исходных требований к водопользователям.

Приведенные материалы по анализу динамики водопользования, ключевых показателей водопользования, оказывающих негативное влияние на экологический статус поверхностных водных объектов, сравнительная характеристика фактических и нормативных показателей водопользования будут полезны для прогнозирования водопользования в бассейнах рек Беларуси.

Список использованных источников

1. Водный Кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-3.
2. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество (за 2005–2016 гг.)/ Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерство здравоохранения Республики Беларусь. – Минск, 2006–2017.
3. *Плужников, В. Н.* Оценка и прогноз ресурсов поверхностных вод и их изменений под влиянием хозяйственной деятельности (метод. руководство) / В. Н. Плужников, А. А. Макаревич, Е. Е. Петлицкий. – Минск: 1994. – 93 с.
4. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 4 мая 2015 г. №20 «О некоторых вопросах получения разрешения на специальное водопользование».

Поступила 16.01.2018

Н. А. Асмаловский, А. Н. Колобаев

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

ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ВИЛИИ ПОСЛЕ ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Проанализирован гидрологический режим Вилии на ее трансграничном участке за весь период наблюдений. Основу исследований составили ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши государственного водного кадастра за 1946–2015 гг., а также данные о водопользовании за 1976–2015 гг. Оценены последствия изменения гидрологического режима Вилии после строительства Вилейского водохранилища и Вилейско-Минской водной системы (ВМВС). Величина безвозвратного водопотребления и потерь воды в бассейне Вилии в первые годы функционирования ВМВС превышала 15 % от речного стока маловодного года 95%-ной обеспеченности, а в последние 10 лет снизилась до 11 %. Определены возможные изменения характеристик водного режима Вилии после введения в эксплуатацию Белорусской АЭС. Планируемое водопотребление и отведение технических сточных вод БАЭС в р. Вилию может привести к изменению трех основных характеристик водного режима: уменьшение расходов воды на трансграничном створе; уменьшение уровней воды в лимитирующие (для пограничной службы) периоды времени; смещение даты становления и разрушения ледостава вследствие сброса подогретых сточных вод БАЭС. Ввод в эксплуатацию БАЭС приведет к небольшим негативным изменениям водного режима Вилии в трансграничном створе, которые вполне могут быть компенсированы водохозяйственными мероприятиями на территории Беларуси.

Ключевые слова: река Вилия, трансграничный участок, Белорусская атомная электростанция, гидрологический режим, антропогенное воздействие на речной сток

N. A. Asmalouski, A. N. Kolobaev

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

POSSIBLE CHANGES IN THE VILIA WATER REGIME AFTER COMMISSIONING OF THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT

The article analyzes the hydrological regime of the Vilia River at its transboundary site for the entire observation period. The basis of the research was the annual data on the regime and resources of surface waters of the land mass of the state water cadastre for 1946–2015, as well as data on water use for 1976–2015. The consequences of the change in the hydrological regime of the Viliya River after the construction of the Vileika Reservoir and the Vileyka-Minsk Water System (VMWS) are estimated. The amount of irretrievable water consumption and water losses in the basin of Viliya in the first years of operation of the VMWS exceeded 15 % of the river runoff in the low-water year with 95 % of the supply, and in the last 10 years it decreased to 11 %. The possible changes in the characteristics of the water regime of the Viliya River after the commissioning of the Belarusian NPP have been determined. The planned water consumption and diversion of technical wastewater from the BNPP to the Viliya River can lead to a change in the three main characteristics of the water regime: reduction of water costs at the transboundary site; reduction of water levels in limiting (for the border service) periods of time; displacement of the date of formation and destruction of freeze-up due to the discharge of heated wastewater of the BNPP. The commissioning of BNPP will lead to small negative changes in the water regime of Viliya in the transboundary range, which can well be compensated by water management measures on the territory of Belarus.

Keywords: Viliya River, transboundary site, Belarusian Nuclear Power Plant, hydrological regime, anthropogenic impact on river flow

М. А. Асмалоўскі, А. М. Калабаеў

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

МАГЧЫМЫЯ ЗМЭНЫ ВОДНАГА РЭЖЫМУ ВІЛІІ ПАСЛЯ ЎВУДУ Ў ЭКСПЛУАТАЦЫЮ БЕЛАРУСКАЙ АЭС

Прааналізаваны гідралагічны рэжым Віліі на яе трансгранічным ўчастку за ўвесь перыяд назіранняў. Аснову даследаванняў склалі штогадовыя дадзеныя аб рэжыме і рэсурсах паверхневых вод суши дзяржаўнага воднага кадастру за 1946–2015 гг., а таксама дадзеныя водакарыстання за 1976–2015 гг. Ацэнены наступствы змены гідралагічнага рэжыму р. Віліі пасля будаўніцтва Вілейскага вадасховішча і Вілейска-Мінскай воднай сістэмы (ВМВС).

Велічыня беззваротнага водаспажывання і страт вады ў басейне Віліі ў першыя гады функцыянавання ВМВС перавышала 15 % ад рачнога сцёку маловодных гадоў 95%-най забяспечанасці, а ў апошнія 10 гадоў знізілася да 11 %. Вызначаны магчымыя змены характарыстык воднага рэжыму Віліі пасля ўвядзення ў эксплуатацыю Беларускай АЭС. Планаваанае водаспажыванне і адвядзенне тэхнічных сцёкавых вод БАЭС у Вілію можа прывесці да змены трох асноўных характарыстык воднага рэжыму: памяншэнне выдаткаў вады на трансгранічным створы; памяншэнне узроўня вады ў лімітавання (для памежнай службы) перыяды часу; зрушэнне даты станаўлення і разбурэння ледаставу з прычыны скіду падагрэтых сцёкавых вод БАЭС. Увод у эксплуатацыю БАЭС прывядзе да невялікіх негатыўных змен воднага рэжыму Віліі ў трансгранічным створы, якія цалкам можна кампенсаваць водагаспадарчымі мерапрыемствамі на тэрыторыі Беларусі.

Ключавыя словы: рака Вілія, трансгранічны ўчастак, Беларуская атамная электрастанцыя, гідралагічны рэжым, антрапагеннае ўздзеянне на рачны сцёк

Основными источниками информации об антропогенном воздействии на водный режим Вилии являются: данные гидрологических наблюдений (за годовые и месячные интервалы времени) в створе н. п. Михалишки (35 км от государственной границы) за 1946–2015 гг. [1–4]; данные гидрологических наблюдений (за годовые и квартальные интервалы времени) в створе н. п. Быстрица за 2004–2015 гг., полученные из работы [3]; ежегодные издания государственного водного кадастра за 1976–2015 гг. [2–4]; годовые статистические отчеты водопользователей за 1986–2015 гг.; ежегодные данные служб эксплуатации Вилейского водохранилища и Вилейско-Минской водной системы; материалы РУП «БелНИИЭнергопром» (2010 г.) по оценке воздействия на окружающую среду в составе проектных работ по обоснованию инвестирования в строительство БАЭС [7].

Согласно программе трансграничного водного мониторинга [5], в апреле 2004 г. открыт пункт наблюдений в трансграничном створе Вилии (около н. п. Быстрица в непосредственной близости от государственной границы с Литвой). Однако для оценки антропогенного и трансграничного воздействия на водный режим р. Вилии более репрезентативным представляется пункт наблюдений в створе «Михалишки» по следующим причинам:

- площадь водосбора в створе «Михалишки» составляет 10,3 тыс. км² или 93,6 % от всей водосборной площади бассейна Вилии в пределах Республики Беларусь, а естественный речной сток, формирующийся на участке от створа «Михалишки» до границы с Литвой, не превышает 8 % от речного стока в пограничном створе как в средний по водности год, так и в год 95%-ной обеспеченности;

- ниже створа «Михалишки» интенсивность водопользования в бассейне Вилии близка к нулю;

- ряд гидрологических наблюдений (более 70 лет) достаточен для получения расчетных гидрологических характеристик;

- данными наблюдений открытого в 2004 г. трансграничного створа «Быстрица» можно пользоваться только для оценки изменений речного стока за годовые интервалы времени, так как, к сожалению, измерения расходов воды (согласно программе трансграничного водного мониторинга [5]) производятся один раз в квартал, хотя отбор проб воды и определение гидрохимических показателей – ежемесячно; этот недостаток сказывается и на достоверности оценки трансграничного загрязнения (что выходит за пределы тематики данной статьи), поскольку, как показано в работе [6], отсутствие синхронизации измерений количества и качества вод может привести к дополнительным ошибкам в определении массы загрязняющих веществ в трансграничном створе на 5–10 %, а в условиях крайне неблагоприятного внутри годового распределения речного стока даже достигать 50 %.

Естественный водный режим р. Вилии существенно изменился после строительства и ввода в эксплуатацию в 1976 г. Вилейского водохранилища и Вилейско-Минской водной системы (ВМВС), по которой осуществляется переброска воды из Вилии в Свислочь для водоснабжения населения и промышленности г. Минска, а также водного благоустройства, рекреационных и других целей в бассейне Свислочи. Эти изменения отражены в табл. 1, которая составлена по результатам источников [1–4]. Данные табл. 1 и рис. 1 показывают, что наибольшие изменения в водном режиме р. Вилии произошли в период весеннего половодья, что снизило вероятность затоплений и подтоплений как на территории Беларуси, так и на терри-

тории Литвы. После ввода в эксплуатацию ВМВС за 40 лет средний расход Вилии в створе «Михалишки» в апреле сократился на 84 м³/с (44 %), а за последние 11 лет – на 6 % (от стока предыдущих 40 лет), что находится в пределах точности определения гидрологических показателей. Максимальные расходы воды в этом же месяце снизились более чем в два раза. В маловодные месяцы речной сток на входе в Литву не уменьшился, а увеличился в результате целенаправленных попусков из Вилейского водохранилища, что обеспечивает устойчивое водопользование на территории соседнего государства. В последние годы общая тенденция гидрологического цикла р. Вилии не претерпела существенных изменений (по сравнению с предыдущим 40-летним периодом).

Т а б л и ц а 1. Фактические расходы воды в створе «Михалишки» на р. Вилии в разные периоды времени

Среднемесячный расход воды, м ³ /с	Период времени, гг.	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сен-тябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	годовой
		За указанный в гр. 2 период времени	1946–1975	47,9	52,0	92,0	191	77,2	53,5	45,9	45,5	44,4	52,1	64,0
	1976–2004	56,7	56,1	79,6	107	65,7	50,5	48,6	42,9	44,2	51,2	52,0	51,0	58,8
	2005–2015	61,5	59,4	79,5	101	71,3	58,1	48,8	49,9	54,8	49,5	57,8	57,0	62,4
Минимальный	1946–1975	24,8	24,7	30,1	71,1	39,5	32,0	31,9	28,3	30,3	31,2	33,6	35,2	34,4
	1976–2004	27,9	29,6	28,7	44,9	40,1	30,7	26,6	23,9	26,3	30,7	31,6	30,9	31,0
	2005–2015	37,2	38,2	45,8	56,6	32,3	42,7	35,9	31,1	32,2	37,4	40,4	43,4	39,4
Максимальный	1946–1975	146	107	201	498	163	98,3	88,4	85,0	94,5	111	157	114	155
	1976–2004	102	126	203	241	127	86,0	123	89,1	87,9	127	90,0	96,4	125
	2005–2015	87,5	82,5	150	155	138	83,8	77,5	103	130	71,5	94,4	86,0	105

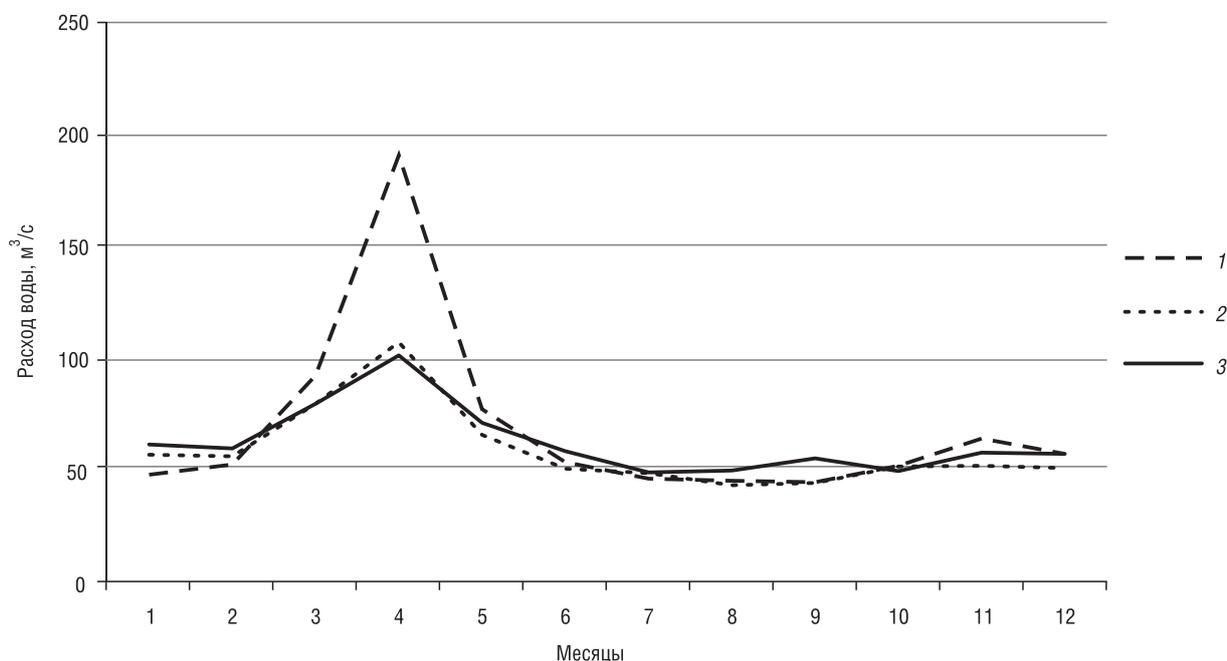


Рис. 1. Распределение среднемесячных расходов воды в р. Вилии до и после введения в эксплуатацию ВМВС: 1 – период с 1946 по 1975 г.; 2 – период с 1976 по 2004 г.; 3 – период с 2005 по 2015 г.

Гидрологический ряд до 1976 г. однородный, а для обеспечения однородности в остальные годы требуется корректировка измеренных величин речного стока, учитывающая факторы антропогенного воздействия. Расчеты по определению «условно восстановленных величин

речного стока» за 1976–2005 гг. выполнены авторами работы [7], а за 2006–2015 гг. – авторами настоящей работы. Термин «условно восстановленный» использован в связи с тем, что в расчетах учтены только факторы прямого антропогенного воздействия: сработка (+) или наполнение (–) водохранилищ, потери воды, связанные с водохранилищами (дополнительное испарение с водной поверхности и заполнение мертвого объема в начале эксплуатации), безвозвратное водопотребление (разность между объемами забора воды из водного объекта и сброса сточных вод плюс уменьшение речного стока вследствие забора подземных вод, гидравлически связанных с речными), переброска речного стока в бассейн Свислочи. Факторы косвенного воздействия (урбанизация, снегозадержание, вырубка леса, осушение и др.) не учитывались вследствие отсутствия достаточно надежных методов их количественного определения. Как и ожидалось, удлинение гидрологического ряда не внесло существенных изменений в расчетные гидрологические характеристики: величина среднемноголетнего расхода воды увеличилась от 68,1 до 68,2 м³/с, расхода воды в маловодный год 95%-ной обеспеченности – от 49,0 до 49,1 м³/с, а минимального среднемесячного расхода воды в расчетный маловодный год – от 32,5 до 32,7 м³/с.

Т а б л и ц а 2. **Определение восстановленного годового речного стока в трансграничном створе Вилии**

Год	Речной сток по данным измерений*, млн м ³	Безвозвратное водопотребление и потери воды**, млн м ³		Отношение безвозвратного водопотребления и потерь воды к речному стоку 95%-ной обеспеченности, %	Наполнение (–) или сработка (+) Вилейского водохранилища, млн м ³	Восстановленный сток в трансграничном створе	
		всего	подача воды по ВМВС в бассейн Свислочи			млн м ³	м ³ /с
2006	2389	156	133	10,1	–12	2553	81,0
2007	1918	174	153	11,2	–8	2084	66,1
2008	1793	156	137	10,1	–11	1938	61,5
2009	1847	149	131	9,6	–58	1910	60,6
2010	2666	129	116	8,3	+58	2840	90,1
2011	2141	131	115	8,5	–4	2268	71,9
2012	2111	121	104	7,8	+25	2257	71,6
2013	2257	123	110	8,0	–24	2343	74,3
2014	1908	127	114	8,2	+10	2045	64,8
2015	1688	122	110	7,9	+9	1819	57,7

* По данным измерений в створе «Михалишки» с пересчетом на трансграничный створ.

** Потери воды на дополнительное испарение с водной поверхности (от 8 до 12 млн м³ в год).

Т а б л и ц а 3. **Оценка антропогенного воздействия в бассейне р. Вилии на расчетные гидрологические характеристики в трансграничном створе**

Период времени, г.	Максимальное безвозвратное водопотребление и потери воды, млн м ³	Отношение максимального безвозвратного водопотребления и потерь воды к годовому речному стоку 95%-ной обеспеченности, %	Отношение максимального безвозвратного водопотребления и потерь воды за лимитирующий месяц к минимальному месячному стоку*, %	Отношение прогнозируемого безвозвратного водопотребления Белорусской АЭС** за лимитирующий месяц к минимальному месячному стоку*, %
1946–1975	20	1,0	1,7	–
1976–2005	270	17,5	30,1	
2006–2015	174	11,0	19,7	
1946–2015	270	17,4	30,0	4,6

* К минимальному месячному стоку в год 95%-ной обеспеченности.

** Объем водопотребления БАЭС при работе двух энергоблоков.

Проведенные расчеты позволили оценить влияние антропогенного воздействия на используемые в водохозяйственной практике расчетные гидрологические характеристики (табл. 2, 3). Характерно, что результаты расчетов с использованием более длинного гидрологического ряда (на 10 лет) близки к результатам, полученным в работе [7], что является дополнительным косвенным подтверждением выводов и разработанных прогнозов. Таким образом, за все годы функционирования ВМВС существенного негативного трансграничного воздействия на водный режим Вилии не наблюдалось. Величина безвозвратного водопотребления и потерь воды в бассейне Вилии, составляющая в первые годы функционирования ВМВС более 15 % от речного стока маловодного года 95%-ной обеспеченности, снизилась (в основном в результате мер по экономии воды) и в последние годы стабилизировалась на уровне 9–11 % (табл. 2, 3). В маловодные месяцы речной сток в трансграничном створе не уменьшился, а увеличился, а в многоводные периоды – уменьшился (в результате регулирования попусков воды из Вилейского водохранилища). Таким образом, водный режим Вилии на границе с Литвой изменился в направлении улучшения условий водопользования на территории сопредельного государства. Поэтому не удивительно, что за все прошедшие годы от литовской стороны никаких претензий по изменению режима Вилии в трансграничном створе не поступало. Как ВМВС, так и Вилейское водохранилище запроектированы и построены с определенным запасом в расчете на сверхбыстрые темпы роста численности населения Минска (в те годы по этому показателю Минск занимал второе место в СССР после города Братска) и постоянное увеличение промышленного производства. В годы «перестройки», а затем после распада СССР начался обратный процесс, что привело к существенному уменьшению безвозвратного водопотребления и соответственно к снижению объема подачи воды по ВМВС для водоснабжения Минска и обводнения Свислочи. После стабилизации экономики Республики Беларусь этот процесс приостановился, а с 2009 г. снова продолжился (но в гораздо меньшем размере) вследствие реализации мер по экономии воды: установка счетчиков, дифференцированная плата за потребление воды в пределах и за пределами установленных нормативов и т.д. В настоящее время фактические объемы подачи воды по ВМВС более чем в два раза ниже проектной мощности, а возможности регулирования стока Вилейским водохранилищем далеко не исчерпаны. Незначительные изменения уровней воды в пограничном участке русла Вилии (протяженностью 6 км) уже учтены службой охраны государственной границы Республики Беларусь.

В декабре 2019 г. планируется запустить первый энергоблок Белорусской атомной электростанции (БАЭС). Введение в эксплуатацию БАЭС повлечет за собой ряд изменений водного режима в трансграничном створе р. Вилии, что потребует компенсационных мероприятий по обеспечению устойчивого водопользования на территории Литвы и корректировки несения пограничной службы на трансграничном участке реки в пределах государственной границы Республики Беларусь и Литовской Республики.

Планируемое водопотребление и отведение технических сточных вод БАЭС в р. Вилию может привести к изменению трех основных характеристик водного режима: уменьшение расходов воды в трансграничном створе; понижение уровней воды в лимитирующие (для пограничной службы) периоды времени; смещение даты становления и разрушения ледостава вследствие сброса подогретых сточных вод БАЭС, что важно для своевременного использования плавучих средств при охране государственной границы.

На основе составленного по проектным данным баланса водопотребления и водоотведения БАЭС в работе [7] определены потребности в воде для производственного водоснабжения электростанции: на один энергоблок (1 ЭБ) – от 0,95 м³/с зимой до 1,39 м³/с летом и на два ЭБ – соответственно от 1,8 до 2,78 м³/с (рис. 2). При этом объемы водоотведения отработанных технических сточных вод составляют на 1 ЭБ от 0,48 м³/с зимой до 0,69 м³/с летом и на 2 ЭБ – от 0,96 до 1,38 м³/с (рис. 3). Таким образом, максимальное безвозвратное водопотребление (1,4 м³/с) приходится на июль и август, когда естественный речной сток минимален. Следовательно, после ввода в эксплуатацию БАЭС минимальный месячный расход воды в год 95%-ной обеспеченности может уменьшиться на 4,6 %, но это уменьшение вполне компенсируется за счет

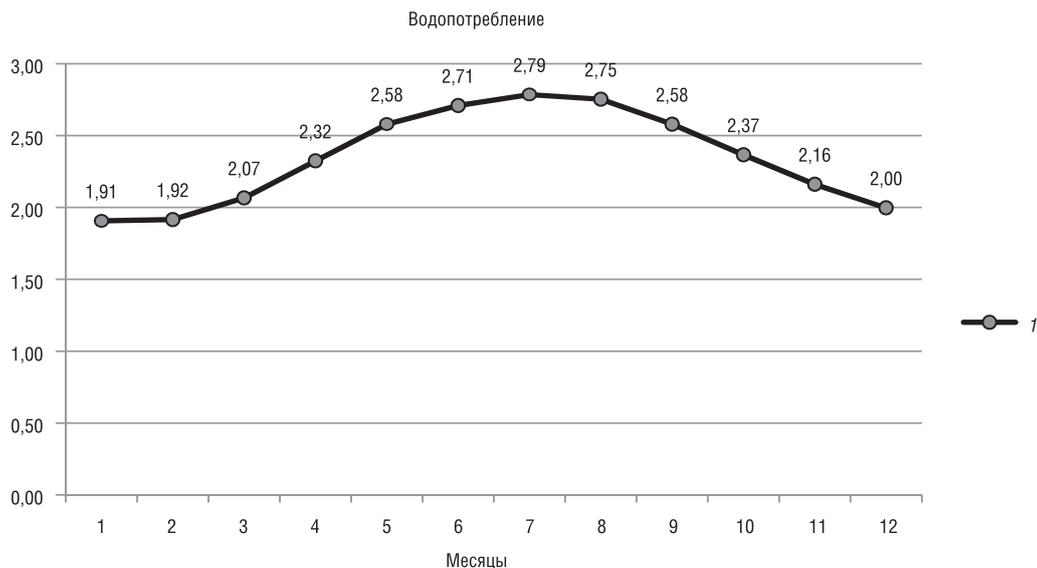


Рис. 2. Внутригодовое распределение потребностей в воде БАЭС при работе двух энергоблоков [7]:
1 – забор воды из р. Вилии, м³/с

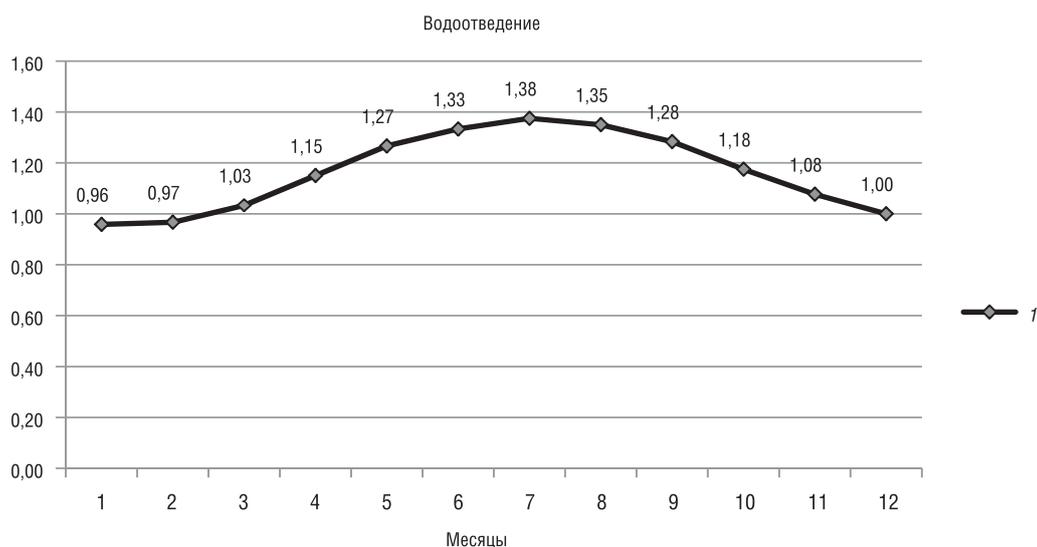


Рис. 3. Внутригодовое распределение водоотведения БАЭС [7]:
1 – сброс технических сточных вод в р. Вилию, м³/с

Т а б л и ц а 4. Основные параметры Вилейского водохранилища

Параметры	Характеристики	Расчетные величины
Уровни воды, м БС	НПУ	159,0
	УМО	153,0
Объем воды, млн м³	НПУ	260
	УМО	25,1
Площадь зеркала, км²	НПУ	77
	УМО	15

П р и м е ч а н и е. НПУ – нормальный подпорный уровень;
УМО – уровень мертвого объема.

целенаправленных попусков из Вилейского и других водохранилищ в бассейне Вилии. В настоящее время объемы воды в Вилейском водохранилище могут изменяться от 260 до 25,1 млн м³ (табл. 4, по данным [4]), а суммарная полезная емкость других (относительно небольших) водохранилищ составляет 2,6 млн м³. Поэтому полученный в работе [7] основополагающий вывод о том, что управлением работой существующих водохранилищ можно обеспечить бесперебойное водоснабжение БАЭС без ухудшения условий водопользования на территории Литвы является вполне обоснованным. В то же время требуется оптимизация режимов работы водохранилищ с учетом возможностей регулирования сброса сточных вод (за счет создания и эксплуатации специальных водоемов-охладителей подогретых сточных вод).

Согласно выполненной в 2010 г. оценке [7], максимальное понижение уровней воды прогнозируется на небольшом участке реки (2,7 км) между створами водозабора и сброса сточных вод: при среднемноголетних расходах воды – до 4 см, при минимальных расходах – до 9 см. В трансграничном створе снижение уровней воды может достигать при среднемноголетних расходах воды до 3 см, а при минимальных – до 5 см.

Изменение уровней воды может критически сказаться на условиях несения пограничной службы, так как при экстремально низких уровнях воды в лимитирующий период времени на отдельных участках реки будет отсутствовать возможность мобильно передвигаться на плавучих средствах. К сожалению, в работе [7] на этот вопрос достаточно полного ответа не содержится.

В связи с отведением в р. Вилию сточных вод БАЭС, температура которых, согласно расчетным данным [7], составит 37 °С (что практически совпадает с фактическими данными о сбросах сточных вод Смоленской АЭС [6]), очень важным становится вопрос об оценке возможного теплового загрязнения реки. Во-первых, при повышении температуры речной воды могут быть нарушены рыбохозяйственные и другие экологические требования. Во-вторых, даже незначительное повышение температуры воды в реке повлечет смещение даты образования льда зимой и открытия русла весной, что потребует корректировки организационных мероприятий по охране государственной границы.

Согласно ежегодным данным [1, 2, 4], первые ледовые образования на р. Вилия в створе поста Михалишки наступали преимущественно в третьей декаде ноября, самое раннее при этом отмечалось 30.10.1979, а позднее – 29.12.1949. Осенний ледоход начинается также в третьей декаде ноября спустя несколько дней после появления первых ледяных образований, лишь в 1988 г. он наступил 4 января, а в 1990 г. – 18 декабря. Максимальная продолжительность осеннего ледохода (96 дней) наблюдалась в осенне-зимний период 1954–1955 г.

Самое раннее наступление ледостава наблюдалось в 1965 и 1994 гг., а позднее – в 2005 г. Максимальная продолжительность ледостава (117 дней) наблюдалась в осенне-зимний период 1963–1964 гг., а в последние годы (111 дней) в зимний период 1993–1994 гг. Толщина льда достигает по данным многолетних наблюдений до 54 см с уменьшением в последние годы до 46 см [7].

Весной с наступлением положительных температур воздуха начинается таяние и разрушение ледяного покрова. Разрушение ледяного покрова на р. Вилии происходит почти одновременно на всем ее протяжении. Весенний ледоход в створе поста Михалишки начинается преимущественно в конце марта, при этом самое раннее наступление весеннего ледохода наблюдалось 30 января 2002 г., а позднее – 12 апреля 1963 г. Продолжительность весеннего ледохода колеблется от 2 до 17 дней по данным многолетних наблюдений, а в последние годы сократилась до 1–14 дней. Весеннее половодье сместилось в сторону ранних сроков в основном вследствие изменения климата [8].

Выполненный прогноз температурного загрязнения р. Вилии [7], учитывающий планируемый сброс сточных вод БАЭС с температурой 37 °С, показал, что температурное загрязнение будет проявляться на участке до 0,6 км ниже выпуска сточных вод в период весна–осень и до 1,1 км в зимний период при расходах воды в реке близких к среднемноголетним; на участке до 7 км ниже выпуска сточных вод в период весна–осень и до 13 км в зимний период при минимальных среднесуточных расходах воды в реке с 97%-ной обеспеченностью стока (условия сильного маловодья). Поскольку трансграничный створ находится в 29 км от выпуска сточных вод БАЭС, действующие нормативы теплового загрязнения (в этом створе) не будут превышены.

Как правило, на объектах теплоэнергетики и атомной энергетики предусматривается отведение подогретых сточных вод в водоем – охладитель для снижения теплового загрязнения на основной источник водопотребления. На Белорусской АЭС таких мероприятий пока не предусмотрено [7]. Обоснование целесообразности создания специальных инженерных сооружений по охлаждению сточных вод БАЭС требует дополнительных исследований. Эти сооружения могут быть использованы и для регулирования отведения сточных вод БАЭС в р. Вилию.

Выводы

1. Строительство и ввод в эксплуатацию в 1976 г. Вилейского водохранилища и Вилейско-Минской водной системы существенно изменили водный режим Вилии. В маловодные месяцы речной сток в трансграничном створе (на границе с Литвой) увеличился, а в многоводные периоды – уменьшился (в результате регулирования попусков воды из Вилейского водохранилища), что выгодно соседнему государству, так как условия водопользования на территории Литвы улучшились, а вероятность затоплений и подтоплений снизилась. К сожалению, учет этой выгоды и возможная ее компенсация пока не нашли отражения в международных конвенциях и соглашениях (например, в Хельсинской конвенции [9], к которой присоединилась Республика Беларусь). Однако на этот аспект целесообразно обращать внимание в переговорных процессах с Республикой Литвой при регулировании межгосударственных водных отношений.

2. Ввод в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции может оказать небольшое негативное воздействие на водные ресурсы Вилии в пограничном створе в маловодные годы и периоды. Негативное воздействие вследствие ухудшения температурного режима (теплового загрязнения) также невелико, но может повлиять на смещение даты образования льда зимой и открытия русла весной, что потребует корректировки организационных мероприятий по охране государственной границы.

3. После ввода в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции при реализации планируемых водохозяйственных мероприятий условия водопользования в бассейне Вилии на территории Литвы практически не ухудшатся. Возможное уменьшение расходов и уровней воды в пограничном створе вполне может быть компенсировано специальными попусками воды из Вилейского и других (относительно небольших) водохранилищ, а также регулированием сброса сточных БАЭС. Для этого необходимо оптимизировать режимы работы имеющихся водохранилищ, разработать правила совместного управления работой водохранилищ и отведением сточных вод в р. Вилию (включая режим работы регулирующего резервуара при его экономической целесообразности), что в совокупности позволит сохранить уровни воды в реке, обеспечивающие беспрепятственное передвижение на пограничных плавучих средствах, и снизить негативные последствия теплового загрязнения.

Список использованных источников

1. Гидрологические ежегодники (за 1946–1975 гг.). Гидрометслужба СССР. – Л., 1947–1976.
2. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (ежегодные издания за 1976–1990 гг.). Л.: Госкомгидромет СССР, Мингео СССР, Минводхоз СССР, 1977–1991.
3. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (ежегодные сведения за 1991–1994 гг. и за 1995–2015 гг., содержащиеся в базах данных Автоматизированных систем государственного водного кадастра). – Минск: Госкомгидромет, Департамент по гидрометеорологии и ЦНИИКИВР Минприроды Респ. Беларусь.
4. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 1994–2015 гг.). – Минск: Минприроды Респ. Беларусь, 1995–2016.
5. Приказ Мин-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 17.03.2004 №66 «О некоторых вопросах организации работ по проведению мониторинга поверхностных и подземных вод в пунктах наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь», Минприроды Респ. Беларусь. – Минск, 2004.
6. Колобаев, А.Н. Основные причины различий в оценках трансграничного загрязнения в бассейне Припяти / А.Н. Колобаев, Е.М. Минченко: Міжнар. навук. канф. «Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця». Брест: Изд-во Академия, 2005. С.15–19.
7. Рыков, А.Н. Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республики Беларусь / А.Н. Рыков, В.В. Бобров, А.И. Стрелков: Кн. 11. Оценка воздействия на окружающую среду. Ч. 8.3. Оценка воздействия АЭС на окружающую среду. Пояснительная записка (Редакция 06.07.2010 г.) БелНИИЭнергопром, 2010. – С. 380–403. URL: http://www.dsae.by/dadvfiles/000042_782502_2.rar. Дата обращения: 28.02.2017.

8. Герменчук, М.Г. Состояние, тенденции и последствия изменения климата Беларуси / М.Г. Герменчук, В.И. Мельник, В.И. Ключенович // Природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 77–83.

9. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (принята в Хельсинки в 1992 г. и вступила в силу в 1996 г). [Электронный ресурс] // Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций. URL : http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercourses_lakes.shtml. Дата обращения 05.03.2018.

10. Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2016 г. / Филиал АО «Концерн Росэнергоатом», Смоленская атомная станция. – Десногорск, 2017. – 56 с.

Поступила 06.02.2018

И. В. Шестак¹, П. Д. Воробьев¹, Д. В. Чередниченко¹, А. Д. Воробьев²

¹*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: Irishka.Shastak@gmail.com, pdvc@tut.by, cherednichenko_dv@tut.by*

²*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: avorobiov@belstu.by*

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ СПОСОБЫ ВОДОПОДГОТОВКИ В ОБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ

Одним из наиболее эффективных технологических способов рационального использования природных водных ресурсов является создание замкнутых водооборотных систем с заменой природной воды на сточные воды предприятий. Исследовано влияние примесных катионов (железа, алюминия, меди и дополнительного количества магния) как в индивидуальном состоянии, так и в смеси на процесс образования карбонатов кальция. Для ингибирования процесса образования карбоната кальция в лабораторных условиях исследовано влияние карбоксилсодержащих водорастворимых полимеров – полиакрилата натрия с ММ 5100, полиметакрилата натрия с ММ 4000, сополимера акриловой и малеиновой кислот с ММ 3000 в индивидуальном состоянии. Исследования проводились на модельных системах. Показано, что присутствующие в сточной воде соли железа, алюминия, меди инициируют образование карбоната кальция и приводят к уменьшению индукционного периода осадкообразования в 1,2–1,4 раза. В связи с этим в замкнутых водооборотных системах необходимо использование реагентов с высокой эффективностью ингибирующего действия. Установлено, что индукционный период осадкообразования увеличивается при введении в систему карбоксилсодержащих водорастворимых полимеров с молекулярной массой от 3000 до 5000: в 2,7 раза при использовании полиакрилата натрия, в 2,4 раза – полиметакрилата натрия и в 1,9 раза – сополимера акриловой и малеиновой кислот. На основании полученных результатов сделан вывод о целесообразности использования водорастворимых полимеров в качестве ингибиторов осадкообразования в замкнутых водооборотных системах предприятий с циркулирующей сточных вод сложного состава.

Ключевые слова: водные ресурсы, водооборотные системы, очищенные сточные воды, кристаллизация, способы водоподготовки, ингибиторы, осадкообразование

I. V. Shestak¹, P. D. Vorobiov¹, D. V. Cherednichenko¹, A. D. Vorobiov²

¹*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: Irishka.Shastak@gmail.com, pdvc@tut.by, cherednichenko_dv@tut.by*

²*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus,
e-mail: avorobiov@belstu.by*

RESOURCE-SAVING WATER TREATMENT METHODS IN THE CURRENT SYSTEMS

Development of closed water-rotation systems with the replacement of natural water by the enterprises waste water is one of the most effective technological methods of rational use of natural water resources. The influence of impurity cations (iron, aluminum, copper and additional magnesium) in the individual state and in the mixture on the process of formation of calcium carbonates has been studied. To inhibit the formation of calcium carbonate in the laboratory, the effect of carboxyl-containing water-soluble polymers - sodium polyacrylate with MM 5100, sodium polymethacrylate with MM 4000, a copolymer of acrylic and maleic acid with MM 3000 in the individual state was studied. The research was carried out on model systems. It is shown on model systems, that presence of iron, aluminum, copper salts in the waste water initiates calcium carbonate formation and decrease in the induction period of precipitation by 1.2–1.4 times. Thus, using of high efficiency inhibitory reagents is necessary in closed water circulation systems. It was determined, that carboxyl-containing water-soluble polymers (molecular weight from 3000 to 5000) addition increases in induction period of precipitation: by 2.7 times with using of sodium polyacrylate, by 2.4 times with using of sodium polymethacrylate and by 1.9 times with using of copolymer of acrylic and maleic acid. On the basis of the results obtained, it was concluded, that it is useful to apply water-soluble polymers as precipitation inhibitors in closed water circulation systems of enterprises with complex composition waste water.

Keywords: water resources, water circulation systems, treated wastewater, crystallization, methods of water treatment, inhibitors, sedimentation

I. В. Шастак¹, П. Д. Вараб'ёў¹, Д. В. Чараднічэнка¹, А. Д. Вараб'ёў²

¹Інстытут агульнай і неарганічнай хіміі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь, e-mail: Irishka.Shastak@gmail.com, pdvc@tut.by, cherednichenko_dv@tut.by

²Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: avorobiov@belstu.by

РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ СПАСАБЫ ВОДАПАДРЫХОЎКІ У АБАРОТНЫХ СІСТЭМАХ

Адным з найбольш эфектыўных тэхналагічных спосабаў рацыянальнага выкарыстання прыродных водных рэсурсаў з'яўляецца стварэнне замкнёных водазваротных сістэм з заменай прыроднай вады на сцёкавыя воды прадпрыемстваў. У працы даследаваны ўплыў прымесных катыёнаў (жалеза, алюмінія, медзі і дадатковай колькасці магнію) як у індывідуальным стане, так і ў сумесі на працэс атрымання карбанатаў кальцыя. Для інгібіравання працэсу атрымання карбанату кальцыя ў лабараторных умовах даследаваны ўплыў карбаксілзмяшчальных водарастваральных палімераў – поліакрылата натрыю з ММ 5000, поліметакрылата натрыю з ММ 4000, супалімера акрылавай і малеінавай кіслот з ММ 3000 у індывідуальным стане. Даследаванні праводзіліся на мадэльных сістэмах. Паказана, што прысутныя ў сцёкавай вадзе солі жалеза, алюмінія, медзі ініцыююць атрыманне карбанату кальцыя і прыводзяць да памяншэння індукцыйнага перыяду асадкаўтварэння ў 1,2–1,4 разы. У сувязі з гэтым у замкнёных водазваротных сістэмах неабходна выкарыстанне рэагентаў з высокай эфектыўнасцю інгібіруючага дзеяння. Устаноўлена, што індукцыйны перыяд асадкаўтварэння павялічваецца пры ўвядзенні ў сістэму карбаксілзмяшчальных водарастваральных палімераў з малекулярнай масай ад 3000 да 5000: у 2,7 разы пры выкарыстанні поліакрылата натрыю, у 2,4 разы – поліметакрылата натрыю і ў 1,9 разы – супалімера акрылавай і малеінавай кіслот. На падставе атрыманых вынікаў зроблены вывад аб мэтазгоднасці выкарыстання водарастваральных палімераў у якасці інгібітараў асадкаўтварэння ў замкнёных водазваротных сістэмах прадпрыемстваў з цыркуляцыйнай сцёкавых вод складанага складу.

Ключавыя словы: водныя рэсурсы, водазваротныя сістэмы, ачышчаныя сцёкавыя воды, крышталізацыя, спосабы водападрыхтоўкі, інгібітары, асадкаўтварэнне

Введение

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды является сброс в природные водоемы сточных вод предприятий, в составе которых находятся ионы тяжелых металлов, нефтепродукты, взвеси различного состава и другие загрязнители, образующиеся после продувки и промывки аппаратов, проведения технологических операций. При попадании в водоемы ионы тяжелых металлов накапливаются в растениях и организмах водных обитателей, нарушают естественный ход биохимических процессов, растворенные нефтепродукты затрудняют кислородный обмен водоема, вызывая кислородное голодание и развитие анаэробных процессов, что приводит к деградации экосистем [1, 2].

В настоящее время в связи с развитием химического и нефтехимического производств, строительством новых и расширением действующих предприятий увеличиваются объемы потребления природной воды, используемой как в основном технологическом процессе, так и в водооборотных системах предприятий, возрастают также объемы сбрасываемых сточных вод в природные источники. Актуальной задачей является разработка новых технологий водоподготовки, основанных на использовании замкнутых водооборотных систем с циркуляцией сточных вод предприятий. Это позволяет, с одной стороны, при подпитке водооборотных циклов заменить природную воду сточной водой, с другой – сократить количество стоков предприятий, сбрасываемых в природные водоемы. При использовании в замкнутых водооборотных системах сточных вод нет необходимости в их глубокой очистке, достаточно удалить только те вещества, которые окажут отрицательное влияние на параметры работы цикла. Сточная вода перед поступлением в замкнутую водооборотную систему должна быть очищена так, чтобы в процессе эксплуатации в оборотных водах не повышалось содержание минеральных солей до концентрации, при которой начинается их отложение на теплообменной поверхности либо интенсивная коррозия. Степень очистки оборотной воды может быть ниже, чем это предусмотрено нормами для сброса очищенных сточных вод в природные водоемы.

Однако несмотря на экологические и экономические преимущества использования сточных вод предприятий в замкнутых водооборотных системах, сложный физико-химический состав стоков, широкое разнообразие содержащихся в них соединений и их взаимодействие друг с другом делают невозможным подбор единой универсальной технологической схемы водоподготовки для всех предприятий.

При использовании в водооборотных циклах предприятий сточных вод необходимо учитывать колебания pH и возможность образования осадков разного состава. Основными ионами, участвующими в кристаллизации солей и образовании осадка, являются анионы HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_2^{2-} , а также катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} . В водооборотных системах в щелочной среде образуются карбонаты, фосфаты, силикаты кальция, магния, алюминия, железа, меди.

Для замедления и предотвращения образования осадков в водооборотных системах широко применяют ингибиторы солеотложений различных классов [3, 4]. В связи с присутствием в сточных водах фосфат-ионов применение в качестве ингибиторов неорганических полифосфатов, фосфоновых кислот, фосфонатов щелочных металлов нецелесообразно и неэффективно. Это актуализирует поиск новых эффективных реагентов для замкнутых водооборотных систем, в которых используются сточные воды предприятий. К таким реагентам относятся полиэлектролиты, органические соединения на основе поликарбоновых кислот [5].

Механизм действия известных и используемых в настоящее время ингибиторов солеотложений основан на замедлении процессов кристаллизации карбонатов кальция [6]. Присутствующие в сточной воде катионы оказывают влияние на эффективность ингибирующего действия, о чем в литературе практически нет данных. В связи с этим несомненный научный и практический интерес представляют вопросы, направленные на изучение образования карбоната кальция в присутствии, с одной стороны, ингибирующих кристаллизацию добавок, а с другой – примесных катионов.

В данной статье представлены результаты исследования влияния неорганических солей магния, железа, алюминия, меди и органических соединений на основе поликарбоновых кислот на процесс кристаллизации карбоната кальция. Это позволит обосновать применение экологически безопасных водорастворимых полимеров в качестве ингибиторов осадкообразования в замкнутых водооборотных системах с циркуляцией сточных вод сложного состава.

Экспериментальная часть

В экспериментах использовали 0,1 М водные растворы CaCl_2 и NaHCO_3 и 0,1 М раствор $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,1 М водные растворы сульфатов железа, алюминия, меди, приготовленные из реагентов квалификации «ч.д.а.» или «х.ч.»

В работе исследования проводились на модельных системах с составом, аналогичным типичному составу сточных вод предприятия химической промышленности (таблица). В качестве контрольной модельной системы использовали водный раствор, содержащий ионы кальция магния, натрия, бикарбонаты и хлорид. Исследовались варианты, в которых в контрольную систему вводили примесные катионы железа, алюминия, меди и дополнительное количество магния (вариант 1) в виде сульфатов как индивидуально, так и смесь. Суммарное содержание примесных катионов составляло 62,5 мг/л. В варианте 2 применяли обратный порядок: в растворы сульфатов вводили растворы хлорида кальция, магния и бикарбонат натрия. Соотношения вводимых

Типичный состав сточных вод предприятий химической промышленности и исследуемой модельной системы

Показатель	Сточные воды предприятия	Модельная система
Общая щелочность, мг/л	2,5 – 3,5	4
Кальций, мг/л	316	466
Магний, мг/л	40	58,5
Алюминий, мг/л	0,85	1,25
Железо, мг/л	1	1,5
Медь, мг/л	0,85	1,25
Диапазон pH	7,5 – 9,5	7,5–9,5

в модельные системы солей использовались такие же, как и в сточных водах, однако количество вводимых солей было увеличено для интенсификации протекающих в системе процессов.

В качестве ингибиторов осадкообразования использовали полиэлектролиты: полиакрилат натрия (ПА) с молекулярной массой (ММ) 5100, полиметакрилат натрия (ПМА) с ММ 4000, сополимер акриловой и малеиновой кислот (СП) с ММ 3000, которые в виде водных растворов вводили в исследуемые системы. Концентрация ингибиторов в системах была постоянной для всех вариантов – 0,5 мг/л.

Исследования проводили в интервале pH от 7,5 до 9,5. Величину pH раствора регулировали введением определенного количества 0,1 М растворов HCl и NaOH. Модельные системы солей перемешивали, термостатировали (80 ± 5) °С, продолжительность термостатирования 30, 60, 180 мин. Полученные кристаллы отделяли фильтрованием, сушили при 25–30 °С и исследовали методами рентгенофазового анализа (РФА) и ИК-спектроскопии.

Полученные соединения, содержащие соли кальция и магния, исследовали методом ИК-спектроскопии на инфракрасном Фурье-спектрометре «Protégé 460» (Nicolet). Идентификацию кристаллических фаз осадков проводили методом РФА на дифрактометре DRON-3 с использованием программного пакета «WinXrow» и базы рентгенографических порошковых стандартов «JCPDSPDF2». Для исследования карбонатных осадков использовали сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 6 LV (Япония) и микроскоп «Телемик-1» (Россия-Япония).

Индукционный период осадкообразования I определяли на лабораторной модельной установке, оснащенной капиллярами, в которых при определенных условиях происходит образование осадка и фиксируется связанное с этим повышение дифференциального давления. Интервал времени, в течение которого давление в капилляре увеличивается от нуля до определенного значения, характеризует индукционный период осадкообразования.

Для количественной оценки содержания таких элементов как натрий, калий, железо, алюминий, медь в исследуемом модельном растворе применялся метод атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра ContrAA 300. Для определения кальция, магния, карбонатов, гидрокарбонатов, хлоридов использовались титриметрические методы анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что карбонат кальция представлен тремя основными полиморфными модификациями: кальцит, арагонит и ватерит. Кальцит и арагонит имеют один и тот же состав, но разное распределение атомов в кристаллической структуре, благодаря чему арагонит примерно в десять раз более растворим, чем кальцит. Кальцит – наиболее стабильная полиморфная модификация карбоната кальция, образует правильные кристаллы различной формы: призматической, пластинчатой, ромбоэдрической и др. [1, 7].

Как показали полученные нами результаты РФА, в контрольной модельной системе, содержащей катионы кальция и магния, при $t = 80$ °С и в интервале pH 7,5–9,5 образуются основные фазы арагонита и магниезального кальцита. С увеличением продолжительности термостатирования от 30 до 180 мин содержание кристаллической фазы арагонита увеличивается в 1,5 раза при pH 7,5 и в 4 раза при pH 8,5 (рис. 1, а). Следует отметить, что с ростом pH увеличивается содержание магниезального кальцита. Это обусловлено тем, что при повышении pH возрастает содержание карбонат-ионов в растворе вследствие диссоциации ионов HCO_3^- [7, 8] и более вы-

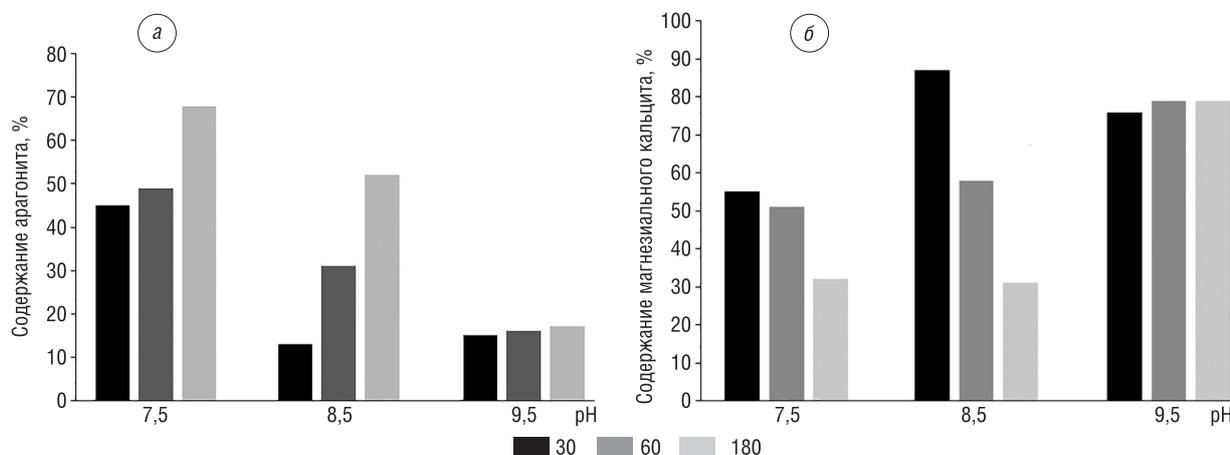


Рис. 1. Фазовый состав карбоната кальция в зависимости от времени осаждения и pH

сокой скоростью кристаллизации карбонатов. С увеличением времени кристаллизации при pH 7,5 и 8,5 (рис. 1, б) количество магниезального кальцита уменьшается.

По мере повышения pH, т. е. с увеличением концентрации CO_3^{2-} соотношение $\text{Ca}^{2+}/\text{CO}_3^{2-}$ приближается к стехиометрическому, соответственно скорость зародышеобразования увеличивается, а скорость роста кристаллов снижается, что в нашем случае проявляется в изменении формы и уменьшении размеров кристаллов (рис. 2).



Рис. 2. Изображение осадка карбоната кальция, полученного при pH 7,5 (а); 8,5 (б); 9,5 (в) ($\times 1000$); продолжительность термостатирования 180 мин

Кристаллы, образующиеся при pH 7,5 и 8,5 имеют вытянутую игольчатую форму (рис. 2 а, б), которая характерна для фазы арагонита. В образце, полученном при pH 9,5 (рис. 2 в), фаза арагонита не просматривается, тогда как хорошо видны более мелкие кристаллы ромбоэдрической формы, а также сростки из более мелких кристалликов, напоминающие «шарики», вероятно, представляющие собой магниезальный кальцит.

Полиморфный состав карбоната кальция, осажденного в присутствии ионов магния, обусловлен способностью магния взаимодействовать с отрицательно заряженными участками поверхности образующихся кристаллов, изоморфно замещать кальций в его кристаллической решетке с образованием магниезального кальцита. Влияние магния проявляется в изоморфном замещении ионов Ca^{2+} в гексагональной кристаллической решетке кальцита на магний, что приводит к изменению скорости роста и формы кристаллов [5].

Для объективной оценки влияния добавок на кристаллизацию карбонатов кальция и фазовый состав образующегося осадка с точки зрения изменения структуры карбонат-ионов в работе использовали метод ИК-спектроскопии. Как видно из рис. 3, полоса карбонатного поглощения (область $1550\text{--}1400\text{ см}^{-1}$, соответствующая антисимметричным валентным колебаниям CO_3^{2-} -группы) имеет сложную природу, ее контур формируется в результате наложения нескольких близко расположенных конформационно-чувствительных полос, что вызывает необходимость применения методов разделения спектрального профиля на индивидуальные полосы [9].

Для выделения отдельных полос с помощью программного обеспечения Origin 7,5 проведено разложение перекрытых спектральных кривых области $2200\text{--}1000\text{ см}^{-1}$ на лоренцевы компоненты. Оптимизация параметров разложенных индивидуальных полос при фиксированном положении их максимумов проводилась с использованием коэффициента корреляции R^2 , позволяющего судить о допустимой степени точности. Анализ спектральных моделей показал, что число компонент спектрального разложения уменьшается с ростом pH, что свидетельствует о снижении скорости кристаллизации карбоната кальция в присутствии ионов магния.

В составе жидкой фазы после отделения осадка смеси неорганических солей содержание би- и карбонат-ионов только в присутствии дополнительных ионов магния больше, чем в контроле. В присутствии дополнительных количеств ионов магния суммарное содержание би- и карбонат-ионов больше в варианте 2, чем в варианте 1. В отличие от магния присутствие солей алюминия, железа и меди в растворе инициирует кристаллизацию карбоната кальция, о чем свидетельствует уменьшение концентрации би- и карбонат-ионов в растворе над осадком в обоих вариантах. Кристаллы карбоната кальция, полученные в отсутствие других катионов, формируют крупные агрегаты из большого числа мелких кристаллов (рис. 4).

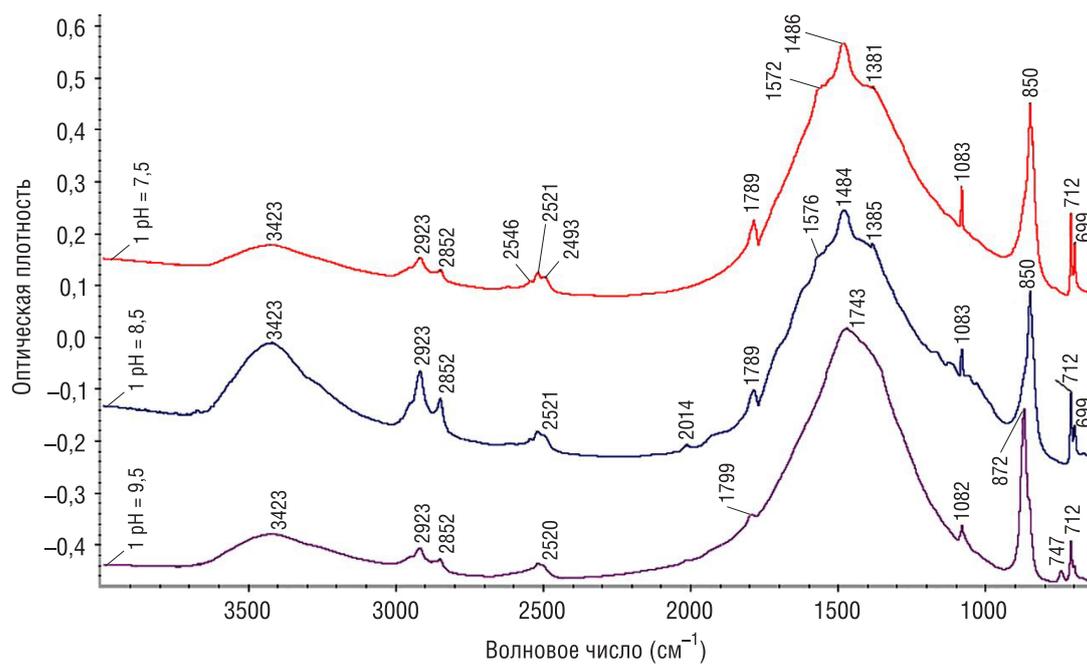


Рис. 3. ИК-спектры осадка карбоната кальция, полученного в присутствии магния при значениях pH 7,5 (1); 8,5 (2); 9,5 (3)

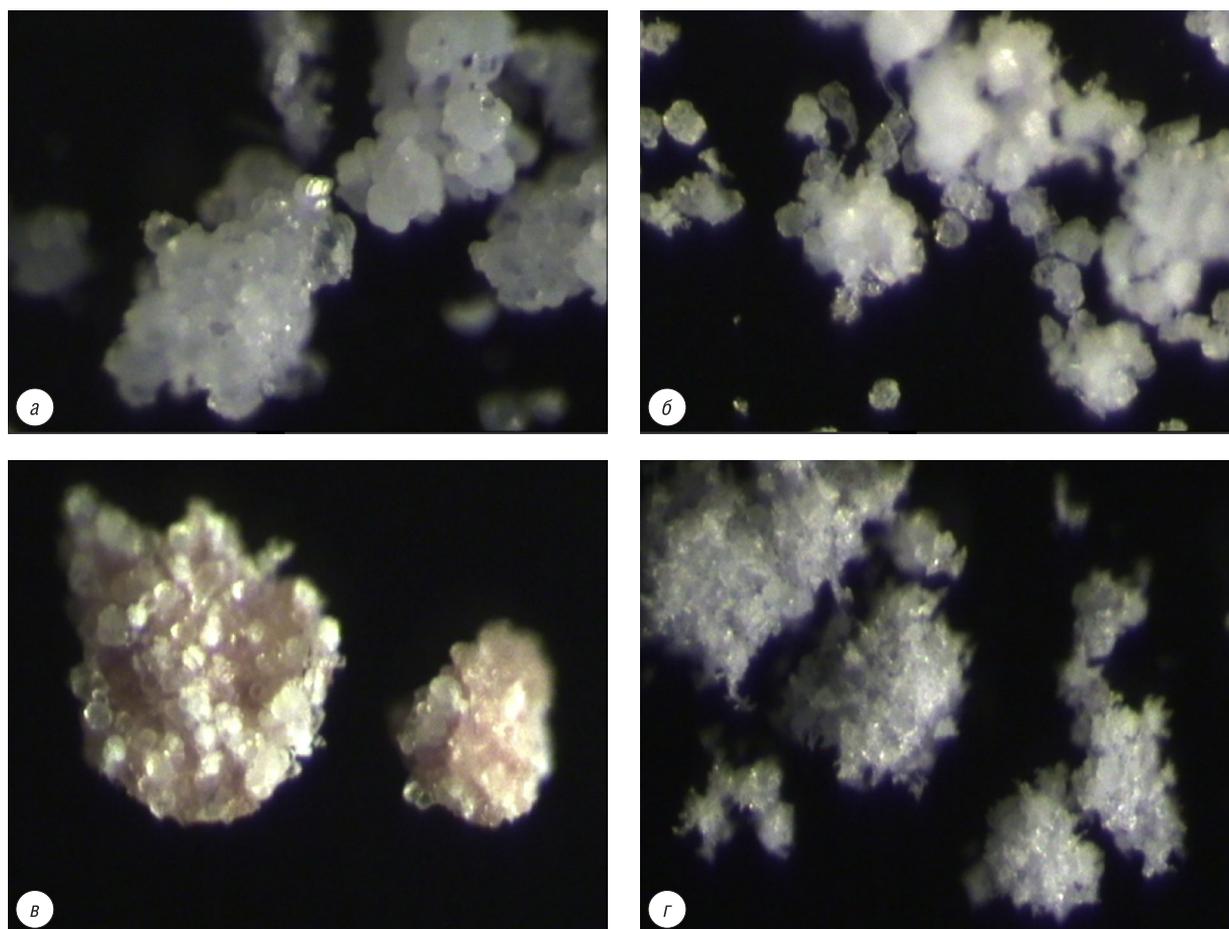


Рис. 4. Изображение кристаллов карбоната кальция, полученных в отсутствие примесных катионов (а) и в присутствии катионов алюминия (б), железа (в) и меди (г)

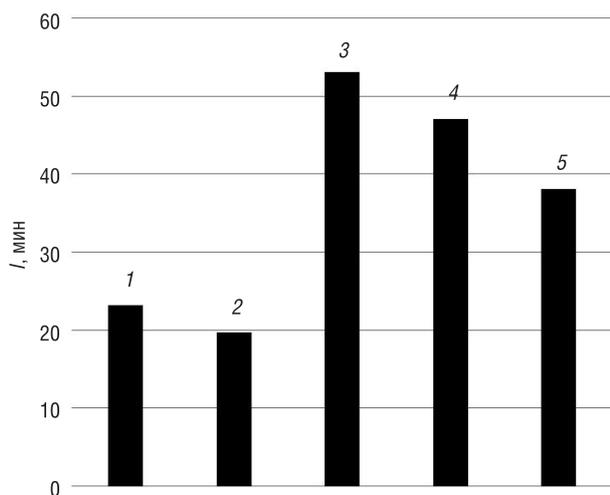


Рис. 5. Индукционный период осадкообразования в водных системах различного состава: 1 – контрольная модельная система; 2 – модельная система, содержащая примесные катионы железа, алюминия, меди; 3 – система (2) с ПА; 4 – система (2) с ПМА; 5 – система (2) с СП. Концентрация полимеров в системе 0,5 мг/л

В присутствии ионов алюминия, железа, меди рост кристаллов нарушается в связи с участием в строительстве кристаллов «посторонних» ионов.

По результатам исследований установлено, что присутствие примесных катионов алюминия, железа, меди способствует образованию нерастворимых соединений карбоната кальция. Известно, что сточные воды предприятий имеют достаточно сложный физико-химический состав с разнообразием содержащихся в них соединений, в том числе перечисленных выше катионов, поэтому при использовании в замкнутых водооборотных системах очищенных сточных вод необходимо использование реагентов с высокой эффективностью ингибирующего действия.

В работе исследовали индукционный период осадкообразования для различных модельных систем. Как видно из рис. 5, индукционный период осадкообразования уменьшается в 1,2 раза в системе, содержащей примеси алюминия, железа, меди (общая концентрация катионов железа, алюминия, меди в системе 62,5 мг/л).

Индукционный период осадкообразования при введении в систему ПА увеличивается в 2,3 раза по сравнению с вариантом, содержащим соли кальция и магния без примесей других катионов, и в 2,7 раза по сравнению с вариантом с примесями сульфатов железа, алюминия, меди. Увеличение индукционного периода наблюдается при использовании других водорастворимых полимеров, содержащих карбоксильные группы: в 2,0 и 2,4 раза для ПМА и в 1,6 и 1,9 раза для СП по сравнению с вариантами без органических добавок. Эффективность ингибирующего действия исследованных полиэлектролитов возрастает в ряду: сополимер акриловой и малеиновой кислот → натриевая соль полиметакриловой кислоты → натриевая соль полиакриловой кислоты.

Заключение

Особенностью замкнутых водооборотных систем предприятий, в которых природная вода заменена на сточные воды, является сложный состав циркулирующей жидкой фазы. Установлено, что наличие таких катионов как железо, алюминий, медь интенсифицирует процесс образования и роста кристаллов карбоната кальция, а также способствует дополнительному образованию нерастворимых соединений карбоната кальция, что нежелательно в связи с огромным риском сокращения теплопередачи на поверхностях теплообмена.

Следовательно, для систем с использованием очищенных сточных вод необходимо проводить комплексную обработку водооборотных циклов.

В работе на модельных системах установлено, что в присутствии солей железа, алюминия, меди индукционный период осадкообразования системы уменьшается в 1,2 раза, а введение в систему водорастворимых карбоксилсодержащих полимеров приводит к увеличению индукционного периода в 1,9 – 2,7 раза. Учитывая экологические и экономические преимущества замкнутых водооборотных систем, их применение в промышленности целесообразно при условии введения ингибиторов осадкообразования на основе водорастворимых полимеров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Исидоров, В. А.* Экологическая химия / В. А. Исидоров. – СПб. : Химиздат, 2001. – 304 с.
2. *Накамото, К.* ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото. – М.: Мир, 1991. – 536 с.
3. *Иванов, В. Г.* Водоснабжение промышленных предприятий / В. Г. Иванов. – СПб. : С-Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537 с.
4. Mechanism of mineral scale inhibition / M. B. Tomson [et al.] // SPE Scale symposium. Aberdeen. – 2003. – V. 18, iss. 03. – P. 564 – 572.
5. *Amjad, Z.* Performance of anionic polymers as precipitation inhibitors for calcium phosphonates: the influence of cationic polyelectrolytes / Z. Amjad, R. W. Zuhl, J. A. Thomas-Wohlever // Advances in Crystal Growth Inhibition Technologies / Springer. – 2002. – P. 71–83.
6. *Гомеля, М. Д.* Разработка ингибиторов накипеобразования для водооборотных систем охлаждения / М. Д. Гомеля, Т. А. Шаблий // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – №3. – С. 40–46.
7. Особенности кристаллизации карбонатных осадков в щелочных растворах / И. В. Шестак [и др.] // Журн. неорг. химии. – 2012. – Т 57, №1. – С. 36–42.
8. *Ридер, Р. Д.* Карбонаты: минералогия и химия / Р. Д. Ридер. – М.: Мир, 1987. – 494 с.
9. *Loste, E.* The role of magnesium in stabilising amorphous calcium carbonate and controlling calcite morphologies / E. Lose, R. Wilson, F. Meldrum // J. Cryst. Growth. – 2003. – V. 254. – P. 206–218.
10. *Савенок, А. Ф.* Основы экологии и рационального природопользования / А. Ф. Савенок. – Минск: Сэр-Вит, 2004.

Поступила 15.12.2017

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES
БІЯЛАГІЧНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 57(09):581.9(28):581.526.3(476.1)

К. Л. Савицкая

*Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: karina_savv@mail.ru*

**СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
МИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Приводится ретроспективный исторический очерк развития гидробиологических исследований в Минской области за более чем двухсотлетний период. Выделены три этапа изучения флоры и растительности водных экосистем региона (1780–1929, 1930–1959, 1960–2017 гг.). Показана неравномерность флористического обследования области: наибольшее число сборов водных растений было выполнено в Воложинском, Мядельском, северной части Борисовского районов в пределах особо охраняемых территорий, а также в центральной части области (Минский район и г. Минск). Составлен перечень сосудистых растений водных объектов Минской области на основе литературных данных и собственных сборов, включающий 17 гибридов и 206 видов, расположенных согласно системе Angiosperm Phylogeny Group, 2016 (APG IV). Из них 148 видов составляют водную флору области и относятся к истинно водным, земноводным и прибрежно-водным растениям, 58 видов принадлежат к группе береговых растений, заходящих в воду. При включении видов в список флоры водных объектов использовались шкалы Л. Г. Раменского и Г. Элленберга. Установлено, что синтаксономическое изучение водной и прибрежно-водной растительности региона с применением метода Браун-Бланке ранее не проводилось (за исключением прибрежно-водных сообществ г. Минска). Сделано заключение о необходимости планомерной инвентаризации синтаксономического разнообразия водной и прибрежно-водной растительности водных объектов Минской области, а также выполнения таксономического, экологического, экобиоморфологического, географического, созологического анализов региональной водной флоры.

Ключевые слова: история, флора водоемов и водотоков, водная и прибрежно-водная растительность, Минская область

K. L. Savitskaya

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

INVESTIGATIONS OF FLORA AND VEGETATION OF THE WATER BODIES IN MINSK REGION

There is a brief historical review covered over 200 years of the hydrobiological studies in Minsk Region. The history of the investigations on regional flora and vegetation is divided into three periods (1780–1929, 1930–1959, 1960–2017). It has been shown that floristic studies in the region were unevenly carried out: the greatest number of aquatic plant specimens was collected in Volozhyn, Myadzel districts and in the north of Borysov district within special areas of conservation as well as in the central part of the region (Minsk district and Minsk city). The list of vascular plants of water bodies in Minsk Region, based on the literature data and own plant records, including 206 species, 17 hybrids, which placed in accordance with the system Angiosperm Phylogeny Group, 2016 (APG IV), has been composed. Of these, 148 species constitute aquatic flora of the region and belong to the true-water, amphibian and semi-aquatic plants, whereas 58 species belong to a group of shore plants, entering the water. The scales of L. G. Ramensky and G. Ellenberg were used to decide whether or not some species should be included in the list of flora of water bodies. It was established that syntaxonomy studies on regional aquatic and semi-aquatic vegetation by using Braun-Blanquet approach had never been conducted (with the exception of the semi-aquatic communities in Minsk city). The studies in turn have concluded that it is necessary to make an increasing inventory of syntaxon richness of aquatic and semi-aquatic vegetation in the water bodies of Minsk Region and also to carry out taxonomic, ecological, ecobiomorphological, geographical, zoological analysis of the regional aquatic flora.

Keywords: history, flora of standing and running waters, aquatic and semi-aquatic vegetation, Minsk Region

К. Л. Савицкая

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купрэвича Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: karina_savv@mail.ru*

СТАН ВЫВУЧАНАСЦІ ФЛОРЫ І РАСЛІННАСЦІ ВОДНЫХ АБ'ЕКТАЎ МІНСКАЙ ВОБЛАСЦІ

Прыводзіцца рэтраспектыўны гістарычны нарыс развіцця гідрабатанічных даследаванняў у Мінскай вобласці за больш чым двухсотгадовы перыяд. Вылучаны тры этапы вывучэння флоры і расліннасці водных экасістэм рэгіёну (1780–1929, 1930–1959, 1960–2017 гг.). Паказана нераўнамернасць фларыстычнага абследавання вобласці: найбольшая колькасць збораў водных раслін было выканана ў Валожынскім, Мядзельскім, паўночнай частцы Барысаўскага раёнаў у межах асабліва ахоўных тэрыторый, а таксама ў цэнтральнай частцы вобласці (Мінскі раён і г. Мінск). Складзены пералік сасудзістых раслін водных аб'ектаў Мінскай вобласці на падставе літаратурных дадзеных і ўласных збораў, які ўключае 17 гібрыдаў і 206 відаў, размешчаных згодна сістэме Angiosperm Phylogeny Group, 2016 (APG IV). З іх 148 відаў складаюць водную флору вобласці і адносяцца да сапраўдна-водных, земнаводных і прыбярэжна-водных раслін, 58 відаў належаць да групы берагавых раслін, што заходзяць у ваду. Пры ўключэнні відаў у спіс флоры водных аб'ектаў выкарыстоўваліся шкалы Л. Р. Раменскага і Г. Эленберга. Устаноўлена, што сінтаксанамічнае вывучэнне воднай і прыбярэжна-воднай расліннасці рэгіёну з прымяненнем метаду Браўн–Бланке раней не праводзілася (за выключэннем прыбярэжна-водных супольніцтваў г. Мінска). Зроблена заключэнне аб неабходнасці планамернай інвентарызацыі сінтаксанамічнай разнастайнасці воднай і прыбярэжна-воднай расліннасці водных аб'ектаў Мінскай вобласці, а таксама выканання таксанамічнага, экалагічнага, экабіямарфалагічнага, геаграфічнага, сазалагічнага аналізу рэгіянальнай воднай флоры.

Ключавыя словы: гісторыя, флора вадаёмаў і вадацёкаў, водная і прыбярэжна-водная расліннасць, Мінская вобласць

Введение

Период накопления научных сведений о флоре водоемов и водотоков Минской области (далее – МО) – центрального, непограничного региона Беларуси – начинается со второй половины XVIII века. Постепенная дифференциация флоры водоемов в качестве отдельного объекта изучения, смена используемых методических подходов и способов организации работ, изменение целей гидрботанических исследований и усиление их прикладной направленности являются основанием для выделения трех этапов изучения флоры и растительности водных объектов области.

1. I этап (1780–1929 гг.)

В течение длительного времени информация о местонахождениях водных растений, обнаруженных в современных границах МО, приводилась только в составе общих видовых списков более обширных территорий: Великого Княжества Литовского (ВКЛ, «Литвы»), Виленской, Минской, Могилевской губерний, объединенной территории Литвы, Волыни, Подолии и Украины. Исследования флоры имели выборочный характер, выполнялись в рамках отдельного направления комплексных ботанико-географических краеведческих экспедиций. Сбор растений производился строго вдоль запланированных маршрутов, как правило, во всех встреченных биотопах. При этом водная флора не рассматривалась как отдельный объект изучения, а гидрофиты не собирались целенаправленно, поэтому ранняя история изучения флоры водоемов и в целом флоры МО тесно взаимосвязаны. Кроме того, в большинстве флористических сводок первого этапа отсутствуют точные географические привязки сборов, на основании которых можно было бы выяснить качественный и количественный составы растений водных объектов МО того времени.

Поскольку маршрут первой из известных экспедиций в белорусские земли (Псков-Великие Луки-Смоленск-Витебск-Полоцк-Рига), возглавляемой И.И. Лепехиным в 1773 г., и позволившей составить первый список растений окрестностей г. Витебска [34], проходил восточнее МО, то первым исследователем флоры территории МО следует считать J. E. Gilibert. В составленном им списке видов Литвы (ВКЛ) 1781–1782 гг. (объединяющем более 110 видов водной флоры) присутствуют единичные описания флористических находок из МО: упоминаются растения, обнаруженные вблизи г. Несвижа, 4 вида растений указываются для Виленской губернии (включавшей северо-западную часть современной МО) [71]. В 1791 г. флористический список J. E. Gilibert был расширен и дополнен профессором Виленского университета S. B. Jundziŭ [74; 75], в том числе за счет растений, найденных в окрестностях г. Вильны и части Лидского уезда [21]. Все названия видов у S. B. Jundziŭ сопровождаются кратким перечислением систематических признаков, сроков цветения и характерных биотопов. Биотопическая приуроченность

цитируемых S. B. Jundził водных и прибрежно-водных растений (120 видов) обозначена как «około wód», «około Rzek», «w wodach stojących», «w wodach spokojnych», «na wodach», «nad wodami» и т. п. В книге 1811 г. S. B. Jundził приводит немногочисленные новые флористические находки (*Rumex hydrolapathum*, *Stellaria palustris*, *Ranunculus fluvialis*, *Sparganium simplex*) [75], но также чаще без указаний на конкретные местонахождения водных растений, или с малоинформативными пометками, как, например, в случае с *Ranunculus fluvialis* – «rośnie w Wilii i wielu innych rzekach» [75, с. 170]. При этом из ранее опубликованного списка S. B. Jundził были исключены *Ceratophyllum submersum*, *Utricularia minor*, *Littorella lacustris*, *Lemna gibba*, *Zannichellia palustris*, *Potamogeton compressum*, *P. pusillum*, *P. pectinatum*, *Carex vesicaria*, *C. pseudocyperus*, *Equisetum limosum*, *Bidens minima*, а также внесены незначительные номенклатурные правки (*Ranunculus aquatilis* переименован в *R. heterophyllum*, *Lycopus europaeus* в *L. vulgaris*, *Sparganium erectum* в *S. ramosum*, *Scirpus capitatus* в *S. ovatus*).

Крайне мало детальных сведений о произрастании водных растений именно в пределах МО содержалось и в ряде работ последующих авторов. Сбором и гербаризацией растений на территории Виленской губернии (в том числе в Свенцяном уезде) занимались в 20-е годы XIX в. J. Jundził [73], И. Вильде, А. Мельцер, А. Белявский, И. Янковский, S. B. Gorski. Их статьи и коллективные «рапорты» опубликованы в журнале «Pamiętnik formacewycyżny Wilenski. 1822 г.» [85]. Анализ гербарных образцов из окрестностей г. Минска проводил P. Leinhardt [81], сведения о сборах растений в окрестностях Минска и Слуцка вошли в труд W. Besser [65]. Кроме того, информация по Виленской флоре содержится в работах E. Eichwald [67]. Выполнив учет видового состава водных растений приблизительно в том же объеме, что и S. B. Jundził, E. Eichwald впервые указывает на произрастание в литовских землях *Nuphar pumila* (Timm.) DC., *Cardamine dentata* Schult., *Galium rivale* (Sibth. et Sm.) Griseb. (= *Asperula rivalis* Sibth.), *Najas major* All., *Utricularia intermedia* Hayne., *Potamogeton praelongus* Wulf., *Potamogeton acutifolius* Link., *Potamogeton obtusifolius* Mertens et W. D. J. Koch., *Caldesia parnassifolia* (L.) Parl. (= *Alisma parnassifolium* L. Mant.), *Cyperus fuscus* L., *Eleocharis uniglumis* (Link) Schult., *Carex riparia* Curtis., *Scolochloa festucacea* (Willd.) Link (= *Triodia festucacea* (Willd.) Roth), *Salvinia natans* All. (обнаружены S. B. Gorski). В 1843 г. A. F. Fischer приводит 572 вида цветковых растений, найденных в окрестностях г. Слуцка, среди которых встречаются и растения водоемов [68; 54]. Согласно данным, имеющимся в работе В. П. Мартыненко, в 1840–1850 гг. S. B. Gorski в окрестностях г. Минска обнаружил охраняемую в настоящее время *Lobelia dortmanna* L. и, вероятно, исчезнувшую из флоры региона *Littorella uniflora* (L.) Ascher [33].

Известное издание 1842–1855 гг. C. F. Ledebour «*Flora rossica*» охватывает все ранее описанные исследователями Литвы виды водных и прибрежно-водных растений (169 видов), однако адреса местонаждений представлены лишь ссылками на крупные административные единицы («*Rossia media*», «*Lithuania*») [78].

В 1850–1860 гг. флора Минской и Виленской губерний изучалась также E. Lindemann [82; 83]. Среди прочих растений для г. Минска им указывается *Potamogeton alpinus* Balbis, для Минской губернии – *Elatine hydropiper* L., *Catabrosa aquatica* (L.) Beauv., *Glyceria fluitans* (L.) R. Br. [82].

Одним из источников флористических данных, непосредственно относящихся к большей части территории МО, является «Очеркъ флоры цвѣтковыхъ растений Минской губерніи» В. В. Пашкевича, куда вошли описания 958 видов растений [43], в том числе редких водных *Aldrovanda vesiculosa* L., *Najas major* All., *Trapa natans* L. Не учтенными В. В. Пашкевичем остались северо-западные окраины МО (в настоящее время – Мядельский и Вилейский районы), относящиеся тогда к Свенцяному и Вилейскому уездам Виленской губернии. Однако уже к 1890–1892 гг. А. О. Зеленцов делает критический обзор предшествующих материалов по флоре Виленской губернии и, учитывая собственные сборы, составляет результирующий перечень видов растений этой местности [21]. Гербарные образцы из Свенцянского уезда были переданы ему учеником реального училища Гуриновичем, из Вилейского уезда – учеником реального училища Мазыкиным [21]. В Ошмянском уезде (на территории современного Воложинского района в окрестности д. Вишнево) из прибрежно-водных растений А. О. Зеленцовым обнаруже-

ны некоторые виды осок: *Carex riparia*, *C. acuta*, *C. vulpina*, *C. elongata*. При этом А. О. Зеленцов отмечает «неудовлетворительность и неравномерность сведений о всей губернии», особенно северо-восточных местностей (т. е. Свенцянского и Вилейского уездов), которые «во флористическом отношении мало изучены» [21, с. 372] (на долю этих уездов приходится всего 7 % (184 вида) от общего видового списка губернии). К растениям вод автор относит 53 вида высших водных растений. Кроме того, А. О. Зеленцовым установлено сходство между флорой северных уездов Минской губернии (Минский, Борисовский, частично Червенский районы МО) и Виленской. Гербарные сборы из Мядельского района (окрестности д. Шеметово) документированы публикациями М. Twardowska (среди них *Typha angustifolia* L., *Sparganium natans* L., *Glyceria fluitans* (L.) R. Br., *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud. и др.) [87–94], из Столбцовского района – К. Łapczyński (*Sparganium natans*) [84].

Следующая обобщающая работа по флоре территорий Минской, Витебской и Могилевской губерний, автором которой был Е. Lehmann, появилась в 1895–1896 гг. [79; 80]. Кроме того, флористические находки многих редких и большинства фоновых видов высших водных растений из различных уездов (в основном из Игуменского, Борисовского, Минского, Слуцкого) Минской губернии, сделанные в течение XIX в. К. Ельским, Клечковским, Черноцким, В. В. Пашкевичем и другими коллекторами, проанализированы и сведены воедино И. К. Пачоским. Его работа «Флора Польсыя и прилежащих местностей» отличается наличием конкретных указаний на места и авторов сборов всех растений, подводит итог предшествующим исследованиям [42]. В частности, И. К. Пачоским в 1894 г. открыто первое в республике местонахождение прибрежно-водного растения *Glyceria declinata* Bréb. в г. Слуцке, которое на данный момент требует подтверждения. Повторно этот вид был найден в 1976 г. в Беловежской пуще Г. Вынаевым [52].

К началу XX века по опубликованному фактическому материалу по флоре отдельных территорий начали проводить сравнительный анализ. Так, первые общие выводы о флоре водных объектов территории Верхнего Поднепровья и Беларуси содержатся в книге В. П. Семенова, М. В. Довнар-Запольского, А. А. Кабанова и др. «Россия. Полное географическое описание нашего Отечества», изданной в 1905 г. Авторами определен долевым вклад водных растений во флору региона, насчитывающую 900 видов, который составил 7 %. Отмечено также большое сходство водной флоры белорусских территорий с флорой европейской части России, в частности с «соседними Озёрной и Московской промышленными областями», обусловленное широким распространением ряда гидрофитов: *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea*, *Sagittaria sagittifolia*, *Stratiotes aloides*, *Callitriche* sp., *Hydrocharis morsus-ranae*, *Scirpus lacustris* и др. Вместе с тем указано, что в целом флористический облик Минской и смежных с ней частей Витебской и Могилевской губерний является переходным ко флоре западной и юго-западной России [46].

В начале XX века проводятся первые простейшие фенологические наблюдения за водными растениями. Показана взаимосвязь сроков цветения водных растений в Верхнем Поднепровье и Беларуси с климатическими условиями (в том числе с температурой разных слоев воды) [46].

В сборнике, посвященном дикорастущим видам растений Новогрудского, Минского, Виленского и Гродненского поветов 1930 г., К. Kałowicz приводит около 107 видов водных растений, большинство из которых широко распространены в МО в настоящее время, за исключением *Iris sibirica* L., найденного «около Слуцка» [77].

Важнейшим результатом начального этапа изучения водной флоры на территории МО стала не только идентификация прибрежно-водных и многих истинно водных видов растений, составляющих основу фиторазнообразия водоемов и водотоков в настоящее время, но и первичное, во многом интуитивное разграничение обычных и редких видов водной флоры, выделение видов с повсеместной встречаемостью.

2. II этап (1930–1959 гг.)

В довоенный период положено начало геоботаническому изучению растительного покрова рек и озер, которое было тесно сопряжено с описанием луговой и болотной растительности. После образования БССР организуются систематические экспедиционные исследования лесных, болотных и луговых биотопов на базе высших учебных заведений и научных учреждений,

начиная с локальных территорий. Геоботанические описания водоемов (участков рек) были единичными и рассматривались как иллюстрация наиболее низкорасположенных пойменных участков лугов. Например, в 1928 г. работая в составе экспедиции кафедры ботаники Института белорусской культуры, В. Михайловская выявляет, вероятно, далеко не полный видовой состав водных и прибрежно-водных растений (иногда определяя их обилие) участка р. Вяча (*Scirpus lacustris* L., *Acorus calamus* L., *Phragmites communis* Trin., *Nuphar luteum*, *Potamogeton natans* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Juncus effusus* L., *Oenanthe phellandrium* Lam., *Cicuta virosa* L., *Crepis paludosa* Moench., *Sparganium fluitans* Fr., *Myosotis palustris* Roth., *Filipendula ulmaria* Maxim, *Lythrum salicaria* L.)¹, старичного водоема около д. Семково (*Equisetum limosum* L., *Carex* sp., *Carex acuta*, *Menyanthes trifoliata* L., *Caltha palustris* L., *Comarum palustre* L., *Geum rivale* L.), старицы в долине р. Свислочь (*Scirpus lacustris*, *Acorus calamus*, *Phragmites communis*), прибрежной зоны акватории р. Свислочь (*Nymphaea* sp., *Nuphar luteum*, *Potamogeton natans*, *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Lemna* sp.), находящихся в северной окрестности г. Минска в радиусе 20 км [36]. При описании пойм рек Вячи, Цны, Свислочи также указываются *Polygonum bistorta* L., *P. amphybiun* L., *Galium uliginosum* L., *Galium palustre* L., *Cardamine pratensis* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Veronica longifolia* L., *Glyceria fluitans* R. Br., *Stellaria palustris* Ehrh., *Alopecurus pratensis* L., *Phalaris arundinacea* L., *Peucedanum palustre* Mnch., *Ranunculus repens* L., *Solanum dulcamara* L., *Scutellaria galericulata* L.). Следует отметить зафиксированное В. Михайловской произрастание *Scirpus radicans* Schk. по берегам Вячи, широкое распространение здесь фитоценозов нимфеид, а также цветущих экземпляров *Elodea canadensis* Rich. в старице Свислочи [36].

В 1932 г. подобные работы под руководством В.А. Михайловской проведены Институтом биологии АН БССР на 14 маршрутах, проложенных в Березинском биосферном заповеднике, в том числе на некоторых водоемах и реках Борисовского района [37]. В том же году О.Д. Акимова в составе экспедиции Белорусского отдела Московского рыбного института, реализуя задание гидрометеорологического института, описывает растительность озер Худово и Селява Крупского района МО [2; 33].

При изучении лугов Западной Белоруссии Sinicynowna Z. в 1936 г. приводит находки отдельных гидрофитов, сделанные в г. Несвиже (*Sparganium natans* L., *Potamogeton gramineus* L., *P. compressus* L., *P. pusillus* L., *P. crispus* L., *Najas major* All.) [86].

В то же время ввиду отсутствия планомерных и масштабных геоботанических описаний водная растительность как отдельная категория не была включена в важнейшую сводку «Растительный покров Белоруссии» и не отражена на карте растительности республики, изданной в 1969 г. [44].

В 1928 г., начиная изучение растительности озер Полоцкого округа, Р.Н. Гацко констатирует: «Водная расліннасць ... Сав. Беларусі яшчэ спецыяльна не вивучалася. Мы яшчэ ня ведаем сваёй воднай флоры, ня ведаем заканамернасцяў у размяшчэнні тых ці іншых раслін на вадазборы ў залежнасці ад экалагічных умоў» [10]. Вместе с тем именно многолетние экспедиции, проводимые в интересах государственных учреждений, позволили накопить необходимое количество данных для капитального флористического обзора. Так, к 1949–1959 гг. все известные материалы по флоре водоемов начиная с XVIII века были суммированы в пятитомном издании «Флора БССР».

3. III этап (1960–2017 гг.)

Продолжается изучение высших водных растений МО в систематическом, географическом аспектах, а также в рамках зарождающихся прикладных направлений гидроботанических исследований: ресурсно-продукционного, биоиндикационного, мониторингового.

В эти годы инвентаризация водных и прибрежно-водных растений по всей территории Беларуси была продолжена Третьяковым Д.И., Скуратовичем Н.Н., Дубовиком Д.В., Вынаевым Г.В., Джусом М.А., Тихомировым В.Н., Морозовой Т.К., Мерзвинским Л.М., Мартыненко В.П. и др. специалистами. Ими опубликованы многочисленные статьи, связанные с данной проблематикой [31; 53; 63 и др.].

¹ Названия растений приводятся без изменений по работе [36].

Отдельные локалитеты водных и прибрежно-водных растений в различных районах МО (но преимущественно в окрестностях Нарочанской биостанции БГУ Мядельского района, геостанции БГУ «Западная Березина» Воложинского района, в пределах Налибокской пуши Столбцовского и Воложинского районов, в том числе в оз. Кромань, р. Исlochь, р. Зап. Березина), регистрировались в разные годы начиная с 1944 г. студентами и сотрудниками Белорусского государственного университета (среди них – Ю. А. Бибииков, Г. Ф. Захаренкова, Н. К. Кудряшева, Е. Е. Рябушева, О. В. Шило, А. Г. Песнякевич, Л. Н. Григорович, С. Н. Чайковская, Т. Н. Терешко, Т. И. Авдеева, Т. А. Филюкова, К. Н. Барташ, Л. В. Гутовская, М. А. Шипуля, В. В. Голубков, М. П. Млынарчик, А. К. Ефремкина, М. А. Джус, В. Н. Тихомиров, Т. А. Сауткина и др.) при проведении летних учебных практик, выполнении курсовых и дипломных работ, реализации научных проектов по инвентаризации биоразнообразия и растительных ресурсов Беларуси. Полученный ими гербарный материал поступал в коллекционный фонд Гербария БГУ (MSKU), где хранится в настоящее время. Первым же координатором флористических работ и куратором Гербария в послевоенные годы (1944–1966 гг.) являлась Н. О. Цеттерман [50]. С участием выпускников биофака БГУ с 1968 г. организовывались регулярные флористические исследования заказника «Голубые озера», затем продолженные Г. В. Вынаевым и Д. И. Третьяковым. Под научным руководством Ю. А. Бибиикова, Т. А. Сауткиной, Г. И. Зубкевич студентами кафедры ботаники также планомерно изучалась флора всей территории современного Национального парка «Нарочанский» начиная с 1974 г. Результаты исследований этой особо охраняемой природной территории (ООПТ) отражены в дипломных работах: «Флора и растительность озера Рудаково и его водосбора» (1983 г., автор Е. П. Гущина), «Флора Мядельского района» (1982 г. – А. Ф. Пильковская), «Макрофиты озера Нарочь» (1980 г. – Е. В. Василевская), «Рдесты Белоруссии» (1990 г. – О. П. Авдеева) и др. Последние обобщенные данные по водной флоре ООПТ содержатся в монографии сотрудников Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича «Биологическое разнообразие Национального парка «Нарочанский»: сосудистые растения» (2014 г.) [4].

Определенный вклад в изучение водной флоры Мядельского и Вилейского районов МО был внесен при выявлении биологического разнообразия Белорусского Поозерья (куда территориально входят названные районы) [3; 34].

За два последних десятилетия сотрудниками кафедры ботаники БГУ М. А. Джусом и И. С. Гириловичем проведена полная инвентаризация флоры Воложинского района МО, в ходе которой с достаточной степенью репрезентативности выявлен видовой состав водных растений данного региона, представленный 120 видами [16]. Их перечень сопровождался (исключая виды с повсеместной встречаемостью) этикетками (где указаны авторы, места и даты сборов, краткое описание биотопов) всех известных до 2014 г. находок растений с территории района. Методом точечного картирования в Воложинском районе отмечены пункты произрастания редких макрофитов, включенных в основную часть 4-го издания Красной книги Беларуси, *Iris sibirica* и *Verula erecta*.

В 1980–1990 гг. растительность оз. Палик Борисовского района МО наряду с иными озерами, расположенными в Березинском биосферном заповеднике, изучалась В. И. Игнатенко и П. В. Парфеновым, которые определили флористический и химический составы макрофитов, охарактеризовали основные формации водной растительности заповедника [22; 39–41]. В 1977 г. был определен процент зарастания оз. Палик высшей водной растительностью (около 24 %), идентифицированы с применением доминантного подхода и описаны ассоциации кубышки желтой, роголистника, рдеста блестящего, рдеста пронзеннолистного и др. В 2016 г. сотрудниками научного отдела Березинского биосферного заповедника С. А. Автушко и Е. Н. Ивкович проведены повторные наблюдения и проанализирована динамика зарастания озера водной растительностью за 40-летний период [1]. В 2014 г. издана монография, содержащая итоги очередной инвентаризации биоразнообразия сосудистых растений заповедника в 2010–2014 гг., выполненной совместно научными сотрудниками Березинского заповедника и лаборатории флоры и систематики растений Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси. Аннотированный список флоры южной части заповедника включает 135 видов высших водных растений [5], отмеченных и в водных объектах крайнего севера Борисовского района.

Впервые научные критерии для отбора видов водных растений, подлежащих государственной охране, были предложены Н. В. Козловской и В. И. Парфеновым. Их книга «Хорология флоры Беларуси», вышедшая в 1972 г., содержала фитохорологическую характеристику 24 видов водных растений (для 9 из которых авторами приводятся известные местонахождения в границах МО, 17 видов выявлены на территории МО в настоящее время), находящихся в республике на границе ареала или имеющих «островное» распространение [24]. В их числе были перечисленные ниже виды гидрофитов, которые впоследствии составили основу списка охраняемых видов высших водных растений, помещенных во все издания Красной книги Беларуси [26–27; 59–60]: *Aldrovanda vesiculosa* L., *Cladium mariscus* (L.) Pohl., *Isoëtes lacustris* L., *Hydrilla verticillata* (L. fil.) Royle, *Trapa natans* L., *Nuphar pumila* (Timm.) DC., *Najas flexilis* (Willd.) Rostk. et W. L. Schmidt, *Lobelia dortmanna* L., *Salvinia natans* (L.) All. Согласно современным представлениям, национальной природоохранной значимостью (категории охраны I–IV) обладают 16 видов водных и прибрежно-водных растений МО (включены в последнее, 4-е издание Красной книги), из которых 14 достоверно встречаются на этой территории, тогда как произрастание здесь *Urtica kioviensis* Rogow. и *Elatine hydro Piper* L. требует уточнения [27]. Из них *Batrachium kauffmanii* (Clerc) Krecz. в 2015 г. взят под охрану впервые. Места произрастания многих редких видов гидрофитов МО сосредоточены в пределах особо охраняемых природных территорий, где они неоднократно фиксировались: *Nymphaea alba* L. в оз. Кромань в Республиканском ландшафтном заказнике «Налибокский»; *Najas major* All. в оз. Глубля, *Cladium mariscus* (L.) Pohl. в оз. Глубля и оз. Ячменец ландшафтного заказника «Голубые озера» и в оз. Баторино Национального парка «Нарочанский»; *Caulinia minor* (All.) Coss. et Germ. в оз. Палик в Березинском биосферном заповеднике; *Isoëtes lacustris* L., *Isoëtes echinospora* Durieu в оз. Белое; *Berula erecta*, *Iris sibirica*, *Sparganium gramineum* Georgi, *Aldrovanda vesiculosa* L. в Национальном парке «Нарочанский» [27; 28; 32; 18].

Во второй половине 40-х гг. XX в. под руководством Г. Ф. Захаренковой начато изучение видового и химического составов, продуктивности доминирующих видов водной растительности озер нарочанской группы (Нарочь, Мястро, Баторино), оз. Рудаково, расположенных в Мядельском районе [19–20; 45]. С 1969 по 2000 г. сотрудниками научно-исследовательской лаборатории озероведения БГУ проводились комплексные работы по выявлению видового разнообразия, оценке продуктивности растительных ассоциаций (выделенных согласно доминантному подходу), картированию растительности и определению значения макрофитов в функционировании озерных экосистем [6; 11–14; 62]. Гербарный материал по макрофитам, собранный в перечисленных озерах до 1969 г. Г. Ф. Захаренковой и в 1969–1970 гг. П. И. Бурдыко, находится в Институте экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK) [4]. В этот период в практику исследования водной растительности вводится методика В. М. Катанской, не утратившая своего значения до настоящего времени [20]. Оценка зарастания озер Нарочь, Мястро, Баторино надводной растительностью с определением структуры и продуктивности сообществ основных ценозообразователей осуществлялась также в 2004–2006 гг. [45].

Первый таксономический и фитогеографический анализы флоры водоемов, прибрежных отмелей и полосы прибрежных кустарников Беларуси выполнены по итогам более чем 20-летних исследований Н. В. Козловской. Однако общий список водной флоры был составлен автором без использования локальных списков по водоемам (вероятно, использовались в основном литературные данные), а флора речных и озерных песчаных отмелей анализировалась главным образом на примере отмелей р. Припяти (Брестская и Гомельская области) [25].

Начиная с 2000 г., растительный покров некоторых наиболее крупных и важных в хозяйственном отношении водных объектов МО (озера Кромань, Судoble, Нарочь, Мястро, Глубелька, Сергеевичское, Селява, Свирь; реки Свислочь, Березина, Неман, Бобр; водохранилища Вилейское, Солигорское, Заславское, Комсомольское) становится объектом мониторинговых наблюдений в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС РБ) (блок «Мониторинг растительного мира», подвид «Мониторинг водной растительности»). В специально организованных пунктах учета в пределах указанных водоемов и водо-

токов регулярно ведутся определения флористического состава фитоценозов, проективного покрытия, обилия различных видов макрофитов, а также учет фенофаз, жизненности, высоты растений. Одновременно оценивается биомасса травостоя, характер зарастания водоемов, степень загрязнения надземной фитомассы водных растений тяжелыми металлами, анализируется химический состав донных отложений и водной массы и иные свойства экотопов. Полученные данные затем использовались для выведения закономерностей в накоплении загрязняющих химических элементов фитомассой макрофитов различной видовой и биоморфологической принадлежности. Также были предварительно оценены запасы растительного сырья в водоемах республики, отслеживалась динамика изменения видового состава флоры водных объектов и степени их зарастания [8].

Параллельно совершенствуются подходы к изучению макрофитов. Научно-практическую значимость имеют разработанные в 2000–2011 гг. Г.С. Гигевич, Б.П. Власовым, Г.В. Вынаевым, Н.Д. Грищенко методические стандарты для реализации программы НСМОС в области мониторинга высшей водной растительности [7; 9; 15; 35].

Информация о видовом разнообразии, местонахождениях и экологии водных растений, полученная в период с 1950 по 2013 г., аккумулирована в определителях и монографиях: «Определитель растений Белоруссии» (1967), «Определитель высших растений Беларуси» (1999), «Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны» (1978), «Ивы (*Salix*) Белоруссии» (1986), «Редкие и исчезающие виды растений Белоруссии и Литвы» (1987), «Флора Беларуси. Сосудистые растения» (2009–2013) [54; 55]. Отдельно и наиболее подробно гидрофильный компонент флоры Беларуси рассмотрен в монографии Г.С. Гигевич, Б.П. Власова, Г.В. Вынаева «Высшие водные растения Беларуси. Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана» (2001), где впервые представлен видовой состав растений водоемов (183 вида высших сосудистых растений), оформленный в виде перечня в предложенной авторами классификационной системе [14]. Кроме того, были выполнены таксономический, генетический, биоморфологический, созологический анализы водной флоры республики, проведена типизация озер по степени и особенностям их зарастания [14]. Материалом для монографии послужили результаты комплексного изучения 600 озер, расположенных в различных частях Беларуси (в том числе озера Нарочь, Мясстро, Свирь и др. в МО). Тем не менее имеющийся перечень водных и прибрежно-водных растений подлежит доработке. Его следует расширить и дополнить многими адвентивными и аборигенными видами растений, для большинства из которых известны локалитеты в МО (*Lemna turionifera* Landolt, *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John, *Typha laxmannii* Lepech., *Bolboschoenus yagara* (Ohwi) Y. C. Yang et M. Zhan, *Bolboschoenus planiculmis* (F. Schmidt) T. V. Egorova, *Bidens connata* H. L. Muhl. ex Willd., *Veronica anagallis-aquatica* L., *V. beccabunga* L.) [47; 49; 55; таблица]. Кроме того, не учтенными оказались гибридные таксоны (*Nymphaea* × *borealis* E. G. Camus, *Typha* × *glauca* Gordon, *Sparganium* × *neglectum* Beeby, *S.* × *aschersonianum* Hausskn., *Stuckenia* × *suecica* (K. Richt.) Holub., *S.* × *fennica* (Hagstr.) Holub., *Potamogeton* × *fluitans* Roth., *P.* × *schreberi* G. Fisch., *P.* × *angustifolius* J. Presl., *P.* × *salicifolius* Wolfg. ex Schult. и др.), которые также ранее отмечались на территории МО [55; 48].

Достаточно хорошо изученными во флористическом и геоботаническом аспектах можно считать некоторые водоемы, находящиеся в пределах основных особо охраняемых природных территорий МО (озера Глубля, Ямонец ландшафтного заказника «Голубые озера», Нарочь, Мясстро, Баторино в Национальном парке «Нарочанский», Кромань в Республиканском ландшафтном заказнике «Налибокский», Палик Березинского биосферного заповедника) или включенных в реестр пунктов мониторинга высшей водной растительности НСМОС РБ (всего 4 реки, 8 озер, 4 водохранилища). Если рассматривать изученность водной флоры в разрезе административного деления территории МО, то наиболее обследованными будут Воложинский, Мядельский, Минский районы, северная часть Борисовского, Вилейский район и г. Минск, меньше всего информации о водных растениях Копыльского, Стародорожского, Березинского, Узденского и Смолевичского районов.

Перечень сосудистых растений водоемов и водотоков (с построчным указанием синонимов одного вида), обнаруженных различными исследователями с конца XVIII до начала XXI вв. на территориях, включающих современную Минскую область [17; 18; 31; 53–55; 63; 69; 71; 72; 74, 75; 78]

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundzili, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
			Отдел Плаунообразные – Lycopodiophyta Класс Полушниковидные – Isoëtropsida Порядок Полушники – Isoëtales Семейство Полушниковые – Isoëtaceae Reichenb. Род Полушник – Isoëtes L.
–	–	–	<i>Isoëtes echinospora</i> Durieu
–	–	<i>Isoëtes lacustris</i>	<i>Isoëtes lacustris</i> L.
			Отдел Хвощеобразные – Equisetophyta Класс Хвощевидные – Equisetopsida Порядок Хвощи – Equisetales Семейство Хвощевые – Equisetaceae Michx. ex DC. Род Хвощ – Equisetum L.
–	Equisetum fluviatile	Equisetum limosum	<i>Equisetum fluviatile</i> L.
Equisetum polystachyon	Equisetum palustre	Equisetum palustre	<i>Equisetum palustre</i> L.
			Отдел Папоротникообразные – Polypodiophyta Класс Папоротниковидные – Polypodiopsida Порядок Сальвинии – Salviniiales Семейство Сальвиниевые – Salviniaceae Martinov Род Сальвиния – Salvinia Séq.
–	–	Salvinia natans	? <i>Salvinia natans</i> (L.) All.
			Порядок Многоножки – Polytrichales Семейство Телиптерисовые – Thelypteridaceae Pic.Serm. Род Телиптерис – Thelypteris Schmidel
–	–	–	<i>Thelypteris palustris</i> Schott
			Отдел Семенные – Spermatophyta Класс Магнолиевые – Magnoliopsida Порядок Кувшинкоцветные – Nymphaeales Семейство Кувшинковые – Nymphaeaceae Salisb. Род Кувышка – Nuphar Sm.
Nymphaea lutea	Nymphaea lutea	Nuphar luteum	<i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm.
–	–	Nuphar pumilum	<i>Nuphar pumila</i> (Timm) DC.
			Род Кувшинка – Nymphaea L.
Nymphaea alba	Nymphaea alba	Nymphaea alba	<i>Nymphaea alba</i> L.
–	–	–	<i>Nymphaea candida</i> C. Presl. et J. Presl.

J. E. Gilbert, 1761–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundziik, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область	<p>Порядок Аирецветные – Acorales Семейство Аировые – Acoraceae Martinov Род Аир – <i>Acorus L.</i></p>
<i>Acorus aromaticus</i>	<i>Acorus calamus</i>	<i>Acorus calamus</i>	<i>Acorus calamus L.</i>	
<i>Calla ovato folio</i>	<i>Calla palustris</i>	<i>Calla palustris</i>	<p>Порядок Частухоцветные – Alismatales Семейство Аронниковые – Araceae Juss. (incl. Lemnaceae Gray) Род Белокрыльник – <i>Calla L.</i></p>	
–	–	<i>Lemna gibba</i>	<i>Calla palustris L.</i>	
–	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna gibba</i>	Род Ряска – <i>Lemna L. (incl. Staurogeton Rchb.)</i>	
–	<i>Lemna trisulca</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna gibba L.</i>	
–	–	<i>Lemna trisulca</i>	<i>Lemna minor L.</i>	
–	–	–	<i>Lemna trisulca L.</i>	
–	–	–	<i>Lemna turionifera Landolt</i>	
–	<i>Lemna polyrhiza</i>	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Род Многокоренник – <i>Spirodela Schleid.</i>	
–	–	–	<i>Spirodela polyrhiza (L.) Schleid.</i>	
–	–	–	<p>Семейство Частуховые – Alismataceae Vent. Род Частуха – <i>Alisma L.</i></p>	
<i>Alisma latifolia</i>	<i>Alisma plantago</i>	<i>Alisma plantago</i>	<i>Alisma gramineum Lej.</i>	
<i>Sagittaria monoica</i>	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	<i>Alisma lanceolatum With.</i>	
–	–	–	<i>Alisma plantago-aquatica L.</i>	
–	–	–	Род Стрелолист – <i>Sagittaria L.</i>	
<i>Butomus umbellatus</i>	<i>Butomus umbellatus</i>	<i>Butomus umbellatus</i>	<i>Sagittaria sagittifolia L.</i>	
–	–	–	<i>f. vallisneriifolia Coll. et Germ. – погруженная форма</i>	
–	–	–	<p>Семейство Сукаковые – Butomaceae Mirb. Род Сукак – <i>Butomus L.</i></p>	
<i>Hydrocharis rotundifolia</i>	<i>Hydrocharis Morsus ranae</i>	<i>Hydrocharis Morsus ranae</i>	<i>Butomus umbellatus L.</i>	
–	–	–	<p>Семейство Водокрасовые – Hydrocharitaceae Juss. (incl. Najadaceae Juss.) Род Элодея – <i>Elodea Rich.</i></p>	
–	–	–	<i>Elodea canadensis Michx.</i>	
–	–	–	<i>Elodea nuttallii (Panch.) H. St. John</i>	
–	–	–	Род Водокрас – <i>Hydrocharis L.</i>	
–	–	–	<i>Hydrocharis morsus-ranae L.</i>	

Продолжение табл.

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundzili, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
–	–	Najas major	Род Наяда – <i>Najas L.</i> (incl. <i>Caulinia Willd.</i>)
–	–	Caulinia fragilis	<i>Najas minor</i> All.
Stratiotes ensiformis	Stratiotes aloides	Stratiotes aloides	Род Телорез – <i>Stratiotes L.</i>
–	–	–	Stratiotes aloides L.
–	–	–	Семейство Шейхцериевые – Scheuchzeriaceae F. Rudolphi
Scheuchzeria paniculata	Scheuchzeria palustris	Scheuchzeria palustris	Род Шейхцерия – <i>Scheuchzeria L.</i>
–	–	–	Scheuchzeria palustris L.
Triglochin junceum	Triglochin palustre	Triglochin palustre	Семейство Триостренниковые – Juncaginaceae Rich.
–	–	–	Род Триостренник – <i>Triglochin L.</i>
–	–	–	Triglochin palustris L.
–	–	–	Семейство Рдестовые – Potamogetonaceae Bercht. et J. Presl (incl. Zannichelliaceae Chevall.)
Potamogeton compressus	–	Potamogeton acutifolius	Род Рдест – <i>Potamogeton L.</i>
Potamogeton crispus	Potamogeton crispum	Potamogeton crispus	Potamogeton acutifolius Link
–	–	–	Potamogeton alpinus Balb.
Potamogeton gramineus	Potamogeton gramineum	Potamogeton gramineus	Potamogeton berchtoldii Fieber
Potamogeton lucens	Potamogeton lucens	Potamogeton lucens	Potamogeton compressus L.
Potamogeton natans	Potamogeton natans	Potamogeton natans	Potamogeton crispus L.
–	–	–	Potamogeton friesii Rupr.
–	–	–	Potamogeton gramineus L.
Potamogeton perfoliatus	Potamogeton perfoliatum	Potamogeton perfoliatus	Potamogeton lucens L.
–	–	–	Potamogeton natans L.
Potamogeton pusillus	–	Potamogeton pusillus	Potamogeton nodosus Poir.
–	–	–	Potamogeton obtusifolius Mert. et W. D. J. Koch
–	–	–	Potamogeton perfoliatus L.
–	–	–	Potamogeton praelongus Wulfen
–	–	–	Potamogeton pusillus L.
–	–	–	Potamogeton rutifolius Wulfen
–	–	–	Potamogeton trichoides Cham. et Schtdl.
–	–	–	Род Штуkenя – <i>Stuckenia Börner</i>
–	–	–	Stuckenia filiformis (Pers.) Börner
–	–	Potamogeton pectinatus Potamogeton marinus	Stuckenia pectinata (L.) Börner

J. E. Gilbert, 1761–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundziliū, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
Zannichellia geniculata	–	Zannichellia palustris	Род Цанкеллия – Zannichellia L.
Iris lutea	Iris Pseud-Acorus	Iris Pseud-Acorus	Иris pseudacorus L. Порядок Мятликоцветные – Poales Семейство Рогозовые – Typhaceae Juss. (incl. Sparganiaceae Hanin) Род Ежеголовник – Sparganium L.
–	Sparganium simplex	Sparganium simplex	Sparganium emersum Rehman
Sparganium erectum	Sparganium ramosum	Sparganium ramosum	Sparganium erectum L.
–	–	Sparganium gramineum	Sparganium gramineum Georgi
–	–	–	Sparganium microcarpum (Neum.) Čelak.
Sparganium natans	Sparganium natans	Sparganium natans	Sparganium natans L. Род Рогоз – Typha L.
Typha angustifolia	Typha angustifolia	Typha angustifolia	Typha angustifolia L.
Typha latifolia	Typha latifolia	Typha latifolia	Typha latifolia L.
–	–	Typha stenophylla	Typha laxmannii Lepech.
–	–	–	Typha shuttleworthii W.D.J.Koch et Sond.
–	–	–	Семейство Ситниковые – Juncaceae Juss. Род Ситник – Juncus L.
Juncus articulatus	Juncus aquaticus	Juncus articulatus	Juncus articulatus L.
Juncus divaricatus	Juncus bufonius	Juncus bufonius	Juncus bufonius L.
Juncus bulbosus	Juncus bulbosus	–	Juncus bulbosus L.
Juncus bulbosus	Juncus bulbosus	Juncus compressus	Juncus compressus Jacq.
Juncus conglomeratus	Juncus conglomeratus	Juncus conglomeratus	Juncus conglomeratus L.
Juncus effusus	Juncus effusus	Juncus communis	Juncus effusus L.
–	Juncus inflexus	–	Juncus inflexus L.
–	–	–	Juncus ranarius Songeon et E.P. Perrier
–	–	–	Семейство Сытевые – Cyperaceae Juss. Род Клубнекамыш – Bolboschoenus (Asch.) Palla
–	–	–	Bolboschoenus planiculmis (F.W. Schmidt) T.V. Egorova
–	–	–	Bolboschoenus yagara (Ohwi) Y. C. Yang et M. Zhan

Продолжение табл.

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundzili, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
			Род Осока – Carex L.
Carex striata	Carex acuta	Carex acuta	Carex acuta L.
–	–	–	Carex acutiformis Ehrh.
–	–	Carex aquatilis	<i>Carex aquatilis</i> Wahlenb.
–	–	–	Carex nigra (L.) Reichard
–	–	–	<i>Carex omskiana</i> Meinsh. (<i>Carex elata</i> All. ssp. omskiana (Meinsh.) Jalas)
Carex reversa	–	Carex pseudocyperus	Carex pseudocyperus L.
–	–	Carex riparia	Carex riparia Curtis
–	–	–	Carex rostrata Stokes
Carex vesicaria	–	Carex vesicaria	Carex vesicaria L.
			Род Меч-трава – Cladium P. Browne
Mariscus serratus	Schoenus Mariscus L.	Cladium mariscus	<i>Cladium mariscus</i> (L.) Pohl
–	–	Cyperus fuscus	Род Сыть – Cyperus L.
			Род Болотница, или Ситняг – Eleocharis R. Br.
Scirpus acicularis	Scirpus acicularis	Eleocharis acicularis	Eleocharis acicularis (L.) Roem. et Schult.
–	–	–	Eleocharis mamillata (H. Lindb.) H. Lindb.
Scirpus capitatus	Scirpus ovatus	Eleocharis ovata	Eleocharis ovata (Roth) Roem. et Schult.
Scirpus ovatus	Scirpus palustris	Eleocharis palustris	Eleocharis palustris (L.) Roem. et Schult.
–	–	Eleocharis uniglumis	<i>Eleocharis uniglumis</i> (Link) Schult.
			Род Схеноплект – Schoenoplectus (Rchb.) Palla
Scirpus altissimus	Scirpus lacustris	Scirpus lacustris	Schoenoplectus lacustris (L.) Palla
–	–	Schoenoplectus Tabernaemontani	<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C.C. Gmel.) Palla
			Род Камыш – Scirpus L.
–	–	Scirpus radicans	<i>Scirpus radicans</i> Schkuhr
Scirpus latifolius	Scirpus sylvaticus	Scirpus sylvaticus	Scirpus sylvaticus L.
			Семейство Мятликовые (Злаки) – Poaceae Barnhart (Gramineae Juss.)
			Род Полевица – Agrostis L.
Agrostis violaceo-purpurea	Agrostis canina	Agrostis canina	Agrostis canina L.
–	–	Agrostis alba	Agrostis gigantea Roth (<i>Agrostis alba</i> auct. non L., p.p.)
Agrostis stolonifera	Agrostis stolonifera	Agrostis alba	Agrostis stolonifera L.

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundziik, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
–	–	–	Род Лисохвост – <i>Alopecurus L.</i>
<i>Alopecurus geniculatus</i>	–	<i>Alopecurus fulvus</i>	<i>Alopecurus aequalis Sobol.</i>
–	<i>Alopecurus geniculatus</i>	<i>Alopecurus geniculatus</i>	<i>Alopecurus geniculatus L.</i>
<i>Aira violacea</i>	<i>Aira aquatica</i>	<i>Catabrosa aquatica</i>	Род Поручейница – <i>Catabrosa P. Beauv.</i>
–	–	–	Род Манник – <i>Glyceria R. Br.</i>
<i>Festuca fluitans</i>	<i>Festuca fluitans</i>	<i>Glyceria fluitans</i>	<i>Glyceria fluitans (L.) R. Br.</i>
<i>Poa altissima</i>	<i>Poa aquatica</i>	<i>Glyceria aquatica</i>	<i>Glyceria maxima (Hartm.) Holmb.</i>
–	–	–	<i>Glyceria notata Chevall.</i>
–	–	<i>Leersia oryzoides</i>	Род Леерсия – <i>Leersia Sw.</i>
<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Digraphis arundinacea</i>	Род Двукисточник – <i>Phalaroides Wolf</i>
–	<i>Arundo Phragmites</i>	<i>Arundo Phragmites</i>	<i>Phalaroides arundinacea (L.) Rausch. (Phalaris arundinacea L.)</i>
–	–	–	Род Тростник – <i>Phragmites Adans.</i>
<i>Poa triflora</i>	–	<i>Poa serotina</i>	<i>Phragmites australis (Cav.) Steud.</i>
–	–	–	<i>Phragmites altissimus (Benth.) Mabilie</i>
–	–	–	Род Мятлик – <i>Poa L.</i>
–	–	<i>Scolochloa festucacea</i>	<i>Poa palustris L.</i>
–	–	–	Род Тростянка – <i>Scolochloa Link</i>
–	–	–	<i>Scolochloa festucacea (Willd.) Link</i>
–	–	–	Род Цицания – <i>Zizania L.</i>
–	–	–	<i>Zizania latifolia (Griseb.) Stapf.</i>
–	–	–	<i>Zizania palustris L. (Zizania aquatica auct. non L.)</i>
–	–	–	Рядок Роголистниковые – <i>Ceratophyllales</i> Семейство Роголистниковые – <i>Ceratophyllaceae Gray</i> Род Роголистник – <i>Ceratophyllum L.</i>
<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>C. apiculatum</i>	<i>Ceratophyllum demersum L.</i>
–	–	–	<i>Ceratophyllum submersum L.</i>

Продолжение табл.

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundzili, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг., Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область	Порядок Лютикоцветные – Ranunculales Семейство Лютиковые – Ranunculaceae Juss. Род Лютик – Ranunculus L.
Ranunculus diversifolius	Ranunculus heterophyllus	Ranunculus aquatilis	Ranunculus aquatilis L.	
–	–	–	Ranunculus circinatus Sibth.	
Ranunculus declinatus	Ranunculus flammula	Ranunculus flammula	Ranunculus flammula L.	
R. peucedanifolius	R. fluvialis	R. fluitans	Ranunculus fluitans Lam.	
–	–	–	Ranunculus kauffmannii Clerc.	
Ranunculus lingua	Ranunculus lingua	Ranunculus lingua	Ranunculus lingua L.	
–	–	–	Ranunculus pseudo-fluitans (Syme) Newbould ex Baker et Foggitt	
Ranunculus repens	Ranunculus repens	Ranunculus repens	Ranunculus repens L.	
Ranunculus reptans	Ranunculus reptans	Ranunculus reptans	Ranunculus reptans L.	
Ranunculus digitatus	Ranunculus sceleratus	Ranunculus sceleratus	Ranunculus sceleratus L.	
Ranunculus foeniculaceus	–	Ranunculus divaricatus	Ranunculus trichophyllus Chaix in Vill.	
–	–	–	Род Капужница – Caltha L.	
Caltha glabra	Caltha palustris	Caltha palustris	Caltha palustris L.	
–	–	–	Род Васелистик – Thalictrum L.	
Thalictrum angustifolium	Thalictrum angustifolium	Thalictrum angustifolium	Thalictrum lucidum L.	
–	–	–	Порядок Камнеломкоцветные – Saxifragales Семейство Сланягодниковые – Haloragaceae R.Br. Род Уруть – Myriophyllum L.	
–	–	–	Myriophyllum sibiricum Kom.	
–	Myriophyllum spicatum	Myriophyllum spicatum	Myriophyllum spicatum L.	
–	Myriophyllum verticillatum	Myriophyllum verticillatum	Myriophyllum verticillatum L.	
–	–	–	Порядок Розоцветные – Rosales Семейство Розовые – Rosaceae Juss.	
Comarum rubrum	Comarum palustre	Comarum palustre	Род Сабельник – Comarum L.	
–	–	–	Comarum palustre L.	
Ulmaria pentapetala	Spiraea Ulmaria	Spiraea Ulmaria	Род Лабазник, или таволга – Filipendula Mill. Filipendula ulmaria (L.) Maxim.	

J. E. Gilbert, 1761–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundzili, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
<i>Geum nutans</i>	<i>Geum rivale</i>	<i>Geum rivale</i>	Род Гравилат – <i>Geum</i> L.
<i>Potentilla argentina</i>	<i>Potentilla Anserina</i>	<i>Potentilla Anserina</i>	Род Лапчатка – <i>Potentilla</i> L. <i>Potentilla anserina</i> L. (<i>Argentina anserina</i> (L.) Rydb.) Семейство Крапивовые – <i>Urticaceae</i> Juss. Род Крапива – <i>Urtica</i> L.
<i>Urtica dioica</i>	<i>Urtica dioica</i>	<i>Urtica dioica</i>	<i>Urtica dioica</i> L. <i>? Urtica kioviensis</i> Rogow.
–	–	–	Порядок Миртоцветные – <i>Murtales</i> Семейство Дербенниковые – <i>Lythraceae</i> J. St.-Hil. (incl. <i>Punicaceae</i> Nolan., <i>Trarpaceae</i> Dumort.) Род Дербенник – <i>Lythrum</i> L.
<i>Lythrum Salicis folio</i>	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Lythrum salicaria</i> L.
<i>Trapa natans</i>	<i>Trapa natans</i>	<i>Trapa natans</i>	Род Водяной орех – <i>Trapa</i> L. <i>Trapa natans</i> L.
–	–	–	Семейство Ослинниковые – <i>Onagraceae</i> Juss. Род Кипрей – <i>Epilobium</i> L.
<i>Epilobium hirsutum</i>	<i>Epilobium hirsutum</i>	<i>Epilobium hirsutum</i>	<i>Epilobium hirsutum</i> L.
<i>Epilobium tomentosum</i>	<i>Epilobium palustre</i>	<i>Epilobium palustre</i>	<i>Epilobium palustre</i> L.
<i>Epilobium hirsutum parvo flore</i>	–	<i>Epilobium parviflorum</i>	<i>Epilobium parviflorum</i> Schreb.
–	–	–	<i>Epilobium pseudorubescens</i> A. K. Skvortsov
<i>Epilobium roseum</i>	<i>Epilobium roseum</i>	<i>Epilobium roseum</i>	<i>Epilobium roseum</i> Schreb.
–	–	–	Порядок Brassикоцветные – <i>Brassicales</i> (Resedales, Saprales) Семейство Капустовые (Крестоцветные) – <i>Brassicaceae</i> Burnett (Cruciferae) Род Сердечник – <i>Cardamine</i> L.
<i>Cardamine amara</i>	<i>Cardamine amara</i>	<i>Cardamine amara</i>	<i>Cardamine amara</i> L.
–	–	<i>Cardamine dentata</i>	<i>Cardamine dentata</i> Schult.
<i>Cardamine integrifolia</i>	<i>Cardamine pratensis</i>	<i>Cardamine pratensis</i>	<i>Cardamine pratensis</i> L.
–	–	–	Род Жерушник – <i>Rorippa</i> Scop.
<i>Sisymbrium integrifolium</i>	<i>Sisymbrium amphibium</i>	<i>Cochlearia amphibia</i>	<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Besser
<i>Sisymbrium Nasturtii folio</i>	<i>Sisymbrium sylvestre</i>	<i>Nasturtium sylvestre</i>	<i>Rorippa sylvestris</i> (L.) Besser
<i>Sisymbrium capillaceum</i>	–	<i>Nasturtium palustre</i>	<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser

Продолжение табл.

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundzili, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область	Порядок Гвоздикоцветные – Сагуорхуляales Семейство Гречишные, или Спорышевые – Polygonaceae Juss. Род Горец – Persicaria Mill.
Polygonum bistorta	Polygonum bistorta	Polygonum bistorta	Polygonum bistorta	<i>Persicaria bistorta</i> (L.) Samp. (<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre, <i>Bistorta major</i> Gray, <i>Polygonum bistorta</i> L.)
Polygonum purpureum	Polygonum amphibium	Polygonum amphibium	Polygonum amphibium	<i>Persicaria amphibia</i> (L.) Delarbre
Persicaria acris	Polygonum hydropper	Polygonum hydropper	Polygonum hydropper	<i>Persicaria hydropper</i> (L.) Delarbre
–	–	Polygonum lapathifolium	–	<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Gray
–	–	–	–	<i>Persicaria maculosa</i> Gray
–	–	Polygonum minus	Polygonum minus	<i>Persicaria minor</i> (Huds.) Opiz
Lapathum maximum	Rumex aquaticus	Rumex aquaticus	Rumex aquaticus L.	Род Щавель – Rumex L.
–	Rumex hydrolapathum	Rumex hydrolapathum	Rumex hydrolapathum	<i>Rumex hydrolapathum</i> Huds.
–	Rumex maritimus	Rumex maritimus	Rumex maritimus	<i>Rumex maritimus</i> L.
–	–	–	–	Семейство Росянковые – Droseraceae Salisb. Род Альдрованда – Aldrovanda L.
–	–	Aldrovanda vesiculosa	Aldrovanda vesiculosa	<i>Aldrovanda vesiculosa</i> L.
–	–	–	–	Семейство Гвоздиковые, или Гвоздичные – Caryophyllaceae Juss. Род Звездчатка – Stellaria L.
Cerastium maximum	Cerastium aquaticum	Malachium aquaticum	Malachium aquaticum	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. (<i>Myosoton aquaticum</i> (L.) Moench)
–	–	Stellaria crassifolia	Stellaria crassifolia	<i>Stellaria crassifolia</i> Ehrh.
Stellaria grandiflora	Stellaria palustris	Stellaria glauca	Stellaria palustris	<i>Stellaria palustris</i> Hoffm.
–	–	–	–	Порядок Эрикоцветные – Ericales Семейство Недотроговые – Balsaminaceae A. Rich. Род Недотрога – Impatiens L.
Impatiens cucullata	Impatiens noli tangere	Impatiens noli tangere	Impatiens noli tangere	<i>Impatiens noli-tangere</i> L.
–	–	–	–	Семейство Первоцветовые – Primulaceae Batsch. ex Borkh.
Hottonia millefolium	Hottonia palustris	Hottonia palustris	Hottonia palustris	Род Турча – Hottonia L. <i>Hottonia palustris</i> L.

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundziliū, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
<i>Lysimachia thyrsoflora</i>	<i>Lysimachia thyrsoflora</i>	<i>Naumburgia thyrsoflora</i>	Род Вервейник – <i>Lysimachia</i> L.
<i>Lysimachia paniculata</i>	<i>Lysimachia vulgaris</i>	<i>Lysimachia vulgaris</i>	<i>Lysimachia thyrsoflora</i> L. (<i>Naumburgia thyrsoflora</i> (L.) Rchb.) <i>Lysimachia vulgaris</i> L.
<i>Galium diffusum</i>	<i>Galium palustre</i>	<i>Galium palustre</i>	Порядок Горчавкоцветные – Gentianales Семейство Мареновые – Rubiaceae Juss.
–	–	<i>Asperula aparine</i>	Род Подмаренник – <i>Galium</i> L.
–	–	<i>Galium trifidum</i>	<i>Galium palustre</i> L.
<i>Galium grandiflorum</i>	<i>Galium uliginosum</i>	<i>Galium uliginosum</i>	<i>Galium rivale</i> (Sibth. et Smith) Griseb. <i>Galium trifidum</i> L. <i>Galium uliginosum</i> L.
–	–	–	Порядок Бурачниковые – Boraginales Семейство Бурачниковые – Boraginaceae Juss.
<i>Scorpioides glaber</i>	<i>Myosotis scorpioides</i>	<i>Myosotis caespitosa</i>	Род Незабудка – <i>Myosotis</i> L.
<i>Consolida major</i>	<i>Symphytum officinale</i>	<i>Myosotis palustris</i>	<i>Myosotis laxa</i> Lehm. (<i>Myosotis caespitosa</i> K.F. Schultz) <i>Myosotis scorpioides</i> L. (<i>Myosotis palustris</i> (L.) Nath., <i>Myosotis palustris</i> Lam.)
–	–	–	Род Окопник – <i>Symphytum</i> L.
<i>Dulcamara lignosa</i>	<i>Solanum dulcamara</i>	<i>Solanum dulcamara</i>	Порядок Пасленовые – Solanales Семейство Пасленовые – Solanaceae Juss. Род Паслен – <i>Solanum</i> L.
–	–	<i>Callitriche platycarpa</i>	Порядок Губоцветные – Lamiales Семейство Подорожниковые – Plantaginaceae Juss. (incl. Veronicaceae Durande, Callitricheae Link, Hippuridaceae Link, Globulariaceae DC., Gratiolaceae Martynov)
–	–	<i>Callitriche hamulata</i>	Род Болотник, или Водяная звездочка – <i>Callitriche</i> L.
<i>Callitriche angustifolia</i>	<i>Callitriche autumnalis</i>	<i>Callitriche autumnalis</i>	<i>Callitriche sophocarpa</i> Sendtn.
<i>Callitriche latifolia</i>	<i>Callitriche verna</i>	<i>Callitriche hamulata</i> , <i>C. vernalis</i>	<i>Callitriche hamulata</i> W.D.J. Koch <i>Callitriche hermaphroditica</i> L. <i>Callitriche palustris</i> L.
–	–	–	Род Авран – <i>Gratiola</i> L.
<i>Gratiola angustifolia</i>	<i>Gratiola officinalis</i>	<i>Gratiola officinalis</i>	Род Хвостник – <i>Hippuris</i> L.
<i>Hippuris verticillata</i>	<i>Hippuris vulgaris</i>	<i>Hippuris vulgaris</i>	<i>Hippuris vulgaris</i> L.

Продолжение табл.

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundzili, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Russia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
<i>Veronica longifolia repens</i>	<i>Veronica anagallis</i>	<i>Veronica anagallis</i>	Род Вероника – <i>Veronica</i> L.
<i>Veronica rotundifolia erecta</i>	<i>Veronica beccabunga</i>	<i>Veronica beccabunga</i>	<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L.
<i>Veronica verticillata</i>	<i>Veronica longifolia</i>	<i>Veronica longifolia</i>	<i>Veronica beccabunga</i> L.
<i>Veronica scutellata</i>	<i>Veronica scutellata</i>	<i>Veronica scutellata</i>	<i>Veronica longifolia</i> auct. non L. (<i>Pseudolysimachion maritimum</i> (L.) A. Löve et D. Löve.)
			<i>Veronica scutellata</i> L.
			Семейство Норичниковые – Scrophulariaceae Juss.
			Род Лужница – <i>Limosella</i> L. (иногда относят к Plantaginaceae)
<i>Limosella plantaginifolia</i>	<i>Limosella aquatica</i>	<i>Limosella aquatica</i>	<i>Limosella aquatica</i> L.
			Род Норичник – <i>Scrophularia</i> L.
<i>Scrophularia alata</i>	<i>Scrophularia aquatica</i>	<i>Scrophularia aquatica</i>	<i>Scrophularia umbrosa</i> Dumort.
			Семейство Пузырчатковые – Lentibulariaceae Rich.
			Род Пузырчатка – <i>Utricularia</i> L.
–	–	<i>Utricularia intermedia</i>	<i>Utricularia intermedia</i> Hayne
–	–	<i>Utricularia minor</i>	<i>Utricularia minor</i> L.
<i>Lentibularia major</i>	<i>Utricularia vulgaris</i>	<i>Utricularia vulgaris</i>	<i>Utricularia vulgaris</i> L.
			Семейство Яснотковые (Губоцветные) – Lamiales Martinov (Labiatae Juss.)
			Род Зюзник – <i>Lycopus</i> L.
<i>Lycopus albo-roseus</i>	<i>Lycopus vulgaris</i>	<i>Lycopus europaeus</i>	<i>Lycopus europaeus</i> L.
			Род Мята – <i>Mentha</i> L.
<i>Mentha capitata</i>	<i>Mentha aquatica</i>	<i>Mentha aquatica</i>	<i>Mentha aquatica</i> L.
<i>Mentha verticillata</i>	<i>Mentha arvensis</i>	<i>Mentha arvensis</i>	<i>Mentha arvensis</i> L.
–	–	–	<i>Mentha longifolia</i> (L.) L.
			Род Шлемник – <i>Scutellaria</i> L.
<i>Cassida major</i>	<i>Scutellaria galericulata</i>	<i>Scutellaria galericulata</i>	<i>Scutellaria galericulata</i> L.
			Род Чистец – <i>Stachys</i> L.
<i>Stachys angustifolia</i>	<i>Stachys palustris</i>	<i>Stachys palustris</i>	<i>Stachys palustris</i> L.
			Семейство Фримовые – Phrymaceae Schauer
–	–	–	<i>Erythranthe guttata</i> (DC.) G.L. Nesom (<i>Mimulus guttatus</i> DC.)
			Семейство Заразиховые – Orobanchaceae Vent.
			Род Мытник – <i>Pedicularis</i> L.
<i>Pedicularis palustris</i>	<i>Pedicularis palustris</i>	<i>Pedicularis palustris</i>	<i>Pedicularis palustris</i> L.

J. E. Gilbert, 1761–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundziik, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
			Порядок Астроцветные – Asterales Семейство Вахтовые – Menyanthaceae Dumort.
Menyanthes trifoliata	Menyanthes trifoliata	Menyanthes trifoliata	Род Вахта – Menyanthes L.
–	–	–	Menyanthes trifoliata L.
–	–	–	Род Болотнотцветник – Nymphoides Ség.
			Семейство Астровые (Сложноцветные) – Asteraceae Bercht. et J. Presl (Compositae Giseke)
–	–	–	Род Тысячелистник – Achillea L. (Ptarmica Mill.)
			Аchillea cartilaginea Rchb. (Ptarmica cartilaginea (Rchb.) Ledeb., Ptarmica salicifolia (Besser) Serg. ssp. cartilaginea (Rchb.) Tzvelev)
			Род Череда – Bidens L.
Bidens cernua	Bidens cernua	Bidens cernua	Bidens cernuus L.
–	–	–	Bidens connatus Willd.
–	–	–	Bidens frondosus L.
Bidens tripartita	Bidens tripartita	Bidens tripartita	Bidens tripartita L.
			Род Бодяк – Cirsium Mill.
Cnicus bracteatus	Carduus oleraceus	Cirsium oleraceum	Cirsium oleraceum (L.) Scop.
Eupatorium Cannabis folio	Eupatorium cannabinum	Eupatorium cannabinum	Род Посконник – Eupatorium L.
			Eupatorium cannabinum L.
Inula serrata	Inula Britannica	Inula Britannica	Род Десясил – Inula L.
			Inula britannica L.
Solidago serratifolia	Senecio paludosus	Senecio paludosus	Род Желтоцвет – Jacobaea Mill.
			Jacobaea paludosa (L.) P. Gaertn. (Senecio paludosus L.)
			Порядок Сельдерейные – Apiales Семейство Сельдереевые (Зонтичные) – Apiaceae Lindl. (Umbelliferae Juss.)
			Род Дягиль – Archangelica N. M. Wolf
Angelica major	Angelica Archangelica	Archangelica officinalis	Archangelica officinalis Hoffm. (Angelica archangelica L.)
			Род Берула – Berula Besser ex W.D.J. Koch
Sium angustifolium	Sium angustifolium	Berula angustifolia	Berula erecta (Huds.) Coville
			Род Вех, или Цикута – Cicuta L.
Cicuta cellulosa	Cicuta virosa	Cicuta virosa	Cicuta virosa L.
Phellandrium divaricatum	Phellandrium aquaticum	Oenanthe phellandrium	Род Омежник – Oenanthe L.
			Oenanthe aquatica (L.) Poir.

Окончание табл.

J. E. Gilbert, 1781–1782 гг., Lithuania	S. B. Jundzili, 1811 г., Lithuania	C. F. Ledebour, 1842–1853 гг. Rossia media, Lithuania	2000–2017 гг., Минская область
<i>Sium latifolium</i>	<i>Sium latifolium</i>	<i>Sium latifolium</i>	Род Поручейник – <i>Sium</i> L.
<i>Selinum lactescens</i>	<i>Selinum palustre</i>	<i>Peucedanum palustre</i>	Род Гирчовница – <i>Thyselium</i> Raf.
Гибриды (2000–2017 гг., Минская область)			
<p><i>Nymphaea X mariflasea</i> Lat.-Marl. (<i>Nymphaea alba</i> L. X <i>Nymphaea mexicana</i> Zucc. X <i>Nymphaea odorata</i> Aiton)</p> <p><i>Nymphaea X borealis</i> E. Camus (<i>Nymphaea alba</i> L. X <i>Nymphaea candida</i> J. Presl et C. Presl)</p> <p><i>Potamogeton X schreberi</i> G. Fisch. (<i>Potamogeton natans</i> L. X <i>Potamogeton nodosus</i> Poir.)</p> <p><i>Potamogeton X angustifolius</i> J. Presl (<i>Potamogeton gramineus</i> L. X <i>Potamogeton lucens</i> L.)</p> <p><i>Potamogeton X belorussicus</i> D. Dubovik nothosp. nov. (<i>Potamogeton friesii</i> Rupr. X <i>Potamogeton compressus</i> L.)</p> <p><i>Potamogeton X canfnis</i> Hagstr. (<i>Potamogeton friesii</i> Rupr. X <i>Potamogeton pusillus</i> L.)</p> <p><i>Potamogeton X fluitans</i> Roth (<i>Potamogeton X sterilis</i> Hagstr., <i>Potamogeton lucens</i> L. X <i>Potamogeton natans</i> L.)</p> <p><i>Potamogeton X salicifolius</i> Wolffg. (<i>Potamogeton lucens</i> L. X <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.)</p> <p><i>Potamogeton X semifructus</i> A. Bennet ex Asch. et Graebn. (<i>Potamogeton friesii</i> Rupr. X <i>Potamogeton obtusifolius</i> Mert. et W.D.J. Koch)</p> <p><i>Stuckenia X suecica</i> (K. Richt.) Holub (<i>Stuckenia pectinata</i> (L.) Börner X <i>Stuckenia filiformis</i> (Pers.) Börner)</p> <p><i>Stuckenia X fennica</i> (Hagstr.) Holub (<i>Stuckenia vaginata</i> (Turcz.) J. Holub X <i>Stuckenia filiformis</i> (Pers.) Börner)</p> <p><i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla X <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C. C. Gmel.) Palla</p> <p><i>Typha X soligorskensis</i> D. Dubovik nothosp. nov. (<i>Typha angustifolia</i> L. X <i>Typha laxmanii</i> Lepechin)</p> <p><i>Typha X glauca</i> Gord. (<i>Typha angustifolia</i> L. X <i>Typha latifolia</i> L.)</p> <p><i>Sparganium neglectum</i> Beeby (<i>Sparganium erectum</i> L. ssp. neglectum (Beeby) K. Richt., <i>Sparganium microcarpum</i> (Neuman) Celak.)</p> <p><i>Sparganium X aschersonianum</i> Hausskn. (<i>Sparganium emersum</i> Rehman X <i>Sparganium erectum</i> L.)</p> <p><i>Mentha X verticillata</i> L. (<i>Mentha arvensis</i> L. X <i>Mentha aquatica</i> L.)</p>			

П р и м е ч а н и е.

1. Жирным шрифтом выделены названия видов, произрастание которых в МО подтверждено гербарными сборами автора статьи.
2. Номенклатура соответствует работам [56; 57; 70; 76; 95].
3. В четвертом столбце приведен видовой состав флоры водных объектов МО, представленной видами водной флоры (совокупность видов истинно водных, земноводных и прибрежно-водных растений) (выделены курсивом) и заходящими в воду растениями (обозначены прямым начертанием) [30; 38]. При этом к водной флоре отнесены виды, занимающие ступени 110–120 («местообитания водной растительности») и 104–109 («местообитания прибрежно-водной растительности») по шкале Л. Г. Раменского [58; 61]. В спорных случаях для разграничения видов, находящихся на границе градаций 104–109 и 94–103, применялся следующий алгоритм. Вид считали принадлежащим к водной флоре, если 1) во всех трех частях лесной зоны для него указан балл 104 и выше; 2) хотя бы в одной части лесной зоны он имеет балл 104 (для других частей данные отсутствуют) и не менее 9 баллов по шкале Г. Элленберга; 3) хотя бы в одной части лесной зоны он имеет балл 105 или выше и не менее 9 баллов по шкале Г. Элленберга; 4) для вида указаны баллы 103 или 103 хотя бы в одной части лесной зоны, а также 9 баллов по шкале Г. Элленберга и описаны прибрежно-водные сообщества с его доминированием; 5) вид может принимать как водную, так и наземную форму (количество баллов по шкалам не учитывается); 6) баллы по шкале Л. Г. Раменского для вида неизвестны, а по шкале Г. Элленберга ему соответствует балл не ниже 9.
4. К категории заходящих в воду береговых растений отнесены виды из числа занимающих ступени 94–103 (болотные местообитания), которые с высокой частотой встречаются в прибрежной зоне водных объектов МО и входили в состав фитоценозов гелофитов и гигрофитов. В данную группу виды включались, согласно следующим критериям: 1) во всех трех частях лесной зоны для вида указан балл 94 и выше; 2) виду присвоен балл 94 или выше для одной-двух частей лесной зоны и 7 либо 8 баллов по шкале Г. Элленберга.
5. Порядки и семейства даны в соответствии с системой Angiosperm Phylogeny Group, 2016 (APG IV) [64; 66].

Заключение

Таким образом, водная флора МО никогда не становилась объектом целенаправленного и системного изучения. Вся история ее исследования неразрывно связана и часто неотделима от изучения либо водной флоры Беларуси, либо всей флоры МО и ее отдельных районов. Кроме того, обследован был лишь малый процент водных объектов этой местности. Многие полученные с конца XVIII века и до настоящего времени сведения о растениях водных объектов этой территории недостаточно конкретные, выборочные, отрывочные. Обобщение имеющихся данных (включая результаты недавних флористических учетов, отраженные в скорректированном видовом списке – таблица) может быть достигнуто путем таксономического, экологического, экобиоморфологического, географического, соэкологического анализов региональной водной флоры.

Синтаксономические исследования растительности водоемов МО никогда не проводились. Предложенный И.М. Степановичем перечень высших синтаксонов в системе Браун–Бланке является предварительным [51] и требует документального подтверждения в виде геоботанических описаний и синоптических таблиц. Исключение составляют прибрежно-водные ценозы в долинах рек Свислочь, Цна, Мышка, Тростянка, Лошица, Слепянка, водохранилищ Чижовское, Комсомольское озеро, Цна, Дрозды, Лошица, описанные Е.Я. Куликовой в ходе эколого-флористической классификации травянистой растительности г. Минска в 2004–2011 гг. [29]. Но предложенная автором синтаксономическая схема, включающая 21 ассоциацию из класса *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novák 1941, пока не может быть окончательно принятой, поскольку построена только на однородном материале описаний фитоценозов ограниченной урбанизированной территории. Синтаксономическая принадлежность встреченных прибрежно-водных сообществ может измениться при анализе большего числа описаний и увеличении района исследования.

Кроме того, в настоящее время отсутствуют флористические, синтаксономические и синэкологические сведения о растительном покрове мелиоративных каналов, большинства малых рек, копаней, речных прудов, формирующих значимую долю водных ресурсов региона. В целом инвентаризация водных растений МО далеко не полная и должна быть продолжена, а водная и прибрежно-водная растительность, сформированная в пределах широкого спектра природных условий и уровней антропогенных воздействий, является перспективным модельным объектом для разработки эколого-флористической классификации этой категории растительности Беларуси.

Список использованных источников

1. Автушко, С.А. Многолетняя динамика зарастания озера Палик высшей водной растительностью / С.А. Автушко, Е.Н. Ивкович // Экологическая культура и охрана окружающей среды: II Дорофеевские чтения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 29–30 ноября 2016 г. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2016. – С. 81–82.
2. Акимова, О.Д. К флоре озер Белоруссии / О. Д. Акимова // Ученые записки хим. биол. фак-та БГУ. – 1936. – Вып. 28. – С. 129–175.
3. Биологическое разнообразие Белорусского Поозерья / Л.М. Мерзвинский [и др.]; под ред. Л.М. Мерзвинского. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2011. – 413 с.
4. Биологическое разнообразие Национального парка «Нарочанский»: сосудистые растения / Д.В. Дубовик [и др.]; под ред. В.И. Парфенова. – Борисов: Борисов. укрупн. тип. им. 1 Мая, 2014. – 256 с.
5. Биоразнообразие Березинского биосферного заповедника: сосудистые растения; под ред. В.И. Парфенова [и др.]. – Минск: Белорус. Дом печати, 2014. – 278 с.
6. Бурдыко, П.И. Некоторые особенности взаимосвязи гидрофитов и грунтов в озере Нарочь / П.И. Бурдыко, Л.В. Марьяна // Тез. докл. I науч.-практ. конф. по использ. и охране вод. ресурсов Белорус. Поозерья. – Витебск, 1969. – С. 15–18.
7. Власов, Б.П. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды: метод. рекомендации / Б.П. Власов, Г.С. Гигевич. – Минск: БГУ, 2002. – 84 с.
8. Власов, Б.П. Мониторинг высшей водной растительности Беларуси / Б.П. Власов, Г.С. Гигевич // Мониторинг и оценка состояния растительного покрова: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–31 октября 2003 г. – Минск: Право и экономика, 2003. – С. 7–8.
9. Власов, Б.П. Концепция и методика мониторинга водной растительности / Б.П. Власов, Г.С. Гигевич, Н.Д. Грищенко // Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь; под ред. А.В. Пугачевского. – Минск: Право и экономика, 2011. – С. 28–39.
10. Гацко, Р.Н. Водная расліннасць Полацкай акругі. З прац экспедыцыі Навук. Краязн. Т-ва Б.Д. У. (Матар'ял з экспедыцыі ў Полаччыну ўлетку 1928 г.) / Р.Н. Гацко // Наш край. – 1929. – Т. 51, № 12. – С. 45–54.

11. Гигевич, Г.С. Особенности зарастания оз. Нарочь в условиях интенсивной рекреации / Г.С. Гигевич, О.В. Серафимович // Влияние хозяйственной деятельности на природу Белоруссии; под ред. О.Ф. Якушко и В.С. Аношко. – Минск, 1981. – С. 34–41.
12. Гигевич, Г.С. Макрофиты / Г.С. Гигевич // Экологическая система Нарочанских озер; под ред. Г.Г. Винберга. – Минск, 1985. – С. 116–123.
13. Гигевич, Г.С. Функциональная роль макрофитов в экосистеме озера Нарочь / Г.С. Гигевич // Гидробиотика 2000: тез. докл. V Всерос. конф. по водным растениям, Борок, 10–13 окт. 2000 г. – Борок : Ин-т биол. внутр. вод РАН, 2000. – С. 122–123.
14. Гигевич, Г.С. Высшие водные растения Беларуси. Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана / Г.С. Гигевич, Б.П. Власов, Г.В. Вынаев. – Минск: БГУ, 2001. – 231 с.
15. Гигевич, Г.С. Рекомендации по охране и рациональному использованию высших водных растений. Рекомендации 0212.4-99 / Г.С. Гигевич, Б.П. Власов, Г.В. Вынаев // Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: БелНИЦ экологии, 2001. – Вып. 31. – С. 18–78.
16. Джус, М.А. Флора и микобиота Воложинского района Минской области [Электронный ресурс] / М.А. Джус, И.С. Гирилович. – Минск: БГУ, 2014. – 473 с. 1 электрон. опт. диск.
17. Дубовик, Д.В. Новые местонахождения некоторых редких и охраняемых видов сосудистых растений для флоры Беларуси / Д.В. Дубовик, А.Н. Скуратович, Д.И. Третьяков // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2012. – Вып. 41. – С. 3–20.
18. Дубовик, Д.В. Новые местонахождения редких и охраняемых видов сосудистых растений флоры Беларуси / Д.В. Дубовик [и др.] // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск: Институт радиологии, 2015. – Вып. 44. – С. 14–28.
19. Захаренкова, Г.Ф. Водная растительность озер Нарочанской группы и ее продуктивность / Г.Ф. Захаренкова // Тр. V науч. конф. по изуч. внутр. водоемов Прибалтики. – Минск, 1959. – С. 14–18.
20. Захаренкова, Г.Ф. Характеристика химического состава, продукции макрофитов Нарочанских озер / Г.Ф. Захаренкова // Первичная продукция морей и внутренних вод; под ред. проф. Г.Г. Винберга. – Минск, 1961. – С. 112–115.
21. Зеленцов, А.О. Очерк климата и флоры Виленской губернии // Ботанические записки, издаваемые при Ботаническом саду Императорского С.-Петербургского Университета. – 1890. – Т. 3. – Вып. 1. – С. 21–64; – 1891. – Т. 3. – Вып. 2. – С. 227–336, Приложение: Труды VIII-го съезда Русских Естествоиспытателей и Врачей. Секция ботаники (Продолжение); – 1892. – Т. 3, вып. 3. – С. 337–412.
22. Игнатенко, В.И. Флора озер Березинского заповедника / В.И. Игнатенко // Заповедники Белоруссии. Исследования. – Минск: Ураджай, 1984. – Вып. 8. – С. 79–107.
23. Катанская, В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения / В.М. Катанская; отв. ред. И.М. Располов. – Л.: Наука, 1981. – 187 с.
24. Козловская, Н.В. Хорология флоры Беларуси / Н.В. Козловская, В.И. Парфенов; под ред. И.Д. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1972. – 309 с.
25. Козловская, Н.В. Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны / Н.В. Козловская. – Минск: Наука и техника, 1978. – 128 с.
26. Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений; гл. редкол.: Л.И. Хоружик (предс.), Л.М. Суценя, В.И. Парфенов [и др.]. – Минск: БелЭн, 2005. – 456 с.
27. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений; гл. редкол.: И.М. Качановский (предс.), М.Е. Никифоров, В.И. Парфенов [и др.]. – 4-е изд. – Минск: Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.
28. Кромань: природно-экологический потенциал озера и приозерной территории / П.А. Митрахович [и др.]. – Минск: БГУ, 2016. – 119 с.
29. Куликова, Е.Я. Эколого-флористическая классификация травянистой растительности г. Минска / Е.Я. Куликова // Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микробиоты [Текст] = Modern problems in botanical and mycological research: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12–14 нояб. 2013 г.; ред. В.В. Лысак [и др.]. – Минск: БГУ, 2013. – С. 41–43.
30. Лапиров, А.Г. Экологические группы растений водоемов / А.Г. Лапиров // Гидробиотика: методология, методы: Материалы Школы по гидробиотике (п. Борок, 8–12 апреля 2003 г.). – Рыбинск, 2003. – С. 5–22.
31. Лебедев, В.Н. Таксономический обзор видов рода *Batrachium* (DC.) S.F. Gray. (Ranunculaceae Adans.) и их распространение на территории Беларуси / В.Н. Лебедев // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2012. – Вып. 41. – С. 20–33.
32. Макаревич, О.А. Об обнаружении наяды большой (*Najas major* All.) и хвостника обыкновенного (*Hippuris vulgaris* L.) в озере Глубля в 2010 г. / О.А. Макаревич, Т.В. Жукова // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: тез. докл. IV Междунар. науч. конф., Минск–Нарочь, 12–17 сент. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т; сост. и общ. ред. Т.М. Михеевой. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2011. – С. 70.
33. Мартыненко, В.П. Флора и растительность озер северо-восточной части Белорусского Поозерья: дис. ... канд. биол. наук. : 094 / В.П. Мартыненко. – Минск, 1972. – 221 с.
34. Мержвинский, Л.М. Флора Белорусского Поозерья: Классификационный список высших сосудистых растений / Л.М. Мержвинский. – Витебск: Витеб. гос. ун-т, 2000. – 60 с.
35. Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь; под ред. А.В. Пугачева. – Ин-т эксперимент. бот. им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2011. – 165 с.
36. Михайлоўская, В.А. Кароткая справаздача аб ботанічным дасьледванні ваколіц Менску летам 1928 г. / В.А. Михайлоўская // Матэрыялы да вывучэньня флёры і фаўны Беларусі. – Мінск: Друкарня Бел. Акад. навук, 1929. – Т. IV. – С. 27–37.
37. Михайлоўская, В.А. Нарыс расліннасці Беларускага дзяржаўнага паляўнічага запаведніка / В.А. Михайлоўская // 36. прац. – Минск: АН БССР, 1933. – Т. 3. – С. 27–61.

38. Основные гидрботанические понятия и сопутствующие им термины: Проект / В. Г. Папченко, А. В. Щербаков, А. Г. Лапиров. – Рязань: Сервис, 2003. – 21 с.
39. *Парфенов, В. И.* Флора Березинского биосферного заповедника / В. И. Парфенов, Л. А. Ставровская, В. И. Игнатенко. – Минск: Ураджай, 1992. – 191 с.
40. *Парфенов, П. В.* Водная флора и растительность озер Березинского биосферного заповедника / П. В. Парфенов, В. И. Игнатенко // Растительный покров водно-болотных угодий Приморской Прибалтики. – Таллин, 1986. – С. 128–133.
41. *Парфенов, П. В.* Химический состав водных растений озер Березинского биосферного заповедника / П. В. Парфенов // Вес. Акад. наук БССР. Сер. біял. навук. – 1986. – № 1. – С. 31–35.
42. *Пачоский, И. К.* Флора Польши и прилегающих местностей / И. К. Пачоский // Тр. С.-Петерб. о-ва естествоисп. Отд-ние ботан. – СПб., 1897. – Т. 27, вып. 2. – 260 с.; – 1899. – Т. 29, вып. 3. – 115 с.; – 1900. – Т. 30, вып. 3. – 103 с.
43. *Пашкевич, В. В.* Очерк флоры цветковых растений Минской губернии / В. В. Пашкевич // Тр. Санкт-Петерб. о-ва естествоисп. – СПб: тип. В. Демакова, 1883. – Т. 13, вып. 2. – С. 111–228.
44. Растительный покров Белоруссии (с картой М. 1:1 000 000) / В. С. Гельтман [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1969. – 176 с.
45. Роль полупогруженных макрофитов в функционировании Нарочанских озер / А. А. Жукова [и др.] // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 25–30 августа 2009 г.; под ред. В. Н. Пилипенко, С. Р. Кособоковой. – Астрахань: Астрахан. ун-т, 2009. – С. 295–299.
46. Россия. Полное географическое описание нашего отечества: Настольная и дорожная книга для русских людей: [В 19 т.]: 11 т.; под ред. В. П. Семенова и под общ. руковод. П. П. Семенова, вице-пред. Русского геогр. о-ва и проф. В. И. Ламанского, пред. Отд-ния этнографии Русского геогр. о-ва; Предисл. Вениамин Семенов. – СПб.: А. Ф. Девриен, 1899–1914. – Т. 9: Верхнее Поднепровье и Белоруссия / под ред. В. П. Семенова и под общ. руковод. П. П. Семенова и В. И. Ламанского. – 1905. – 620 с.
47. *Савицкая, К. Л.* Новые местонахождения водных и околоводных растений в центральной части подзоны бореальных ландшафтов Беларуси / К. Л. Савицкая, М. А. Джус, И. М. Степанович // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2013. – № 2. – С. 52–57.
48. *Савицкая, К. Л.* Видовое и фитоценотическое разнообразие макрофитной растительности водоемов и водотоков Пуховичского района Минской области / К. Л. Савицкая // Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира: материалы Междунар. науч. конф., Минск-Нарочь, 23–26 сентября 2014 г.; редкол.: А. В. Пугачевский [и др.]. – Минск, 2014. – С. 129–132.
49. *Савицкая, К. Л.* Клубнекамыш Ягара (*Bolboschoenus yagara* (Ohwi) Y. C. Yang et M. Zhan, Scyrodaceae) – новый вид во флоре Беларуси / К. Л. Савицкая, М. А. Джус // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2: Хим. Биол. Геогр. – 2015. – № 1. – С. 52–59.
50. *Сауткина, Т. А.* Гербарий Белорусского государственного университета (MSKU) / Т. А. Сауткина, В. Д. Поликсенова, С. М. Дробышевская. – Минск: БГУ, 2016. – 87 с.
51. *Сцелановіч, Я. М.* Фітацэнаразнастайнасць расліннасці Беларусі / Я. М. Сцелановіч // Ботаника (исследования). Вып. 34. – Минск: Право и экономика, 2006. – Вып. 34. – С. 267–278.
52. *Третьяков, Д. И.* Дополнения к флоре сосудистых растений Беловежской пуши / Д. И. Третьяков // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2010. – Вып. 39. – С. 56–114.
53. *Третьяков, Д. И.* Род Кипрей (*Epilobium* L. s. str., Onagraceae Juss.) в Беларуси / Д. И. Третьяков // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. Вып. 38 / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2010. – Вып. 38 – С. 55–84.
54. Флора Беларуси. Сосудистые растения: в 6 т. / – Т. 1. : Lycopodiophyta. Equisetophyta. Polypodiophyta. Ginkgophyta. Pinophyta. Gnetaophyta / Р. Ю. Блажевич и др.; под общ. ред. В. И. Парфенова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперимент. бот. им. В. Ф. Купревича. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 199 с.
55. Флора Беларуси. Сосудистые растения: в 6 т. – Т. 2. Liliopsida (Acoraceae, Alismataceae, Agaceae, Butomaceae, Commelinaceae, Hydrocharitaceae, Juncaginaceae, Lemnaceae, Najadaceae, Poaceae, Potamogetonaceae, Scheuchzeriaceae, Sparganiaceae, Typhaceae, Zannichelliaceae) / Д. И. Третьяков [и др.] / под общ. ред. В. И. Парфенова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. бот. им. В. Ф. Купревича. – Минск: Беларус. навука, 2013. – Т. 2. – 447 с.
56. Флора Восточной Европы / Отв. ред. и ред. тома Н. Н. Цвелев. – СПб.: Мир и семья; Изд-во СПХФА, 2001. – Т. 10. – 670 с.
57. Флора Восточной Европы / Отв. ред. и ред. тома Н. Н. Цвелев. – М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. – Т. 11. – 536 с.
58. Ценофонд лесов Европейской России / Экологические шкалы. Раменский. Элленберг // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://serl.rssi.ru/bio/flora/main.htm>. – Дата доступа: 01.10.2017.
59. Чырвоная кніга Беларускай ССР: Рэдкія і тыя, што знаходзяцца пад пагрозай знікнення віды жывёл і раслін = Красная книга Белорусской ССР: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений / Дзярж. камітэт Беларускай ССР па ахове прыроды, АН БССР. – Минск: Бел.СЭ, 1981. – 286 с.
60. Чырвоная кніга Рэспублікі Беларусь: Рэдкія і тыя, што знаходзяцца пад пагрозай знікнення віды жывёл і раслін / Беларус. Энцикл.; гал. рэдкал.: А. М. Дарафееў (старш.) [і інш.]. – Мінск: БелЭн, 1993. – 560 с.
61. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л. Г. Раменский, И. А. Цаценкин, О. Н. Чижиков, Н. А. Антипин. – М.: Сов. наука, 1956. – 472 с.
62. *Якушко, О. Ф.* К вопросу о роли макрофитов в лимнологическом комплексе озера Нарочь // О. Ф. Якушко, П. И. Бурдыко // Биология озер: тр. Всесоюз. симп. по основным проблемам пресноводных озер, Вильнюс, 25–29 мая 1970 г.: в 3 т. – Вильнюс, 1970. – Т. 3. – С. 136–142.
63. *Utricularia × australis* R. Br. (Lentibulariaceae) во флоре Беларуси и Украины / Д. В. Дубовик [и др.] // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. Вып. 45 / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2016. – Вып. 45. – С. 55–63.
64. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV / J. W. Byng, M. W. Chase, M. J. M. Christenhusz, M. F. Fay, W. S. Judd, D. J. Mabberley, A. N. Sennikov, D. E. Soltis, P. S. Soltis, P. F. Stevens // Botanical Journal of the Linnean Society. – 2016. – Vol. 181. – P. 1–20.
65. *Besser, W.* Bemerkungen über Herrn prof. Eichwald's. Naturhistorische Skizze von Lithauen, Volhynien und Podolien / W. Besser // Flora oder allgemeine botanische Zeitung. – Jena, 1832. – Bd 2. – S. 1–55.

66. *Christenhusz, M. J. M.* Trends and concepts in fern classification / M. J. M. Christenhusz, M. W. Chase // *Annals of Botany*. – 2014. – Vol. 113. – N 4. – P. 571–594.
67. *Eichwald, E.* Naturhistorische Skizze von Lithauen, Volhynien und Podolien in geognostisch-mineralogischer, botanischer und zoologischer Hinsicht entworfen / E. Eichwald. – Wilna: auf Kosten des Verfassers gedruckt bei Joseph Zawadzki, 1830. – 256 s.
68. *Fischer, A. F.* Über die Vegetationsverhältnisse im dem südlichen und mittleren Lithauen und besonders im Sluckischen Kreis / A. F. Fischer // *Mitteilungen der Naturforsch. Gessellschaft in Bern*. – 1843. – № 10. – S. 75–80. – № 11; – S. 81–88. – 1844. – N 24. – S. 93–100; – N 28–30. – S. 125–144. – Bern : Haller'schen Buchdruckerei, 1843–1844.
69. *Flora Europaea: Psilotaceae to Platanaceae: in 5 vol. / ed. T. G. Tutin [et. al.]*. – 2nd. ed. – Cambridge, England: Cambridge University Press, 1993. – Vol. 1. – 581 p.
70. *Flora of North America: North of Mexico; Volume 22: Magnoliophyta: Alismatidae, Arecidae, Commelinidae (in part), and Zingiberidae*. – New York: Oxford University Press, 2000. – Vol. 22. – 384 p.
71. *Gilibert, J. E.* Flora Lithuanica inchoata, seu Enumeratio plantarum, quas circa Grodnam collegit et determinavit Joannes Emmanuel Gilibert : coll. 1-5 / J. E. Gilibert. – Grodnae: Vilnae: Typis S. R. M., 1781–1782. – 5 coll.
72. *Gilibert, J. E.* Exercitia phytologica, quibus omnes plantae Europae, quas vivas invenit in variis herbationibus, seu in Lithuania, Gallia, Alpibus, analysi nova proponuntur, ex typo naturae describuntur... Plantae Lithuanicae cum Lugdunensibus comparatae: 1–2 vol. / J. E. Gilibert. – Lugduni Gallorum: Ex Typis J. B. Delamolliere, 1792. – 2 vol.
73. *Jundziłł, J.* Opisanie roślin w Litwie, na Wołyniu, Podolu i Ukrainie dziko rosnących, iako i oswoionych: podług wydania 16 układu roślin Linneusza / J. Jundziłł / przez J. Jundziłła. – Wilno: J. Zawadzki własnym nakładem, 1830. – 576 p.
74. *Jundziłł, S. B.* Opisanie roślin w prowincyi W. X. L. naturalnie rosnących według układu Linneusza / S. B. Jundziłł. – Wilno: w Drukarni J. K. Mci y Rzeplitey u XX. Piarow, 1791. – 585 s.
75. *Jundziłł, S. B.* Opisanie roślin Litewskich według układu Linneusza / S. B. Jundziłł. – Wilno: u Józefa Zawadzkiego Typografa Akademickiego, 1811. – 333 s.
76. *Kaplan, Z.* *Potamogeton taxa proposed by J. F. Wolfgang and his collaborators* / Z. Kaplan, J. Zalewska-Gałosz // *Taxon*. – Vol. 53. – N 4. – 2004. – P. 1033–1041.
77. *Karpowicz, K.* Przyczynek do znajomości flory powiatu Nowogródzkiego / K. Karpowicz // *Planta Polonica: materiały do Flory Polskiej*. – 1930. – T. 1. – S. 50–53.
78. *Ledebour, C. F.* Flora Rossica sive enumeratio plantarum in totius Imperii Rossici provinciis Europaeis, Asiaticis et Americanis hucusque observatarum: 4 t. / C. F. Ledebour. – Stuttgartiae: Schweizerbart, 1842–1853. – 4 t.
79. *Lehmann, E.* Flora von Polnisch-Livland mit besonderer Berücksichtigung der Florengebiete Nordwestrusslands, des Ostbalticums, des Gouvernements Pskow und St. Petersburg sowie der verbreitung der Pflanzen durch Eisenbahnen / E. Lehmann // *Archiv für die Naturkunde Liv.-Esth. und Kurland* / Hrsg von der Dorpater Naturforscher-gesellschaft. – Ser. 2. – 1895. – Bd. 11. – H. 2. – S. 1–439.
80. *Lehmann, E.* Nachtrag i zur Flora von Polnisch-Livland / E. Lehmann // *Archiv für die Naturkunde Liv.-Esth. und Kurland* / Hrsg von der Dorpater Naturforscher-gesellschaft. – Ser. 2. – 1896. – Bd. 11. – H. 2. – S. 439–556.
81. *Leinhardt, P.* Rośliny z ocolic Mińska / P. Leinhardt // *Pamiętnik Farmaceutyczny Wileński*. – Wilno: J. Zawadzki, 1822. – T. 2. – S. 649–650.
82. *Lindemann, E.* Prodrum florarum Tschernigovianae, Mohilevianae, Minskianae nec non Grodovianae / E. Lindemann // *Bull. de la Soc. Impériale des Naturalistes de Moscou*. – Mosquae, 1850. – T. 23. – P. 2. – P. 446–547.
83. *Lindemann, E.* Index plantarum, quas in variis Rossiae provinciis hucusque invenit et observavit Eduardus a Lindemann // *Bull. de la Soc. Imperiale des Naturalistes de Moscou*. – 1860. – N 3. – S. 1–114.
84. *Łapczyński, K.* Wycieczka na Litwie i nad Bałtyk. II Dodatek. Rośliny jawnokwiatowe na początku Lipca po drodze z Solomorzeczka do puszczy Nalibockiej w Osmiańskim / K. Łapczyński // *Pam. Fizyogr.* – T. 4. – Dział 3. – S. 222.
85. *Pamiętnik Farmaceutyczny Wileński*. – Wilno: J. Zawadzki, 1822. – T. 2. – S. 438–653.
86. *Sinicynowna, Z.* Zespoły roślinne torfowisk pod Nieswieżem / Z. Sinicynowna // *Prace Tow. Przyj. Nauk w Wilnie. Wyd. nauk matem. i przyr.* – 1936. – T. 10, N 3. – C. 1–60.
87. *Twardowską, M.* Spis roślin znalezionych w okolicy Szemetowszczyzny na Litwie / M. Twardowską // *Pam. Fizyogr.* – 1883. – Dział 3. – T. 3. – S. 274–291.
88. *Twardowską, M.* Dodatek do spisu roślin znalezionych w okolicy Szemetowszczyzny na Litwie / M. Twardowską // *Pam. Fizyogr.* – 1885. – T. 5. – Dział 3. – S. 163.
89. *Twardowską, M.* Dodatek do spisu roślin znalezionych w okolicach Szemetowszczyzny na Litwie, drukowanego w III tomie «Pamiętnika Fizyjograficznego» i dodatek do przyczynku do flory Pińszczyzny, drukowanego w IV tomie «Pamiętn. Fizyogr.» / M. Twardowską // *Pam. Fizyogr.* – 1888. – T. 8. – Dział 3. – S. 215–220.
90. *Twardowską, M.* Ciąg dalszy spisu roślin z okolic Szemetowszczyzny i z Weleśnicy / M. Twardowską // *Pam. Fizyogr.* – 1890. – T. 10. – Dział 3. – S. 261–270.
91. *Twardowską, M.* Ciąg dalszy spisu roślin z okolic Szemetowszczyzny i z Weleśnicy / M. Twardowską // *Pam. Fizyogr.* – 1892. – Dział 3. – T. 12. – S. 199–208.
92. *Twardowską, M.* Spis roślin zebranych z Szemetowszczyzny i z Weleśnicy w latach 1893 i 1894 / M. Twardowską // *Pam. Fizyogr.* – 1896. – T. 14. – Dział 3. – S. 115–118.
93. *Twardowską, M.* Spis roślin z Szemetowszczyzny i z Weleśnicy / M. Twardowską // *Pam. Fizyogr.* – 1902. – T. 17. – Dział 3. – S. 95–99.
94. *Twardowską, M.* Notatki florystyczne z Szemetowszczyzny i Weleśnicy / M. Twardowską // *Pam. Fizyogr.* – 1907. – T. 19. – Dział 3. – S. 40–43.
95. *Wiegleb, G.* A taxonomic account of *Ranunculus* section *Batrachium* (Ranunculaceae) / G. Wiegleb, A. A. Bobrov, J. Zalewska-Gałosz // *Phytotaxa*. – Vol. 319. – № 1. – 2017. – P. 1–55.

Послупила 26.10.2017

ISSN 1810-9810 (Print)

УДК 595.384.16

А. В. Алехнович, К. А. Сливинская, Д. В. Молотков

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

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛИННОПАЛОГО РАКА (*ASTACUS LEPTODACTYLUS*) ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА ЗАПАДНОГО БУГА

Оценена биомасса облавливаемой части популяций длиннопалого рака *Astacus leptodactylus* основных озер и водохранилищ белорусской части бассейна Западного Буга. Раки встречаются во всех озерах, водохранилищах, карьерах, прудах и крупных реках бассейна Западного Буга. Плотность раков определяли по принятому среднему расстоянию, на которое перемещается рак, равному 10 м и коэффициенте уловистости 0,5. В работе использовали полесскую раколовку (жак), которая состояла из двух корзин и сетной вставки между ними. Рассчитанная площадь, облавливаемая одной ловушкой, составила 20 м²/сут. Плотность раков изменялась от 0,003 до 0,26 инд./м². Раков измеряли от острия рострума до конца тельсона и индивидуально взвешивали с точностью 0,1 г. Для определения массы особи по известной длине рассчитаны соответствующие степенные уравнения, которые определены отдельно для самцов и самок. Суммарная биомасса облавливаемой части популяций рассчитана по средним значениям плотности, длины особей и полученной зависимости массы от длины раков. Суммарная биомасса облавливаемой части популяций длиннопалого рака основных озер и водохранилищ белорусской части бассейна Западного Буга составила 16 т. Для всех водных объектов белорусской части бассейна биомасса раков оценена в 20 т. Сбор материала проводили в мае 2017 г.

Ключевые слова: длиннопалый рак, коэффициент уловистости, популяция, биомасса, потенциальные ресурсы

A. V. Alekhnovich, K. A. Slivinskaia, D. V. Molotkov

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

POTENTIAL RESOURCES OF NARROW CLAWED CRAYFISH *ASTACUS LEPTODACTYLUS* IN LAKES AND RESERVOIRS OF THE BELARUSIAN PART OF THE WESTERN BUG

The biomass of the fished part of narrow-clawed crayfish *Astacus leptodactylus* was estimated in the main lakes and reservoirs of the Belarusian part of the Western Bug basin. Populations of narrow-clawed crayfish are found in all lakes, reservoirs, quarries, ponds and large rivers of the Western Bug basin. The density of crayfish individuals was determined from the average movement distance of crayfish (10 meters) and the catch factor of 0,5. The traps that were used during fishing consisted of two baskets and a net between them. The net was fixed vertically along the inlet openings. The traps were set without bait in the morning and taken out the next day before noon. The traps are called «Zhaki» in the Polesie region of the country. The calculated fishing area of one crayfish trap is 20 m²/day. The density of crayfish individuals varied from 0,003 to 0,26 individuals/m². The crayfish individuals were measured from the tip of the rostrum to the end of the telson and weighed individually with an accuracy of 0.1 grams. In order to determine the mass of an individual from a known length, the corresponding equations were calculated, which were determined separately for males and females. The total biomass of the harvested part of the population was calculated from the average values of density, length of the individuals, and mass to length dependence of the individuals. The total biomass of the fished part of narrow-clawed crayfish population of the main lakes and reservoirs in the Belarusian part of Western Bug basin is estimated at 20 tons. The material was collected on May, 2017.

Keywords: narrow clawed crayfish, coefficient of catchability, population, biomass, potential stocks

А. В. Аляхновіч, К. А. Слівінская, Д. В. Малаткоў

Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсам, Мінск, Беларусь,
e-mail: alekhnovichav@gmail.com, dmolotkov48@mail.ru, Karolina.slivinska@outlook.com

ПАТЭНЦЫЯЛЬНЫЯ РЭСУРСЫ ДОўГАПАЛАГА РАКА (*ASTACUS LEPTODACTYLUS*) АЗЁР І ВАДАСХОВІШЧАў БЕЛАРУСКАЙ ЧАСТКІ БАСЕЙНА ЗАХОДНЯГА БУГА

Ацэненая біямаса аблаўліваемай часткі папуляцыі доўгапалага рака *Astacus leptodactylus* асноўных азёр і вадасховішчаў беларускай часткі басейна Заходняга Буга. Ракі сустракаюцца ва ўсіх азёрах, вадасховішчах, кар'ерах, сажалках і буйных рэках гэтага басейна. Шчыльнасць ракаў вызначалі па прынятай сярэдняй адлегласці, на якую перамяшчаецца рак, роўнай 10 м і каэфіцыента ўлоўнасці 0,5. Выкарыстоўвалі полесскую ракалоўку (жак),

якая складаецца з двух кошыкаў і сеткавай устаўкі паміж імі. Разлічаная плошча, якую аблюлівае адна ракалоўка, склала 20 м²/сут. Шчыльнасць ракаў змянялася ад 0,003 да 0,26 інд./м². Ракаў вымяралі ад рострума да канца тэльсона і індывідуальна ўзважвалі з дакладнасцю 0,1 г. Для вызначэння масы асобіны пры вядомай даўжыні былі разлічаны адпаведныя ўраўненні, якія вызначаны асобна для самцоў і самак. Сумарная біямаса аблюліваемай часткі папуляцыі разлічана па сярэднім значэнням шчыльнасці, даўжыні асобін і атрыманай залежнасці масы ад даўжыні ракаў. Сумарная біямаса аблюліваемай часткі папуляцыі доўгапалага рака асноўных азёр і вадасховішчаў беларускай часткі басейна Заходняга Буга склала 16 т. Для ўсіх водных аб'ектаў гэтага басейна біямаса ракаў ацэнена ў 20 т. Збор матэрыялу праводзіўся ў маі 2017 г.

Ключавыя словы: дліннапалы рак, каэфіцыент уловістасці, папуляцыя, біямаса, патэнцыяльныя рэсурсы

Введение

В водоемах бассейна Западного Буга встречаются два аборигенных вида раков – длиннопалый *Astacus leptodactylus*, широкопалый *Astacus astacus* и один инвазивный полосатый *Orconectus limosus*. Широкопалый рак – редкий, исчезающий вид – внесен в Красную книгу Республики Беларусь. В бассейне Западного Буга отмечена только одна популяция в оз. Страдечское.

Полосатый рак пока еще встречается только в реках Лесная, Муховец бассейна Западного Буга. Наиболее массовым и широко распространенным видом является длиннопалый рак *Astacus leptodactylus* (фото). Это единственный промысловый вид раков в Беларуси. В большинстве озер, водохранилищ, рек бассейна существуют популяции длиннопалого рака.

Река Западный Буг берет свое начало в Украине и далее течет по территории Беларуси, впадает в р. Нарев (Польша). Западный Буг относится к бассейну Балтийского моря. Водосбор реки в пределах Беларуси располагается на северо-западной части Полесской низменности (Брестское Полесье), сливающейся с Прибугской равниной.

Территория Брестского Полесья характеризуется большой сетью каналов, из них важнейшим является Днепро-Бугский канал. Озерность территории бассейна не превышает 1 %. К наиболее крупным озерам относятся: Любань, Луковское, Олтушское, Ореховское, на базе которых построены водохранилища, а также озера Селяхи, Меднянское, Страдечское, Белое [1]. В 2017 г. были проведены исследования этих озер, которые и легли в основу работы.

Цель – определить потенциальные ресурсы длиннопалого рака в основных озерах бассейна Западного Буга.

Материалы и методы исследований

Отлов раков проводили раколовками, состоящими из двух бучей и сетковой вставки между ними. В Полесском регионе такие раколовки называются «жаки». Раколовки (ловушки) состояли из 5 колец нержавеющей проволоки диаметром 37 см, обтянутых сеткой с размером ячейки 2 см. Входы – крайние кольца ловушек – представляли собой усеченные конусы, направленные внутрь и ориентированные друг против друга. Диаметр внутреннего отверстия входного конуса – 10 см. Длина (расстояние между крайними кольцами) каждой ловушки составляла 90 см. Отдельные ловушки соединялись между собой вставкой из сети, высотой 30 см и длиной 250 см. Вставка крепилась в вертикальном положении по диаметру входных отверстий. Ловушки устанавливали без приманки в первой половине дня и снимали на следующий день до полудня. Работа ловушек построена на следующем принципе: раки, двигаясь по дну, упираются в преграду из натянутой вставки и, перемещаясь вправо или влево, попадают в ловушки. Встроенные конусы не препятствуют проникновению раков внутрь ловушки, но узкий внутренний вход эффективно предотвращает их возвращение в водоем. Раколовки связывали последовательно по 4 шт. и при установке закрепляли по краям связки с помощью кольев. Во время лова использовали 36 раколовок. Численность раков, пойманных с помощью ловушек, рассчитывали как количество раков на ловушку за сутки.

Расчет численности проведен с использованием данных о суточной активности раков и возможной облавливаемой площади одной раколовки. В среднем суточные перемещения раков составляют 10–15 м [2].

Сделано предположение, что одна раколовка облавливает площадь, равную эллипсу:

$$S = \pi ab, \quad (1)$$



Длиннопалый рак. М 1 : 2. Фото А. В. Алехновича

где S – площадь эллипса, π – 3,14159265, a , b – длина большой и малой полуоси соответственно. Малую ось эллипса примем равной 2,5 м, большую – 10 м. Малая ось эллипса равна длине вставки между корзинами раколовки, большая ось – средней длине возможного суточного передвижения одной особи. Площадь, облавливаемая одной раколовкой, составит 19,6 м² или 20 м². Мы использовали 36 раколовки, которые облавливали площадь 720 м².

Не все раки попадают в раколовку, поэтому был принят коэффициент уловистости, равный 0,5. Раков измеряли от острия рострума до конца тельсона и взвешивали с точностью 0,1 г. Сбор материала проводили в мае 2017 г. Обследованы озера Селяхи, Белое, Меднянское, Страдечское, Любань, водохранилище Луковское.

Результаты и их обсуждение

Совокупность собранных нами данных позволяет утверждать, что раки встречаются во всех озерах, водохранилищах, карьерах, прудах и крупных реках бассейна Западного Буга. В данной работе мы анализируем размерную структуру и численность раков в наиболее значительных озерах и водохранилищах региона. В первую очередь в озерах, которые можно рекомендовать как промысловые для организации лова раков. Наиболее многочисленные популяции этого вида отмечаются в озерах Селяхи, Белое, Меднянское, Олтушское; в меньшем количестве раки встречались в озерах Страдечское, Луковское, Любань, Ореховское.

В табл. 1 собраны данные по средним суточным уловам и размеры раков в основных исследованных озерах.

Оз. Рогознянское соединено коротким каналом с оз. Белым и характеризуется схожими морфометрическими, гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками [3]. По сведениям местного населения в оз. Рогознянском уловы раков такие же, как и в оз. Белом. Примем уловы раков в оз. Рогознянском равными 1,58 инд./ловушка/сут.

В оз. Любань и водохранилище Луковском суточный улов одной раколовкой составил соответственно 0,03 и 0,14 инд./ловушка/сут. Нами не проводились работы на оз. Ореховском, но по сведениям местного населения раки в озере встречаются в очень малых количествах. Поэтому примем уловы раков в оз. Ореховском равными 0,08 инд./ловушка/сут. Единичные особи длиннопалого рака, пойманные в оз. Любань и водохранилище Луковское, не позволяют получить достоверные данные по размерной структуре популяций, поэтому эти водоемы не включены в таблицу.

Для определения массы особи по известной длине были рассчитаны соответствующие степенные уравнения (табл. 2). Поскольку зависимость массы от длины у самцов и самок описы-

Т а б л и ц а 1. Средние суточные уловы и длина особей в озерах бассейна Западного Буга, собранных в мае 2017 г.

Озеро	Улов инд./лов./сут	Пол	К-во особей	Длина, см			Дисперсия
				Средняя	Минимум	Максимум	
Селяхи	2,61	Самец	17	9,33	7,9	11,9	1,22
		Самка	77	9,67	7,2	12,4	1,14
Белое	1,58	Самец	28	8,85	6,90	11,20	1,20
		Самка	29	9,36	7,70	11,20	1,10
Меднянское	1,03	Самец	14	9,35	7,00	11,10	1,15
		Самка	23	9,64	7,50	12,60	1,34
Страдечское*	0,29	Самец	12	8,68	6,90	10,10	0,97
		Самка	9	9,54	8,10	11,50	1,19
Олтушское	1,94	Самец	49	9,55	7,30	12,90	1,30
		Самка	21	8,52	7,40	9,20	0,48

* Для оз. Страдечское показана численность раков за двое суток облова.

ваются разными уравнениями [4], степенные уравнения были определены отдельно для самцов и самок.

Т а б л и ц а 2. Зависимость массы (W , г) от длины особей (L , см) у длиннопалого рака вида $W = aLb$ некоторых озер бассейна Западного Буга

Озеро	Пол	a	b	R^2	Номер уравнения [4]
Селяхи	Самец	0,0105	3,4937	0,96	2
	Самка	0,0393	2,8289	0,99	3
Белое	Самец	0,0176	3,2687	0,97	4
	Самка	0,0335	2,8945	0,97	5
Меднянское	Самец	0,0224	3,1669	0,99	6
	Самка	0,0258	3,0167	0,99	7
Страдечское	Самец	0,0183	3,2504	0,96	8
	Самка	0,0735	2,5453	0,95	9
Олтушское	Самец	0,0162	3,3108	0,98	10
	Самка	0,0461	2,7861	0,84	11

Установленная зависимость позволяет с высокой точностью определять массу по известной длине особей.

Длиннопалый рак оз. Селяхи. Площадь оз. Селяхи – 0,48 км², максимальная глубина – 8,6 м [1]. Береговая линия зарастает тростником и камышом, погруженная высшая водная растительность распространена до глубины 4 м. Озеро расположено на территории ландшафтного заказника республиканского значения Прибужское Полесье.

В уловах в конце мая преобладали самки: на одного пойманного самца приходилось примерно 4 самки. Средние размеры как самцов, так и самок характеризовались близкими значениями (табл. 1).

В конце мая у самок еще не начался выклев личинок и они продолжали нести яйца на плеоподах, что позволило нам подсчитать плодовитость перед выклевом личинок. Эти данные позволяют определять пополнение популяций.

Численность раков определяли по майским сборам. С общей площади облова 720 м² было поймано 94 особи. При принятом коэффициенте улова 0,5 плотность раков составила 0,26 инд./м².

В соответствии с данными табл. 1 по средним значениям длины самцов и самок в оз. Селяхи и зависимостью массы особи от длины тела (уравнения 2, 3, табл. 2) масса самца достигает

25,7 г, самок – 24,1 г. Общая средняя масса особи облавливаемой части популяции – 24,9 г. Средняя биомасса раков в контрольном районе исследований составила 6,5 г/м².

Раки распространяются неравномерно по дну водоема, встречаются там, где они находят укрытия или могут строить норы, перемещаются в поисках пищи. Поиск пищи у них, как и у сумеречных животных, осуществляется в ночное время суток. Места, где раки находят пищу, также следует учитывать при определении плотности. В ночное время суток раки активно питаются, а в дневное предпочитают находиться в норах или в других укрытиях. Таким образом, часть водоема, в котором речные раки копают свои норы, находят укрытия и пищу называется «полезной для рака площадью» [1]. Все расчеты плотности популяции раков следует относить именно к этой части водоема. Обычно полезная для раков площадь водоема простирается до глубин 7–9 м. Ниже этих глубин исчезает погруженная водная растительность, донные осадки в большинстве случаев состоят из сапропелей и/или илов. В летний период на глубине 7–15 м в стратифицированных водоемах отмечается термоклин и понижение температуры, равно как и содержание кислорода. Вся площадь больше глубины 7–9 м становится малопривлекательной для обитания раков, они их избегают в летний период. В осенний же период при перемешивании водных слоев раки могут встречаться и на глубинах больше 10 м. В мелководных водоемах раки распространяются по всей акватории водоема, в особенности, если находят в достаточном количестве укрытия. Но в местах, где донные осадки представлены сапропелями или жидкими илами их не будет. Однако, если жидкие донные осадки зарастают погруженной высшей водной растительностью, длиннопалый рак прекрасно приспосабливается к существованию в такой среде. Так, в озере Олтушкое погруженные водные растения занимают не менее 90 % всего дна и раки встречаются по всей площади озера и это несмотря на то, что донные грунты озера представлены сапропелями, в которых невозможно строить норы.

Таким образом, следует учитывать, что в водоеме раки не будут распределены равномерно. Учитывая глубину озера, распространение погруженной водной растительности и особенности донных отложений (с глубиной песчаное дно замещается сапропелем), примем полезную для раков площадь, равную 70 % от общей. В таком случае общая биомасса раков в оз. Селяхи составляет 2184 кг или 2,18 т.

Длиннопалый рак оз. Белое. Площадь оз. Белое – 0,5 км². Максимальная глубина – 21,5 м. До глубины 2 м дно сложено илистым песком, глубже – сапропелем [1].

Аналогичным образом, как и для оз. Селяхи, была определена плодовитость перед выклевом личинок в популяциях длиннопалого рака оз. Белое.

Суммарный улов составил 57 особей. Соотношение полов в уловах было близко 1:1. С учетом принятого коэффициента улова 0,5 плотность раков составила 0,16 инд./м².

Аналогично определены средняя масса самца и самки, которая составила 21,9 и 21,7 г соответственно. Общая средняя масса – 21,8 г; средняя биомасса равна 3,5 г/м².

Учитывая особенности оз. Белое, полезную для раков площадь озера определим равной 50 % от общей. Биомасса раков оз. Белое составляет 1750 кг или 1,75 т.

Длиннопалый рак оз. Меднянское. Площадь озера Меднянское – 0,24 км². Максимальная глубина – 5,2 м. До глубины 2 м дно песчаное, глубже – сапропелевое, погруженная растительность распространяется до глубины 3,5 м [1].

В уловах самок было больше в 1,6 раза. Плотность раков равна 0,10 инд./м². Используя, как и для других озер, алгоритм обработки данных в оз. Меднянское средняя масса самца и самки равна 26,6 и 24,0 г соответственно и общая средняя – 25,3 г. Биомасса облавливаемой части популяции равна 2,5 г/м². Для оз. Меднянское полезную для раков площадь примем равной 50 % от площади всего озера. Биомасса раков составляет 300 кг или 0,3 т.

Длиннопалый рак оз. Страдечское. Площадь озера равна 0,14 км² [1]. Оз. Страдечское расположено в непосредственной близости от озера Меднянское и соединено с ним протокой. Характер зарастаемости водной растительностью и донные грунты такие же, как в оз. Меднянском. Отметим, что в оз. Страдечском наряду с длиннопалым раком пойманы две особи широкопалого. Суммарный суточный улов длиннопалого рака составил 10,5 особей.

Плотность раков на облавливаемой части озера равна 0,03 инд./м². Малое количество отловленных раков не позволяет определить плодовитость самок. С учетом данных табл. 1 и 2 масса самца и самки равна 20,6 и 22,9 г соответственно. Средняя масса особи составила 21,8 г. Биомасса облавливаемой части популяции – 0,7 г/м².

Полезную для раков площадь оз. Страдечского примем равной 50 % от всей площади. Общая биомасса облавливаемой части популяции составляет 49 кг.

Длиннопалый рак оз. Олтушское. Площадь оз. Олтуш[ское] равна 2,2 км² [1]. Длиннопалый рак встречается в озере по всей площади [5]. Расчетная плотность раков составляет 0,19 инд./м². Средняя масса самца и самки в популяции оз. Олтуш[ское] будет 28,5 и 18,0 г соответственно, общая средняя масса особи – 23,3 г. Биомасса облавливаемой части популяции равна 4,4 г/м². Вся площадь озера пригодна для обитания раков. Общая биомасса облавливаемой части популяции оз. Олтушское составляет 9680 кг или 9,68 т.

В 2005 г. в оз. Олтушское наблюдалась массовая гибель раков. Результаты 2017 г. показывают, что популяция раков начинает восстанавливаться. Раков оз. Олтуш[ское] можно рекомендовать для промысловой эксплуатации.

Все рассмотренные водоемы характеризуются близкими средними размерами особей облавливаемой части популяции. На основании данных табл. 1 рассчитана общая средняя длина раков, которая составила 9,2±0,4 см. Используя объединенную зависимость массы самцов и самок от длины особей [4], определена масса особи, длина которой будет 9,2 см. Для бассейна р. Западный Буг средняя масса рака в ракопродуктивных водоемах составляет 21,7 г.

Отмечено, что размеры особей в рассматриваемых водоемах бассейна Западного Буга достаточно низкие. Наиболее вероятная причина малых размеров раков в данном регионе – интенсивный любительский лов, поскольку условия для роста раков в данном регионе хорошие и организованного промысла на сегодняшний день здесь нет.

Запасы раков определены в наиболее ракопромысловых водоемах региона. Для остальных озер и водохранилищ запасы оценены по принятым средним значениям суточных уловов одной ловушкой и определена на основании этих данных плотность раков (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Расчетные значения численности и биомассы раков некоторых водоемов бассейна Западного Буга

Водоем	Площадь, км ²	Полезная для раков площадь, км ²	Плотность, инд./м ²	Численность, тыс.	Биомасса, т
Рогознянское	0,4	0,2	0,16	32,0	0,69
Луковское	3,5	1,75	0,02	35,0	0,76
Любань	1,96	0,98	0,003	2,94	0,06
Ореховское	4,6	2,3	0,01	23,0	0,50

Заключение

Суммарная биомасса раков относительно крупных озер и водохранилищ белорусской части бассейна Западного Буга составляет 15,97 т. Белорусская часть бассейна Западного Буга характеризуется малым количеством озер и водохранилищ, но большой сетью каналов, важнейшим из которых является Днепро-Бугский канал, встречаются также малые озера и пруды. Все эти водные объекты данного региона могут добавить к определенной биомассе длиннопалого рака еще порядка 4 т.

Таким образом, потенциальные запасы длиннопалого рака водных объектов белорусской части бассейна Западного Буга близки к 20 т.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Б16К- 011).

Список использованных источников

1. Природа Беларуси : энциклопедия. Т. 2. Климат и вода / редкол. : Т.В. Белова [и др.]. – Минск : Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі. – 2010. – 504 с.
2. *Цукерзис, Я. М.* Речные раки / Я. М. Цукерзис; ред. В.Л. Контримавичюс. – Вильнюс : Моксклас, 1989. – 142 с.
3. Озера Белоруси: Справочник / Б. П. Власов [и др.]. – Минск : БГУ, 2004. – 284 с.
4. *Алехнович, А. В.* Изменение живой массы длиннопалого рака в зависимости от длины тела / А. В. Алехнович, Д. В. Молотков // Природные ресурсы. – 2016. – №2. – С. 52–56.
5. *Алехнович, А. В.* Продукция промысловой части популяции длиннопалого рака (*Astacus leptodactylus* Esch.) озера Олтуш / А. В. Алехнович, В. Ф. Кулеш, А. М. Бакулин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2004. – №4. – С. 22–31.

Поступила 22.11.2017

С. М. Дробенков

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

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОМЫСЛОВЫЕ РЕСУРСЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ ГАДЮКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PELIAS BERUS*) В БЕЛАРУСИ

Обыкновенная гадюка (*Pelias berus*, L. 1758) – один из наиболее ценных представителей животного мира Беларуси. Змеиный яд используется при производстве ряда эффективных лекарственных препаратов, применяемых при лечении невралгий, артралгий, миалгий, радикулитов, артритов, миозитов и периартритов. Беларусь, благодаря своим природно-климатическим особенностям (умеренный климат, значительная площадь лесоболотных угодий, высокая сохранность природных ландшафтов), выделяется значительными запасами популяции этого вида. Согласно результатам полевых учетов, выполненных в 2011–2017 гг., современная численность региональной популяции обыкновенной гадюки в Беларуси, составляет 500–550 тыс. особей. Наиболее крупная территориальная группировка гадюки размещена в Брестской области (60,7 тыс. экз.), наименьшие – в Могилевской (30,2 тыс. экз.) и Минской областях (30,6 тыс. экз.). Самая крупная популяция сосредоточена в Ивацевичском районе Брестской области (30,6 тыс. экз.). Различия в численности территориальных группировок, населяющих разные административные районы страны, обусловлены различиями в их общей площади, площади благоприятных для вида местообитаний и плотности популяций. Показатель плотности белорусской популяции варьирует от 0,5 до 150 экз./га, средний уровень – 15–25 экз./га. В структуре популяции доминируют средние по размерам особи, длина тела которых находится в пределах 60–75 см. Соотношение численности неполовозрелых, самцов и самок составляет 30, 33 и 37 % соответственно. Половой баланс смещен в сторону незначительного доминирования самок (соотношение самцы : самки – 1 : 1,1). Приводятся рекомендации по рациональному использованию биологических ресурсов ценного вида.

Ключевые слова: гадюка обыкновенная, промысловые ресурсы, популяция, змеиный яд, пространственное распределение

S. M. Drobiankov

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

SPATIAL DISTRIBUTION AND COMMERCIAL RESOURCES OF REGIONAL POPULATION THE COMMON ADDER (*PELIAS BERUS*) IN BELARUS

Common adder (*Pelias berus*, L. 1758) is one of the most valuable animal of wildlife of Belarus. Snake venom is used in the production of a number of effective medicine applied in the therapy of neuralgia, arthralgia, myalgia, radiculitis, arthritis, myositis and periarthritis. Belarus, due to its natural and climatic characteristics (temperate climate, a large area of forested land, high safety of natural landscapes), stands out significant numbers of the species population. According to the results of field investigation, carried out in 2011–2017, the present number of the regional population of common adder in Belarus is 500–550 thousand individuals. The largest territorial population of the adder located in Brest region (60.7 thousand examples), the lowest in Mogilev region (30.2 thousand examples) and Minsk region (30.6 thousand examples). The largest population is concentrated in the Ivatsevichi district, Brest region (30.6 thousand examples). Difference in the number of territorial populations inhabiting the different administrative regions of the country, due to differences in the total area, the area favourable habitats and population density. The density of the belarusian population varies from 0.5 to 150 ind./ha, the average – 15–25 ind./ha. In the population structure medium-sized species with body length 60–75 cm is dominated. The ratio of the immature, males and females is 30 to 33 and 37 %, respectively. Sex balance is off to the side small dominance of females (ratio males : females is 1 : 1.1). Recommendations on the rational use of biological resources of this valuable species prepared.

Keywords: common adder, commercial stocks, population, snake poison, spatial distribution

С. М. Драбянкоў

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

ПРАСТОРАВАЕ РАЗМЕРКАВАННЕ І ПРАМЫСЛОВЫЯ РЭСУРСЫ РЭГІЯНАЛЬНАЙ ПАПУЛЯЦЫІ ГАДЗЮКІ ЗВЫЧАЙНАЙ (*PELIAS BERUS*) У БЕЛАРУСІ

Звычайная гадзюка (*Pelias berus*, L. 1758) – адзін з найбольш каштоўных прадстаўнікоў жывёльнага свету Беларусі. Змяіны яд выкарыстоўваецца пры вытворчасці шэрагу эфектыўных лекавых прэпаратаў, якія ўжываюцца пры лячэнні невралгій, артралгій, міалгій, радыкулітаў, артрытаў, міазітаў і перыартрытаў. Беларусь, дзякуючы сваім прыродна-кліматычным асаблівасцям (умераны клімат, значная плошча лесабалотных угоддзяў, высокая захаванасць прыродных ландшафтаў), вылучаецца значнымі запасамі папуляцыі гэтага віду. Згодна з вынікамі палявых улікаў, выкананых у 2011–2017 гг., сучасная колькасць рэгіянальнай папуляцыі звычайнай гадзюкі ў Беларусі, складае 500–550 тыс. асобін. Найбольш буйная тэрытарыяльная групка гадзюкі размешчана ў Брэсцкай вобласці (60,7 тыс. экз.), найменшая – у Магілёўскай (30,2 тыс. экз.) і Мінскай (30,6 тыс. экз.) абласцях. Самая вялікая папуляцыя сканцэнтравана ў Івацэвіцкім раёне Брэсцкай вобласці (30,6 тыс. экз.). Адрозненні ў колькасці тэрытарыяльных групавак, якія насяляюць розныя адміністрацыйныя раёны краіны, абумоўлены адрозненнямі ў іх агульнай плошчы, плошчы спрыяльных для жыцця месцапражывання і шчыльнасці папуляцыі. Паказчык шчыльнасці беларускай папуляцыі вар’іруе ад 0,5 да 150 экз./га, сярэдні ўзровень – 15–25 экз./га. У структуры папуляцыі дамінуюць сярэднія па памерах асобіны, даўжыня цела якіх знаходзіцца ў межах 60–75 см. Суадносіны колькасці маладых асобін, самцоў і самак складае 30, 33 і 37 % адпаведна. Палавы баланс скошаны ў бок нязначнага дамінавання самак (суадносіны самцы:самкі 1:1,1). Прыводзяцца рэкамендацыі па рацыянальным выкарыстанні біялагічных рэсурсаў каштоўнага гатунку.

Ключавыя словы: гадзюка звычайная, прамысловыя рэсурсы, папуляцыя, змяіны яд, прасторавае размеркаванне

Введение

Практическое использование биологически активных веществ и, в частности, токсинов животного происхождения, выделяется как одно из наиболее перспективных направлений развития современной химико-фармацевтической отрасли [1]. Медицинские препараты, изготовленные на основе змеиных ядов, обладают широким спектром лечебных свойств и применяются в качестве болеутоляющих средств, при лечении невритов, для стимуляции иммунологической реакции организма, при диагностике и лечении заболеваний свертывающей системы крови [1].

Одним из наиболее ценных видов животного мира Беларуси является гадюка обыкновенная (*Pelias berus*, L. 1758) (рис. 1), яд которой применяется при производстве медицинских препаратов, используемых при лечении невралгий, артралгий, миалгий, радикулитов, артритов, миозитов и периартритов [1–3].



Рис. 1. Гадюка обыкновенная – ценный ресурсный вид животного мира Беларуси

Беларусь, благодаря своим природно-климатическим особенностям (относительно мягкий климат, значительная площадь лесоболотных угодий, высокая сохранность природных ландшафтов), выделяется сравнительно высокой численностью этого вида [3, 4]. В связи с этим в 60–70-е гг. прошлого века на ее территории проводился массовый отлов гадюк для зоокомбинатов СССР. По некоторым данным, только в районе озер Выгонощанское и Бобровицкое (Ивацевичский, Ганцевичский и Ляховичский районы Брестской области) в течение двух десятилетий было добыто от 20 до 50 тыс. змей этого вида [5]. В первой половине 1990-х годов отлов (нередко незаконный и бесконтрольный) в различных регионах республики осуществляли кооперативы и частные лица. Ранее и в настоящее время промысел гадюки производится без соблюдения научных основ рационального использования биологических ресурсов, которые базируются на точных данных о численности, половозрастной структуре и темпах воспроизводства популяции. На практике отлов сводится к нерегламентированной эксплуатации мест с высокой концентрацией змей, так называемых «очагов».

Цель настоящей работы – оценка пространственного размещения, численности и промысловых ресурсов популяции обыкновенной гадюки на территории Беларуси, которые необходимы для разработки научных основ ресурсосберегающей стратегии использования этого ценного вида. Работа выполнена в рамках задания ГНТП «Разработка и освоение инновационных технологий рационального использования природных ресурсов и повышения качества окружающей среды».

Материалы и методы

Полевые исследования проводили в 2011–2017 гг. на территории 43 административных районов Беларуси (34,7 % всех районов республики). За период исследований выявлено и обследовано 740 местообитаний гадюки, в которых произведены количественные учеты змей и описание экологических условий среды их обитания.

Для оценки численности и пространственно-биотопического размещения региональной популяции обыкновенной гадюки в Беларуси использовали методические подходы и рекомендации, разработанные для центральных и северо-западных регионов России [6–11].

Общую численность популяционной группировки рассчитывали на основе показателя средней плотности населения и данных о структуре и площади местообитаний, занимаемых видом. В связи со сложившейся в Беларуси практикой выделения промысловых квот на отлов лицензируемого вида, исследования построены на административно-территориальном принципе. В каждом из обследуемых административных районов закладывали 25–35 модельных площадок, на которых проводили количественные учеты и оценивали структуру местообитаний гадюки, которые при итоговых расчетах экстраполировали на весь район. Модельные участки выбирали на характерных территориях, представляющих собой типичную для данной местности мозаику естественных и трансформированных в результате хозяйственной деятельности человека ландшафтов.

В целях количественной оценки популяции использовали наиболее применяемый в герпетологических исследованиях метод маршрутных учетов на трансектах фиксированной ширины, позволяющий получить наиболее точные и сравнимые данные [12–14]. Данные маршрутных учетов выражались в экз./1 га, относительная численность популяции – в экз./1 км². В связи с сезонной сменой летних и зимних местообитаний, характерной для этого вида в зоне умеренного климата, учеты проводили в летний период – со второй декады мая по первую декаду сентября. Учеты выполняли при наиболее благоприятных для наземной активности гадюк погодных условиях (отсутствие или слабая облачность, *t* воздуха +15–21 °С), как правило, в утренние часы.

Основой для оценки структуры местообитаний (распределение популяции по основным группам занимаемых биотопов-растительных формаций) послужила наиболее принятая схема типологической классификации растительных сообществ Беларуси [15]. Площадь местообитаний определяли по планам устройств лесных хозяйств (лесничеств и лесхозов), а также с использованием других ведомственных крупномасштабных карт масштаба 1 : 100 000 и 1 : 50 000.

Описание местообитаний змей включало ряд наиболее значимых экологических параметров среды обитания: характер растительности (древесная, кустарниковая, травянистая), особенности рельефа, почвенный покров, гидрология, гидрография, микроклимат (режим освещения и влажности), площадь и конфигурация участка, его расположение относительно соседних биоценозов, а также характеристику антропогенных угроз.

Для анализа структурной организации популяции (половой, размерно-возрастной и морфофенотипической) в каждом из административных районов была собрана выборка, численностью не менее 30–35 особей. Общий объем материала, использованного для популяционно-морфологического анализа, составил более 1800 особей.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных показал, что численность обыкновенной гадюки в разных природных и административных районах Беларуси распределена крайне неравномерно (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Биологические ресурсы популяции обыкновенной гадюки (*Pelias berus*) в Беларуси (43 обследованных района)

Область	Площадь обследованных районов, км ²	Площадь местообитаний, км ²	Средняя плотность популяции, экз./га	Численность популяции, тыс. экз.
Гомельская	17409,0	3017,0	13,8	43,2
Минская	14216,0	2220,0	14,4	30,6
Могилевская	9983,0	1920,0	15,0	30,2
Витебская	14094,0	2950,0	12,9	40,1
Гродненская	11684,0	2330,0	19,4	43,2
Брестская	20405,5	3150,0	16,1	60,7
Беларусь	87791,5	15587,0	15,3	247,9

Наиболее крупная территориальная группировка вида сосредоточена на обследованной территории Брестской области (60,7 тыс. экз.), а наименьшая численность гадюк зарегистрирована в Могилевской (30,2 тыс. экз.) и Минской (30,6 тыс. экз.) областях. Как указывалось выше, приведенные величины не соответствуют полной численности популяционных группировок областей, так как обследовалась лишь часть (примерно 30–35 %) наиболее благоприятных административных районов.

В целом общая численность природной популяции обыкновенной гадюки, расположенной на обследованной территории Беларуси, составляет, согласно расчетам, $247,9 \pm 38,6$ тыс. особей. Экстраполируя полученные данные на всю территорию страны, можно полагать, что общая численность региональной популяции этого вида в настоящее время находится в пределах 500–550 тыс. особей.

Наиболее высокая численность популяции обыкновенной гадюки в Минской области отмечена в Вилейском (6,7 тыс. экз.), Логойском (6,3 тыс. экз.) и Пуховичском (5,5 тыс. экз.) районах, отличающихся высокой лесистостью и заболоченностью территории (рис. 2). Численность популяции всех остальных районов не превышала 4,0 тыс. особей. Минимальный уровень установлен для наиболее трансформированного и урбанизированного Минского района (1,3 тыс. экз.).

В Гомельской области значительные ресурсы обыкновенной гадюки сосредоточены в Житковичском районе (9,7 тыс. экз.). Сравнительно высокой численностью отличаются также Калинковичский (9,6 тыс. экз.) и Петриковский (7,6 тыс. экз.) районы.

Наиболее крупная территориальная группировка обыкновенной гадюки в Могилевской области размещена в Осиповичском районе (7,9 тыс. экз.). Значительной численностью отличаются также Бобруйский (5,2 тыс. экз.), Костюковичский (5,1 тыс. экз.) и Краснопольский (4,9 тыс. экз.) районы области.

В Витебской области значительными ресурсами выделяется популяция Городокского района, численностью 9,6 тыс. Сравнительно крупные фрагменты популяции размещены также на

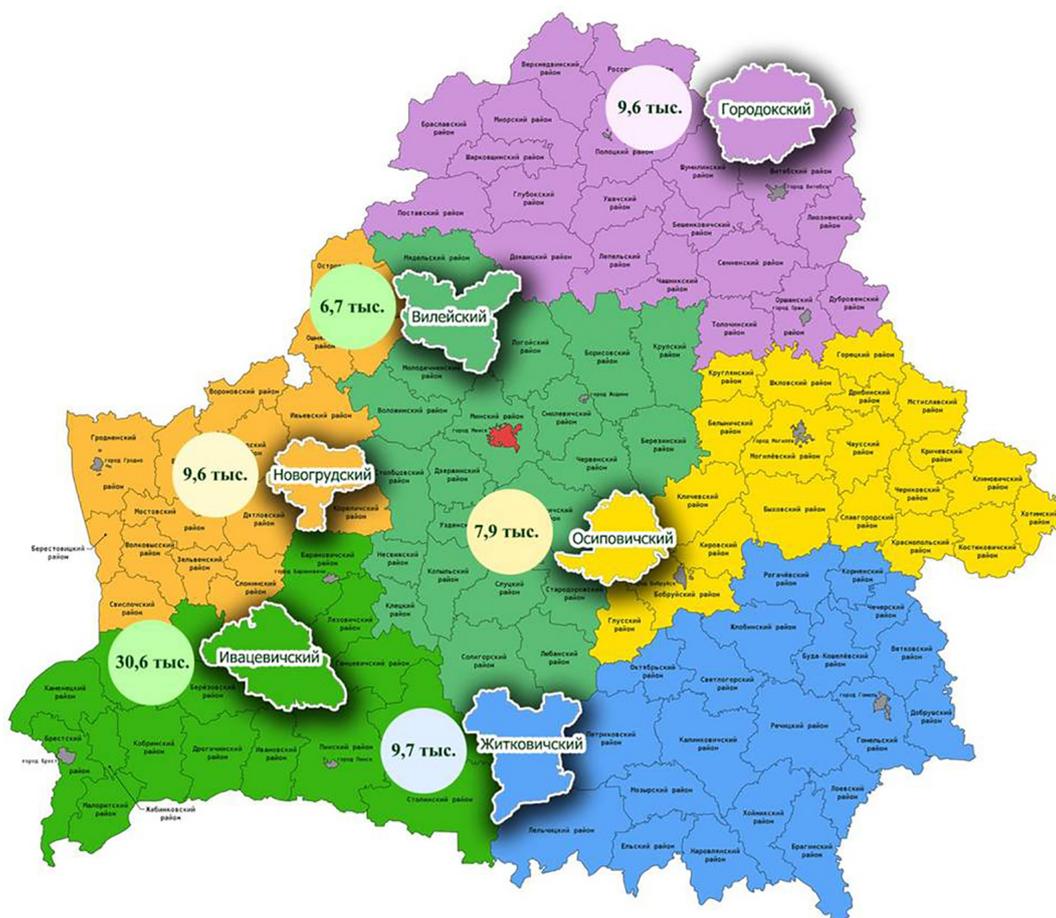


Рис. 2. Карта-схема размещения наиболее крупных популяций гадюки обыкновенной в Беларуси

территории Витебского (8,5 тыс. экз.), Докшицкого (6,4 тыс. экз.) и Лепельского (5,6 тыс. экз.) районов.

Самая высокая численность гадюки в Гродненской области отмечена в Новогрудском (9,6 тыс. экз.) и Щучинском (7,4 тыс. экз.) районах.

Наиболее значительная популяция гадюки обыкновенной Брестской области, а также всей Беларуси в целом расположена в Ивацевичском районе, где в настоящее время обитает ~30,6 тыс. гадюк. Ивацевичская группировка составляет примерно половину численности змей, сосредоточенной на территории обследованных районов области, и сопоставима с популяциями таких областей, как Минская и Могилевская. Высокая численность гадюк в этом районе обусловлена самой значительной площадью благоприятных угодий (900 км²) и высокими значениями средней плотности популяции (34,0 экз./1 км²). Многочисленные популяции гадюки в Брестской области отмечены также на территории Столинского и Ляховичского районов (8,2 и 7,6 тыс. экз. соответственно).

Существенные различия в численности территориальных группировок обыкновенной гадюки, населяющих разные области и административные районы республики, обусловлены различиями в их общей площади, площади благоприятных для змей угодий и среднем уровне плотности популяции. Плотность популяции – важнейший показатель обилия и биологических ресурсов популяции, который формируется под влиянием многих факторов: специфики местных ландшафтов, а также форм и уровня их антропогенной трансформации. В числе основных естественных факторов, влияющих на состояние природных популяций этого вида, выделяются лесистость, заболоченность и мозаичность местности, определяющих защитные, кормовые и другие свойства местообитаний.

В Беларуси обыкновенная гадюка встречается в широком диапазоне природных биоценозов, однако заметное предпочтение отдает лесным и болотным угодьям. В лесных местообитаниях придерживается, как правило, экотонов – пограничных полос между лесными и открытыми участками (опушки, вырубки, старые гари, просеки ЛЭП, откосы автодорог). В связи с этим общая картина пространственного размещения популяции тесно связана с топографией местности, нередко повторяя мозаичный рисунок сети биоценологических границ.

Наиболее предпочитаемыми естественными местами обитаниями гадюки в Беларуси являются влажные, хорошо освещенные лесные биоценозы: березняки, ольшаники, смешанные хвойно-мелколиственные леса и сосняки. К категории наиболее распространенных биотопов относятся также прибрежные участки разнообразных водоемов (откосы мелиоративных каналов, береговая зона прудов и других небольших водоемов). Проверенными местами обитания являются разнотипные болота – верховые, низинные и переходные.

Показатель плотности популяции обыкновенной гадюки на территории Беларуси в летний сезон варьирует в очень широких пределах – от 0,5 до 150 экз./га, однако средний показатель обилия составляет 15–25 экз./га. Средний уровень плотности в разных природных регионах и административных районах республики, как указывалось, значительно отличается (табл. 2).

Довольно часто высокая численность популяции формируется в отдельных радикально трансформированных или появившихся в результате хозяйственной деятельности человека местообитаниях, например, по берегам мелиоративных каналов, вдоль обочин лесных дорог и по лесным опушкам, граничащим с сельхозугодьями. Высокая концентрация змей в таких местах обусловлена благоприятным микроклиматом и обилием мышевидных грызунов, составляющих основу пищевого рациона змей этого вида.

Вместе с тем этот вид совершенно отсутствует или очень редок в урбанизированных зонах (деревни, поселки, города, пригородные зеленые зоны) и местах интенсивной рекреации (вокруг крупных озер, водохранилищ, санаториев, детских лагерей), а также на огромных территориях сельскохозяйственных полей. Радикальная трансформация природных ландшафтов неуклонно ведет к серьезным, нередко необратимым изменениям местообитаний, снижению их экологической емкости и численности, исчезновению вида.

Согласно результатам выполненных исследований, в различных административных районах Беларуси примерно 75–90 % территории составляют малопригодные для жизнедеятельности этого вида ландшафты, тогда как на благоприятные местообитания приходится лишь 15–20 % общей площади.

Т а б л и ц а 2. Структура местообитаний и относительная численность (плотность) популяции гадюки на обследованной территории Брестской области

Группы местообитаний	n, %	Плотность, экз./га	
		min–max	<i>M</i> ± <i>m</i>
Мелиоративные каналы (откосы)	54 (19,9)	1,5–165,0	34,8±2,8
Смешанные хвойно-мелколиственные леса*	31 (11,4)	2,5–121,5	29,5±1,8
Верховые болота	39 (14,3)	2,9–100,7	16,8±1,9
Березняки*	37 (13,6)	3,7–165,6	47,9±4,8
Ольшаники*	27 (9,9)	6,5–137,5	46,8±5,8
Сосняки*	23 (8,5)	1,97–101,7	26,7±2,5
Низинные болота	18 (6,6)	2,3–76,8	18,9±1,8
Пойменные луга	6 (2,2)	3,4–143,7	39,8±4,6
Автодороги (обочины)	11 (4,0)	4,3–230,6	25,7±3,8
Прибрежные участки рек и водоемов	8 (2,9)	5,5–80,9	25,6±2,6
Брошенные хутора и деревни	3 (1,1)	5,6–76,8	27,7±2,4
Железные дороги (откосы насыпей)	11 (0,4)	2,3–32,7	9,8±2,4
Лесополосы и островные леса	14 (5,1)	6,7–34,6	14,6±3,4

* Опушки, редколесья, просеки.

Ядопродуктивность обыкновенной гадюки зависит прежде всего от размеров и массы тела змей, связанными в свою очередь с их полом. Для оценки структурной организации популяции на территории страны была собрана и статистически обработана выборка, включающая более 1800 экземпляров разного пола и возраста, репрезентативно отражающая структуру местного населения *P. berus*. Анализ полученных данных показал, что в настоящее время на территории Беларуси доминируют средние по размерам особи, длина тела которых находится в пределах 60–75 см (рис. 3). Соотношение численности неполовозрелых особей, самцов и самок составляет 30, 33 и 37 % соответственно. Половой баланс в белорусской популяции сдвинут в сторону некоторого преобладания самок, в соотношении 1:1,1.

На территории Беларуси широко распространены 3 основных цветовых формы гадюки: I – серая с более темным рисунком; II – коричневая с более темным рисунком; III – черная, или меланисты. Новорожденные и молодые гадюки в возрасте до 3-4 лет имеют коричневую окраску (вариант II). Почти все взрослые гадюки (97,1 %) коричневого цвета были представлены самками, тогда как почти все серые особи (96,9 %) – самцами. Меланистические особи среди взрослых змей разного пола встречались с равной частотой (1:1).

Различий по количеству продуцируемого яда у разных цветовых форм обыкновенной гадюки на территории Беларуси нами не установлено. Тем не менее цветовой признак можно использовать при отлове гадюк, так как позволяет осуществлять визуальную селекцию змей по полу уже на этом этапе промысла.

Размеры гадюк, обитающих в различных биотопах, могут значительно различаться, что связано с их экологическими условиями и в первую очередь плотностью и доступностью мелких позвоночных животных, защитными условиями, доступностью для хищников, параметрами мест зимовки. Крупные змеи отмечались, как правило, в таких наиболее продуктивных биоценозах, как поймы рек и влажные леса, граничащие с агроценозами, тогда как мелкие обычно обитали на открытых верховых болотах.

Рациональный подход промысла обыкновенной гадюки должен быть направлен на максимальное ресурсосбережение природных популяций этого вида и базироваться на нескольких ключевых принципах.

Отлов неполовозрелых особей из-за их низкой ядопродуктивности и высокой значимости для воспроизводства популяции необходимо полностью запретить. Из популяции должны изыматься преимущественно те особи, которые составляют группу наиболее высокой естествен-

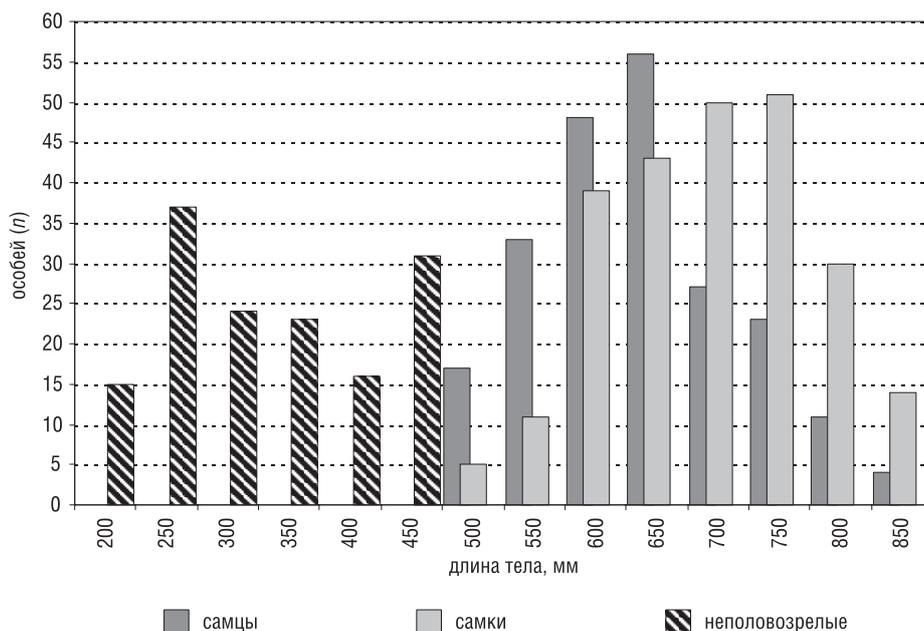


Рис. 3. Размерно-возрастная и половая структура популяции обыкновенной гадюки в Беларуси

ной смертности и оставившие после себя максимальное потомство. В эту категорию попадают наиболее крупные и соответственно самые старые особи. Доля самок не должна превышать 30 % от общей численности отловленных змей. Объемы промыслового изъятия должны строго соответствовать определенной части от общего запаса популяции, которая, согласно расчетам, основанным на показателях структуры и воспроизводства популяции, не должны превышать 10 % численности популяции (табл. 3).

Промысел следует проводить лишь после точной предварительной оценки численности, пространственного размещения и структуры популяции, только в тех районах, которые рекомендованы для этих целей, а также в тех размерах, которые установлены для конкретных популяций. Преимущество при отлове необходимо отдавать зонам интенсивного воздействия антропогенных факторов: участкам рекреации, обочинам автомобильных дорог, окрестностям населенных пунктов. Минимальные размеры добываемых гадюк должны составлять 45 см (самцы) и 55 см (самки). Оптимальным подходом при организации промысла является изъятие рекомендуемой части змей в течение одного сезона (с апреля по сентябрь) или же изъятие этой численности в течение 2–3 сезонов. Повторный отлов на эксплуатируемом участке можно проводить лишь после полного восстановления запасов.

Т а б л и ц а 3. Основные показатели структуры и воспроизводства популяции обыкновенной гадюки в Беларуси

Показатель	Значение
SR , вторичное соотношение полов (самцы : самки)	1,1:1
Nd , доля самок, %	30
Ngd , доля репродуктивных самок, % *	15
E , средняя плодовитость самок (количество молодых в помете), экз.	7,3
Tf , возраст наступления половой зрелости самок, лет	4–5
T , средняя продолжительность жизни самок в природе, лет	9
Pg , ежегодный прирост популяции, % от общей численности N	109,5

* Репродуктивный цикл самок в Беларуси составляет 2 г.

Результаты оценки современных запасов обыкновенной гадюки на территории Беларуси, а также предлагаемые промысловые квоты, составляющие примерно 10 % от общей численности, дают основания считать, что ежегодно без ущерба для региональной популяции можно добывать 10–15 тыс. гадюк [2, 4, 16–18]. Из сферы промысла необходимо исключить районы, численность популяционных группировок которых не превышает 5 тыс. особей. Отлов змей в таких районах, которые составляют примерно половину от всех обследованных, может привести к нарушению естественной структуры и воспроизводства популяции гадюки и негативным последствиям для экосистем.

Выводы

1. Современная численность региональной популяции обыкновенной гадюки в Беларуси, согласно расчетам, основанным на результатах полевых оценок 2011–2017 гг., составляет 500–550 тыс. особей.

2. Наиболее крупная территориальная группировка гадюки размещена в Брестской области (60,7 тыс. экз.), наименьшая – в Могилевской (30,2 тыс. экз.) и Минской (30,6 тыс. экз.) областях. Наиболее крупная популяция Брестской области, а также Беларуси в целом отмечена в Ивацевичском районе (30,6 тыс. гадюк).

3. Биологические запасы различных популяционных группировок, населяющих разные административные районы страны, определяются общей площадью района, площадью видо-вых местообитаний и средним уровнем относительной численности (плотности) популяции. Величина плотности белорусской популяции варьирует от 0,5 до 150 экз./га, средний уровень составляет 15–25 экз./га.

4. В структуре белорусской популяции доминируют средние по размерам особи, длина тела которых находится в пределах 60–75 см. Доля неполовозрелых особей в популяции составляет 30 %, половой баланс сдвинут в сторону незначительного преобладания самок (соотношение самцы:самки 1:1,1).

Список использованных источников

1. Даревский, И. С. Методы изучения рептилий в заповедниках / И. С. Даревский // Амфибии и рептилии заповедных территорий. М., 1987. – С. 25–32.
2. Динесман, Л. Г. Методы количественного учета амфибий и рептилий / Л. Г. Динесман, М. Л. Калецкая // Методы учета численности и географического распределения наземных позвоночных. – М., 1957. – С. 329–341.
3. Дробенков, С. М. Оценка численности гадюки обыкновенной в естественных и антропогенных ландшафтах Белоруссии / С. М. Дробенков // Всесоюз. совещ. по проблеме кадастра и учета животного мира. – 1989. – Т. 3. – С. 270–271.
4. Божанский, А. Т. Биология, охрана и рациональное использование обыкновенной и кавказской гадюк : автореф. дис ... канд. биол. наук : 03.00.08 / А. Т. Божанский ; АН СССР. – М., 1986. – 21 с.
5. Дробенков, С. М. Влияние селективного отлова на популяционную динамику гадюки обыкновенной (*Vipera berus* L.) / С. М. Дробенков // Проблемы изучения, сохранения и использования биологического разнообразия животного мира: тез. докл. 7-й зоологич. конф. – М., 1994. – С. 325–327.
6. Дробенков, С. М. Перспективы и научные задачи практического использования гадюки обыкновенной (*Vipera berus*) в Беларуси / С. М. Дробенков // Современные экологические проблемы устойчивого развития Полесского региона и сопредельных территорий : наука, образование, культура : Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2009. – С. 114–115.
7. Дробенков, С. М. Современное состояние и перспективы использования биологических ресурсов гадюки обыкновенной (*Pelias berus*) в Беларуси / С. М. Дробенков // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов : материалы III Междунар. науч.практ. конф. – М., 2015. – Ч. 2. – С. 113–115.
8. 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.
9. Пикулик, М. М. Охрана и рациональное использование гадюки обыкновенной в Белоруссии / М. М. Пикулик, С. В. Косов: Информ. листок БелНИИНТИ. № 185-1986. – Минск, 1986. – 3 с.
10. Бакиев, А. Г. Проблема рационального использования гадюковых змей в России : регламентация размерно-полового состава отлавливаемых для серпентариев обыкновенных гадюк / А. Г. Бакиев, А. Г. Маленев // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности : 4-я Всерос. науч.-практ. конф. – 1999. – Т. 3. – С. 304.
11. Челинцев, Н. Г. Методы учета животных на маршрутах / Н. Г. Челинцев // Экологические особенности охраны животного мира. – М., 1985. – С. 74–81.
12. Юркевич, И. Д. Растительность Белоруссии, ее картографирование и охрана / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адериго. – Минск : Наука и техника, – 1979. – 352 с.
13. Бахарев, В. А. Эколого-фаунистический анализ пресмыкающихся Белоруссии : автореф. дис ... канд. биол. наук : 03.00.08 / В. А. Бахарев ; АН БССР. – Минск, 1982. – 21 с.
14. Дробенков, С. М. Распределение и численность обыкновенной гадюки (*Vipera berus*) в некоторых регионах Гомельской и Минской областей Беларуси / С. М. Дробенков // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2012. – С. 94–95.
15. Змеи Волжско-Камского края / А. Г. Бакиев [и др.]. – Самара : Изд-во Самар. науч. центра РАН, – 2004. – 192 с.
16. Банников, А. Г. Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР / А. Г. Банников, И. С. Даревский, В. Г. Ищенко. – М. : Просвещение, – 1977. – 450 с.
17. Макеев, В. М. Охрана ядовитых змей в СССР и перспективы рационального использования их запасов / В. М. Макеев // Вопросы герпетологии : 5-я Всесоюз. герпетологич. конф. – М., 1981. – С. 86–87.
18. Орлов, Б. Н. Ядовитые животные и растения СССР / Б. Н. Орлов, Д. Б. Гелашвили, А. К. Ибрагимов. – М. : Высш. шк., 1990. – 272 с.

Поступила 26.12.2017

ISSN 1810-9810 (Print)

УДК 592:502.4(476)

М. Д. Мороз, Ю. Г. Гигиняк, И. Ю. Гигиняк, В. М. Байчоров*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: mdmoroz@bk.ru***ВИДОВОЙ СОСТАВ ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ РОДНИКОВО-РУЧЬЕВОГО
КОМПЛЕКСА «ТРОФИМОВА КРИНИЦА»**

Родниковые комплексы представляют собой совокупность холодных источников разного типа (лимнокренов, геокренов или реокренов) и связанные с ними другие типы континентальных водоемов (чаще ручьи или малые реки) или части их акватории, объединенные одним свойством – стабильно низкой температурой воды. В большинстве родниковых комплексах температура воды в течение года изменяется в пределах 3–6 °С зимой и 8–10 °С летом. Изучен видовой состав водных беспозвоночных родниково-ручьевого комплекса «Трофимова криница». Установлена таксономическая структура и получена базовая фаунистическая информация. Гидрохимические показатели воды родниково-ручьевого комплекса «Трофимова криница» соответствуют параметрам питьевой воды. Выявлено 26 видов, являющихся представителями макрозообентосного и плейстонного комплексов и относящихся к 4 типам водных беспозвоночных: Mollusca – 4; Platyhelminthes – 1; Annelida – 2 и Arthropoda – 19 видов и форм. На основании результатов исследований сделан вывод, что в биотопах родниково-ручьевого комплекса обитает относительно богатая фауна водных беспозвоночных, сходная с таковыми в холодных источниках в других областях Беларуси. Доминирующим видом являлись личинки веснянки *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) – 53,08 % от всех выявленных водных беспозвоночных в родниковом комплексе «Трофимовой криницы». Среди выявленных водных беспозвоночных следует отметить следующие виды – *Crenobia alpina* (Dana, 1766), *Pisidium personatum* (Malm, 1855), *Candona candida* (O.F. Mueller, 1845), *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) и *Velia caprai* (Tamanini, 1947), являющиеся представителями кренофильной фауны.

Ключевые слова: родниковые комплексы, холодные источники, беспозвоночные, видовой состав, фауна

M. D. Moroz, J. G. Giginyak, I. J. Giginyak, V. M. Baitchorov*Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources, Minsk, Belarus,
e-mail: mdmoroz@bk.ru***SPECIES COMPOSITION OF AQUATIC INVERTEBRATES OF THE SPRING AND STREAM COMPLEX
“TROFIMOVA KRINITSA”**

Spring complexes are a set of cool different types of sources (limnokren, gelokren or reokren) and associated other types of continental water bodies (mostly streams or small rivers) or part of their waters are United by one feature – the consistently low water temperature. In most spring systems, the water temperature during the year varies between 3–6 °C in winter and 8–10 °C in summer. Aquatic invertebrates of the spring and stream complex “Trofimova krinitza” were studied. The taxonomy and faunistic information of the received basic information. Hydrochemical indicators of water spring-stream complex “Trofimova krinitza” well meet the need of drinking water. 26 species of macrozoobenthos and pleystone complexes belonging to 4 phylum of invertebrates were found: Mollusca – 4; Platyhelminthes – 1; Annelida – 2 and Arthropoda – 19 species and forms. The conclusion is drawn that in biotopes spring and stream complex rather rich fauna of water invertebrates similar to those lives in cold springs in other areas of Belarus. The dominant species was the larvae of stoneflies *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) – 53,08 % of all identified aquatic invertebrates the spring complex “Trofimova krinitza”. Among the revealed water invertebrate animals it should be noted the following types – *Crenobia alpina* (Dana, 1766), *Pisidium personatum* (Malm, 1855), *Candona candida* (O.F. Mueller, 1845), *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) and *Velia caprai* (Tamanini, 1947), are representatives of kcrinophylos fauna.

Keywords: spring complexes, cold springs, invertebrates, species composition, fauna

М. Д. Мароз, Ю. Р. Гігіняк, І. Ю. Гігіняк, У. М. Байчароў*Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсам, Мінск, Беларусь,
e-mail: mdmoroz@bk.ru***ВИДАВЫ СКЛАД ВОДНЫХ БЕСХРЫБЕТНЫХ КРЫНІЧНА-РУЧАЁВАГА КОМПЛЕКСУ «ТРАФІМАВА КРЫНІЦА»**

Крынічныя комплексы уяўляюць сабой сукупнасць халодных крыніц рознага тыпу (лімнакрэнаў, гелакрэнаў або реакрэнаў) і звязаныя з імі іншыя тыпы кантынентальных вадаёмаў (часцей ручаі ці малыя рэкі) або часткі іх акваторыі, аб'яднаныя адной уласцівасцю – стабільна нізкай тэмпературай вады. У большасці крынічных комплексаў тэмпература вады на працягу года змяняецца ў межах 3–6 °С зімой і 8–10 °С летам. Вывучаны відавы склад водных бесхрыбетных крынічна-ручаёвага комплексу «Трафімава крыніца». Усталявана таксанамічная структура і атрымана базавая фаўністычная інфармацыя. Гідрахімічныя паказчыкі вады крынічна-ручаёвага комплексу «Трафімава крыніца»

адпавядаюць параметрам пітной вады. Выяўлена 26 відаў бесхрыбетных, якія з'яўляюцца прадстаўнікамі макразоабентоснага і плейстоннага комплексаў і належаць да 4 тыпаў водных бесхрыбетных жывёл: Mollusca – 4; Platyhelminthes – 1; Annelida – 2 і Arthropoda – 19 відаў і формаў. На падставе вынікаў даследаванняў зроблена выснова аб тым, што ў біятопаў крынічна-ручаёвага комплексу насяляе адносна багатая фаўна водных бесхрыбетных, падобная з такімі ў халодных крыніцах іншых абласцей Беларусі. Дамінуючым відам з'яўляліся лічынкі вяснянкі *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) – 53,08 % ад усіх выяўленых водных беспазваночных у крынічным комплексе «Трафімава крыніца». Сярод выяўленых водных бесхрыбетных жывёл варта адзначыць наступныя віды – *Crenobia alpina* (Dana, 1766), *Pisidium personatum* (Malm, 1855), *Candona candida* (OFMueller, 1845), *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) і *Velia caprai* (Tamanini, 1947), якія з'яўляюцца прадстаўнікамі крэнафільнай фаўны.

Ключавыя словы: крынічныя комплексы, халодныя крыніцы, бесхрыбетныя, відавы састаў, фаўна

Введение

Родниковые комплексы представляют собой совокупность холодных источников разного типа (лимнокренов, гелокренов или реокренов) и связанные с ними другие типы континентальных водоемов (чаще ручьи или малые реки) или части их акватории, объединенные одним свойством – стабильно низкой температурой воды. В большинстве родниковых комплексах температура воды в течение года изменяется в пределах 3–6 °С зимой и 8–10 °С летом.

Значение этих экосистем в поддержании видового разнообразия особенно велико для стран, имеющих в основном равнинные ландшафты, поскольку часто только здесь могут обитать виды, характерные для водоемов горных систем Центральной или Северной Европы. По этой причине такие природные комплексы являются уникальным типом экологических систем и могут быть отнесены к «ключевым биотопам». В Беларуси источники и родниковые комплексы весьма многочисленны в крупнохолмистых ландшафтах Белорусской гряды. Однако фауна водных беспозвоночных, обитающих в этих экосистемах, изучена еще недостаточно, особенно это относится к восточной части Беларуси.

Цель наших исследований – изучение таксономической структуры фауны водных беспозвоночных животных родниково-ручьевого комплекса «Трофимова криница».

В системе административно-территориального деления родниково-ручьевого комплекс «Трофимова криница» расположен в Шкловском районе Могилевской области. Родник расположен на левом берегу ручья – левого притока р. Вилейка, в 800 м юго-западнее д. Александрия.

Современный рельеф образовался преимущественно в эпоху оледенений. Землепользователем является ГЛХУ «Могилевский лесхоз» Шкловское лесничество. В комплексе строевой «Трофимова криница» входят каптированный деревянным срубом сам родник (лимнокрен), слив (реокрен, ручей от родникового выхода), купель со сливом (родниковый ручей от купели), помещение для отдыха, деревянный настил.

Родниково-ручьевого комплекс «Трофимова криница» не располагается в границах национальной экологической сети и системы особоохраняемой природной территории, не входит в зоны отдыха и курортов, однако является проектируемым памятником природы местного значения.

Материалы и методы исследования

Сборы и наблюдения, послужившие материалом для данного сообщения, были проведены в октябре 2017 г.

Несмотря на каптаж и благоустройство территории, собственно родник и родниковый ручей поддерживает биоразнообразие обитающей в нем фауны гидробионтов в удовлетворительном состоянии. Более подвержена антропогенному воздействию произрастающая в родниковой долине, частично заболоченной, околородная и другая растительность. Проведенный каптаж не имеет отрицательных последствий для гидрологии родниковых выходов, что подтверждается их бесперебойным функционированием. Скорость потока воды составляет около 0,8 м/с. Температура родниковой воды в источнике во время проведения исследований составляла 8,0 °С.

Химический состав воды приведен в табл. 1. Как видно из таблицы, ни один из испытанных показателей не превышает значений ПДК для питьевой воды.

Отбор проб гидробионтов осуществлялся при помощи стандартного гидробиологического сачка, методом траления. Кроме того, на каменистых грунтах и в местах развития макрофи-

тов производилась выемка камней и корней растений с их последующим осмотром и отбором животных. Отобранные пробы макрозообентосных объектов фиксировали 96%-ным спиртом. Всего было изучено 729 экз. водных беспозвоночных, находящихся на личиночной или имагинальной стадиях развития.

Результаты и их обсуждение

За время исследований было выявлено 26 видов, являющихся представителями макрозообентосного и плейстонного комплексов и относящихся к 4 типам водных беспозвоночных: Mollusca – 4; Platyhelminthes – 1; Annelida – 2 и Arthropoda – 19 видов и форм (см. табл. 2).

Оценивая выявленный видовой состав водных беспозвоночных животных родниково-ручьевого комплекса «Трофимова криница», следует отметить, что он относительно богат.

Ранее проведенные нами исследования родниковых комплексов показали, что непосредственно в отдельных родниковых выходах редко встречаются более 20–30 видов водных беспозвоночных [1]. Однако в ряде хорошо развитых родниково-ручьевых системах, таких как «Иканы» (Борисовский р-н, Минская обл.), «Истоки Лани» (Несвижский р-н, Минская обл.) и «Рогово» (Минский р-н), нами ранее было обнаружено соответственно 29, 69 и 62 вида водных беспозвоночных [2–4].

В изученных биотопах «Трофимовой криницы» наибольшее количество видов было обнаружено в собственно родниковом ручье – 18 видов. С другой стороны, наибольшая численность водных беспозвоночных животных отмечена в родниковом ручей после «купели» (реокрене) – 416 экз., здесь было выявлено 16 видов.

Наименьшее количество выявленных видов водных беспозвоночных, которые имели и наименьшую численность, было отмечено в месте выхода родниковых вод на дневную поверхность (лимнокрен) – 11 видов, 53 экз. соответственно.

Доминирующим видом являлись личинки веснянки *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) – 53,08 % от всех выявленных водных беспозвоночных в родниковом комплексе «Трофимова криница».

Среди выявленных водных беспозвоночных следует отметить следующие виды: планарию *Crenobia alpina* (Dana, 1766), моллюска *Pisidium personatum* Malm, 1855, остракоду *Candona candida* (O. F. Mueller, 1845), веснянку *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) и водного клопа *Velia caprai* (Tamanini, 1947). Все эти животные проявляют ярко выраженные реофильные и оксифильные свойства и, что самое важное, также являются представителями кренофильной фауны и встречаются в Беларуси в основном в родниковых экосистемах.

Плоский червь *Crenobia alpina* (сем. Planariidae) ранее в Беларуси был обнаружен только в единичных родниково-ручьевых комплексах Витебской и Минской областях. Следует также обратить внимание на то, что ближайшие известные местообитания данного вида вне Беларуси – водоемы в горных системах Центральной Европы. *Crenobia alpina* является интерстициальным видом и предпочитает обитать в биотопах с температурой воды не выше 15 °С [5]. Необходимо отметить, что *Crenobia alpina* охраняется в Чехии, категория охраны EN [6].

Т а б л и ц а 1. Химический состав воды холодного источника «Трофимова криница»

Наименование показателя, единица измерения (17.10.2017)	Значение показателя по ТНПА	
Общая минерализация, мг/дм ³	406,3	1000,0
Массовая концентрация ортофосфатов (в пересчете на фосфор), мгР/дм ³	0,049	1,1
Массовая концентрация ортофосфатов (PO ₄ ³⁻), мг/дм ³	0,15	3,5
Концентрация железа общего, мг/дм ³	<0,1	0,3
Концентрация сульфатов (SO ₄ ²⁻), мг/дм ³	13,8	500
Концентрация магния (Mg ²⁺), мг/дм ³	17,0	–
Концентрация кальция (Ca ²⁺), мг/дм ³	72,1	–
рН (водородный показатель), единицы рН	8,0	6-9
Концентрация хлоридов (Cl ⁻), мг/дм ³	12,2	350
Концентрация натрия (Na ⁺), мг/дм ³	2,2	120
Концентрация калия (K ⁺), мг/дм ³	<0,2	50
Концентрация гидрокарбонатных ионов (HCO ₃ ²⁻), мг/дм ³	286,7	–
Цветность, градусы	2	20
Концентрация ионов аммония (NH ₄ ⁺), мг/дм ³	<0,1	–
Концентрация азота аммонийного, мгN/дм ³	<0,08	–
Концентрация нитратов (NO ₃ ⁻), мг/дм ³	2,1	45
Концентрация азота нитратного, мгN/дм ³	0,47	10
Концентрация нитритов (NO ₂ ⁻), мг/дм ³	0,017	3,3
Концентрация азота нитритного, мгN/дм ³	0,005	1,0

Таблица 2. Таксономическая структура водных беспозвоночных животных родниково-ручьевого комплекса «Трофимова криница». Биотопы: I – место выхода родниковых вод (лимнокрен); II – родниковый ручей после «купели» (реокрен); III – собственно родниковый ручей

Таксон, вид	Биотопы, экз.			Всего, экз.	Таксон, вид	Биотопы, экз.			Всего, экз.
	I	II	III			I	II	III	
Тип Mollusca					Отр. Plecoptera				
Кл. Gastropoda					Сем. Nemouridae				
Отр. Neotaenioglossa					<i>Nemurella pictetii</i> (Klapálek, 1900)	1	282	106	388
Сем. Bithyniidae					Отр. Ephemeroptera				
<i>Bithynia leachii</i> (Sheppard, 1823)	1		1	2	Сем. Baetidae				
Отр. Pulmonata					<i>Baetis vernus</i> Curtis, 1834			1	1
Сем. Lymnaeidae					Отр. Trichoptera				
<i>Radix</i> sp.			2	2	Сем. Limnephilidae				
Сем. Planorbidae					<i>Chaetopteryx villosa</i> (Fabricius, 1798)	12	38	17	67
<i>Gyraulus crista</i> (Linnaeus, 1758)	1			1	<i>Limnephilus rhombicus</i> (Linnaeus, 1758)			6	6
Класс Bivalvia					<i>Potamophylax rotundipennis</i> (Brauer, 1857)		2		2
Отр. Veneroidea					Отр. Heteroptera				
Сем. Sphaeriidae					Сем. Veliidae				
<i>Pisidium personatum</i> Malm, 1855	1	2	76	79	<i>Velia caprai</i> (Tamanini, 1947)			1	1
Тип Platyhelminthes					Отр. Coleoptera				
Кл. Rhabditophora					Сем. Dytiscidae				
Отр. Seriata					<i>Dytiscidae gen. spp.</i>		5	3	8
Сем. Planariidae					Сем. Hydrophilidae				
<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	3	22	1	26	<i>Anacaena lutescens</i> (Stephens, 1829)		1		1
Тип Annelida					Сем. Scirtidae				
Кл. Oligochaeta					<i>Elodes</i> sp.	4	46	22	72
Отр. Haplotaxida					Отр. Diptera				
Сем. Tubificidae					<i>Centropogonidae gen. spp.</i>		1	4	5
<i>Stylaria lacustris</i> (Linnaeus, 1767)	3			3	<i>Chironomidae gen. spp.</i>		5		5
<i>Oligochaeta gen. spp.</i>	22	1	3	26	<i>Dixidae gen. spp.</i>		3		3
Тип Artropoda					<i>Limoniidae gen. spp.</i>	4	3	3	10
Кл. Ostracoda					<i>Psychodidae gen. spp.</i>		1		1
Отр. Podocopida					<i>Simuliidae gen. spp.</i>		3	2	5
Сем. Candonidae					<i>Stratiomyidae gen. spp.</i>			12	12
<i>Candona candida</i> (O.F. Mueller, 1845)	1		1	2	<i>Tabanidae gen. spp.</i>			2	2
Кл. Insecta					Количество видов	11	16	18	26
Отр. Collembola					Число экземпляров	53	416	263	731
Сем. Poduridae									
<i>Podura aquatica</i> Linnaeus, 1758		1		1					

Pisidium personatum (сем. Sphaeriidae) в Беларуси обитает в основном в родниковых экосистемах. Этот вид моллюска проявляет высокие требования к качеству воды и, в частности, к насыщению ее кислородом [7].

Candona candida (сем. Candonidae) широко распространенный по всей Голарктике вид, размножение которого приурочено к низким значениям температуры воды в водоемах. Популяции рачков населяют самые разнообразные как временные, так и постоянные водоемы от арктических широт до среднеазиатских гор. Для данного вида характерна диапауза при неблагоприятных температурных условиях, когда повышение температуры замедляет развитие молоди до нескольких месяцев.

Nemurella pictetii (сем. Plecoptera), как правило, в Беларуси встречается только в родниковых экосистемах или в биотопах непосредственно связанных с холодными источниками [8].

Velia caprai (сем. Veliidae) является ярко выраженным реофилом. В Беларуси встречается исключительно в холодных источниках и родниковых ручьях [9].

Заключение

Изучен видовой состав водных беспозвоночных родниково-ручьевого комплекса «Трофимова криница». Установлена таксономическая структура и получена базовая фаунистическая информация. На основании результатов исследований сделан вывод о том, что в биотопах родниково-ручьевого комплекса обитает относительно богатая фауна водных беспозвоночных, сходная с таковыми в холодных источниках в других областях Беларуси.

Гидрохимические показатели воды родниково-ручьевого комплекса «Трофимова криница», по ПДК, соответствуют параметрам питьевой воды.

Всего обнаружено 26 видов, являющихся представителями макрозообентосного и плейстонного комплексов и относящихся к 4 типам водных беспозвоночных животных: Mollusca – 4; Platyhelminthes – 1; Annelida – 2 и Arthropoda – 19 видов и форм.

Доминирующим видом являлись личинки веснянки *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) – 53,08 % от всех выявленных водных беспозвоночных в родниковом комплексе «Трофимова криница».

Среди выявленных водных беспозвоночных животных следует отметить следующие виды: планарию *Crenobia alpina* (Dana, 1766), моллюска *Pisidium personatum* (Malm, 1855), остракоду *Candona candida* (O.F. Mueller, 1845), веснянку *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) и водного клопа *Velia caprai* (Tamanini, 1947). Эти животные проявляют ярко выраженные реофильные и оксифильные свойства, а также являются представителями кренофильной фауны.

Список использованных источников

1. Мороз, М.Д. Бентосные животные родниковых экосистем Национального парка «Браславские озера» / М.Д. Мороз [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2007. – №1. – С. 100–106.
2. Мороз, М.Д. Фауна водных беспозвоночных родникового комплекса «Иканы» / М.Д. Мороз, Ю.Г. Гигиняк, В.В. Вежновец // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2002. – №3. – С. 46–51.
3. Мороз, М.Д. Водные и околородниковые беспозвоночные родниково-ручьевого комплекса «Истоки Лани» / М.Д. Мороз, Л.Л. Нагорская, И.Г. Тишиков // Вестник БГУ. – Сер. 2. – 2008. – №1. – С. 42–46.
4. Мороз, М.Д. Фауна водных беспозвоночных родникового комплекса «Рогово» / М.Д. Мороз, В.В. Вежновец, Ю.Ф. Мухин // Вестник БГПУ. – Сер. 3. – 2014. – Т. 1. – С. 22–25.
5. Reynoldson, T.B. A key to the British species of freshwater triclads / T.B. Reynoldson // Freshwater biological association. – 1967. – N23. – 28 pp.
6. Kubiček, F. Tricladida (trojvětvní) / F. Kubiček V. Opravilova // Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Farač J., Král D., Škorpík M. (eds.). – Praha, 2005. – P. 45–48.
7. Лаенко, Т.М. Фауна водных моллюсков Беларуси / Т.М. Лаенко. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 128 с.
8. Мороз, М.Д. Каталог поденок (Ephemeroptera), веснянок (Plecoptera) и ручейников (Trichoptera) Беларуси / М.Д. Мороз, Т.П. Липинская. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 315 с.
9. Лукашук, А.О. Водные полужесткокрылые Беларуси / А.О. Лукашук, М.Д. Мороз // Фауна, вопросы экологии, морфологии и эволюции амфибиотических и водных насекомых России: Доклады III Всерос. симпоз. по амфибиотическим и водным насекомым и клещам. – Воронеж, 2007. – С. 171–177.

Поступила 15.01.2018

Л. А. Беспятова¹, Е. И. Бычкова², М. М. Якович², С. В. Бугмырин¹

¹Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия, e-mail: biology@krc.karelia.ru

²Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», Минск, Беларусь, e-mail: zoology@biobel.by

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ОЧАГОВ КЛЕЩЕВЫХ ИНФЕКЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ И БЕЛАРУСИ

Приведены данные по распространению и численности двух видов иксодовых клещей: таежного *Ixodes persulcatus* (Schulze, 1930) и европейского лесного *Ixodes ricinus* (Linnaeus, 1758), а также по эпидемиологическому проявлению природных очагов клещевого энцефалита (КЭ) и иксодовых клещевых боррелиозов (ИКБ) на территориях Карелии и Беларуси. В разных частях ареалов двух видов иксодовых клещей на данных территориях установлены особенности встречаемости клещей и эпидемиологического проявления природных очагов клещевых инфекций. В настоящее время в Карелии, на северной периферии ареалов таежного и европейского лесного клещей наблюдается расширение границ обитания и увеличение численности эпидемиологически более опасного вида *I. persulcatus*. На территории Беларуси массовым видом иксодовых клещей остается *I. ricinus*, численность которого на протяжении последних лет значительно возросла. Несмотря на то что на данных территориях доминирующими переносчиками инфекций являются разные виды иксодовых клещей: *I. persulcatus* в Карелии и *I. ricinus* в Беларуси, эпидемиологическое проявление природных очагов носит сходный характер и выражается ростом показателей заболеваемости населения как КЭ, так и ИКБ. В то же время основное отличие в эпидемиологическом проявлении природных очагов клещевых инфекций Карелии от Беларуси состоит в более высоком уровне заболеваемости КЭ на территории Карелии.

Ключевые слова: *ixodes persulcatus*, *i. ricinus*, численность, распространение, клещевой энцефалит, иксодовые клещевые боррелиозы, Карелия, Беларусь

L. A. Bespyatova¹, E. I. Bychkova², M. M. Yakovich², S. V. Bugmyrin¹

¹Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Research Centre Russian Academy of Sciences, e-mail: biology@krc.karelia.ru

²Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources, Minsk, Belarus, e-mail: zoology@biobel.by

MANIFESTATION PECULIARITIES OF NATURAL FOCUSES OF TICK-BORNE INFECTIONS ON THE TERRITORY OF KARELIA AND BELARUS

Data on the distribution and abundance of *Ixodes persulcatus* (Schulze, 1930) and *Ixodes ricinus* (Linnaeus, 1758) populations, and on the epidemiological manifestations of natural foci of tickborne encephalitis Lyme borreliosis in different time periods in Karelia and Belarus are reported. Features of the occurrence of these two tick species and the epidemiological manifestation of natural foci of tickborne infections specific to these different parts of the species' ranges have been detected. In Karelia, in the northern periphery of *Ixodes persulcatus* and *Ixodes ricinus* ranges, there has been a spatial expansion and an increase in the abundance of the epidemiologically more dangerous species – *Ixodes persulcatus*. In Belarus, *Ixodes ricinus* remains the most common ixodid species, and its numbers have increased significantly over the past few years. Although the dominant infection vectors in the two areas are different: *Ixodes persulcatus* in Karelia and *Ixodes ricinus* in Belarus, the epidemiological manifestation of natural foci is similar, and is expressed in an increase in the incidence rates of both tickborne encephalitis and Lyme borreliosis. At the same time, the main difference between Karelia and Belarus in the epidemiological manifestation of natural foci of tickborne infections is a higher incidence of tickborne encephalitis in Karelia.

Keywords: *ixodes persulcatus*, *i. ricinus*, abundance, distribution, tick borne encephalitis, ixodid tick-borne borrelioses, Karelia, Belarus

Л. А. Беспятова¹, Л. І. Бычкова², М. М. Яковіч², С. У. Бугмырын¹

¹Інстытут біялогіі «Карэльскі навуковы цэнтр Расійскай акадэміі навук», Петразаводск, Расія, e-mail: biology@krc.karelia.ru

²Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь, e-mail: zoology@biobel.by

АСАБЛІВАСЦІ ПРАЯВЫ ПРЫРОДНЫХ АЧАГОЎ КЛЕШЧАВЫХ ІНФЕКЦЫЙ НА ТЭРЫТОРЫІ КАРЭЛІІ І БЕЛАРУСІ

У артыкуле прыводзяцца дадзеныя па распаўсюджванню і колькасці таежнага кляшча *Ixodes persulcatus* (Schulze, 1930) і еўрапейскага ляснога *Ixodes ricinus* (Linnaeus, 1758), а таксама эпідэміялагічныя праявы прыродных ачагоў кляшчавога энцэфаліту (КЭ) і іксодавых кляшчавых барэліёзаў (ИКБ) у розныя часавыя перыяды на тэрыторыях Карэліі

і Беларусі. У розных частках арэалаў двух відаў іксодавых кляшчоў на дадзеных тэрыторыях устаноўлены асаблівасці сустракаемасці кляшчоў і эпідэміялагічнай праявы прыродных ачагоў кляшчавых інфекцый. У цяперашні час у Карэліі, на паўночнай ускраіне арэалаў таежнага і еўрапейскага ляснага кляшчоў назіраецца пашырэнне межаў і павелічэнне колькасці эпідэміялагічна больш небяспечнага віду – *Ixodes persulcatus*. На тэрыторыі Беларусі масавым відам іксодавых кляшчоў застаецца *Ixodes ricinus*, колькасць якога на працягу апошніх гадоў значна ўзрасла. Нягледзячы на тое што на дадзеных тэрыторыях дамінуючымі пераносчыкамі інфекцый з'яўляюцца розныя віды іксодавых кляшчоў: *Ixodes persulcatus* у Карэліі і *Ixodes ricinus* у Беларусі, эпідэміялагічныя праявы прыродных ачагоў носяць падобны характар і выяўляюцца ў павелічэнні паказчыкаў захворвання насельніцтва як КЭ, так і ИКБ. У той жа час асноўнае адрозненне ў эпідэміялагічнай праяве прыродных ачагоў клешчавых інфекцый Карэліі ад Беларусі складаецца ў больш высокім узроўні захворвання КЭ на тэрыторыі Карэліі.

Ключавыя словы: *ixodes persulcatus*, *i. ricinus*, колькасць, распаўсюджванне, клешчавы энцефаліт, іксодавыя клешчавыя барэліозы, Карэлія, Беларусь

Введение

Среди иксодовых клещей с пастбищно-подстерегающим типом нападения два вида рода *Ixodes* Latr., 1795 – *Ixodes persulcatus* (Schulze, 1930) и *Ixodes ricinus* (Linnaeus, 1758) имеют наибольшее эпизоотологическое и эпидемиологическое значение в качестве биологических (природных) резервуаров и специфических переносчиков возбудителей целого ряда клещевых инфекций. Карелия и Беларусь относятся к числу эндемичных территорий по клещевому энцефалиту (КЭ) и иксодовым клещевым боррелиозам (ИКБ), что определено обитанием здесь основных переносчиков возбудителей данных заболеваний: двух видов иксодовых клещей – *I. persulcatus* и *I. ricinus*.

Карелия входит в Северо-Европейскую провинцию Евразийской таежной области и расположена на юго-восточном склоне Балтийского кристаллического щита. Территория Карелии является лесной зоной с лесистостью до 52 %, ее пересекают две широтные полосы таежной области – северотаежная и среднетаежная с границей, проходящей приблизительно по широте 63 °N. Территория Карелии является северной периферией обитания *I. ricinus* и *I. persulcatus*.

Беларусь расположена на западе Восточно-Европейской равнины, относится к Евразийской таёжной (хвойно-лесной) зоне (северная и центральная части Беларуси) и к Европейской широколиственно-лесной зоне (Белорусское Полесье). Территория Беларуси является юго-западной границей распространения *I. persulcatus* и центром ареала *I. ricinus*.

В результате интенсивной антропогенной трансформации природных комплексов на фоне климатических флуктуаций в последние десятилетия происходят изменения границ обитания, численности иксодовых клещей и проявления эпидемиологической активности природных очагов КЭ и ИКБ [2].

В связи с этим целью исследований – изучение современного состояния населения двух видов иксодовых клещей – *I. ricinus* и *I. persulcatus* и эпидемиологического проявления природных очагов КЭ и ИКБ в разные временные периоды на территориях Карелии и Беларуси.

Материалы и методы исследований

Изучение численности и распространения иксодовых клещей проводилось в различных агроклиматических зонах территорий Карелии (северная, средняя, южная, юго-западная) и Беларуси (северная, центральная, южная). Сборы взрослых клещей проведены в период их активности с растительности и выполнены стандартными методами на флаг из вафельной ткани размером 60×100 с последующим перерасчетом на флаго-км (относительная численность) [2]. В Карелии проанализирован материал по сборам клещей за периоды 1999–2001 и 2006–2014 гг., в Беларуси – 2016–2017 гг. Маршрутные экспедиции в Карелии проходили поэтапно, с июня по июль в 1999–2001 гг., только в Пудожском р-не – с мая по август в 2006–2014 гг., в 10 административных территориях республики, в том числе в 9 районах и в одном городском округе. Всего пройдено более 300 маршрутов, отработано 550 флаго-км, собрано 6200 экз. клещей. Данные по заболеваемости КЭ и ИКБ населения и обращаемости за медицинской помощью в случаях присасывания клещей в республике Карелия анализируются по материалам А. И. Коваленко и др. [3] и «Государственный...» [4]. Данные по заболеваемости КЭ

и ИКБ населения и обращаемости за медицинской помощью в случаях присасывания клещей в Беларуси анализируются по материалам Республиканского центра гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья (РЦГиОЗ) МЗ РБ за 2000–2016 гг. [5].

Видовая идентификация иксодовых клещей выполнена прижизненно на бинокулярном микроскопе (16×), определение отдельных особей произведено на микроскопе Olympus CX 41 с цифровым модулем визуализации и документирования VIDI-GAM, оборудовании центра коллективного пользования «Комплексные фундаментальные и прикладные исследования особенностей функционирования живых систем в условиях Севера» (ЦКП НО ИБ КарНЦ РАН).

Результаты исследований и их обсуждение

Изучение современной ситуации по видовому составу, распространению и численности таежного и европейского лесного клещей в Карелии выявило существенные изменения относительно начального периода исследований в 50–60 годы прошлого века [6, 7]. По результатам многолетних исследований установлено, что в видовом составе фауны эпидемиологически значимых видов иксодовых клещей на территории республики доминирует *I. persulcatus* (ИД – 98,3).

Заметные изменения установлены и в распространении таежного и европейского лесного клещей (рис. 1). Широтная граница обитания таежного клеща проходит по территории средней зоны. Крайняя северная точка обитания *I. persulcatus* отмечена в р-не урочища Кузнаволок (63,75° N; 33,01° E). Ранее этот вид регистрировался на 0,30° южнее. Более значимые изменения коснулись долготных границ распространения *I. persulcatus*. В настоящее время таежный клещ продвинулся до приграничных районов с Финляндией и был отмечен практически по всей среднетаежной подзоне Карелии. Территории массового обитания *I. ricinus* значительно сузились, клещ был обнаружен лишь в нескольких точках западных районов Карелии – Сортавальском, Суоярвском и Питкярантском, на юго-западном побережье Онежского оз. (Прионежский район), единично севернее в Прионежском и Медвежьегорском районах. Таким образом, произошло сокращение границ обитания *I. ricinus* и экспансия на его территории экологически близкого вида *I. persulcatus*. Клещ *I. persulcatus* стал наиболее широко распространенным видом по всей среднетаежной подзоне Карелии.

Заметные изменения за истекший период коснулись и численности этих видов иксодовых клещей в Карелии [6, 7]. Увеличение общей численности двух видов клещей в широтном направлении идет с севера на юг, в долготном – с запада на восток (рис. 1). На территории средней агроклиматической зоны, где был обнаружен только *I. persulcatus*, численность которого была невысокой и составляла 2,8 экз. на флаго-км. В южной зоне

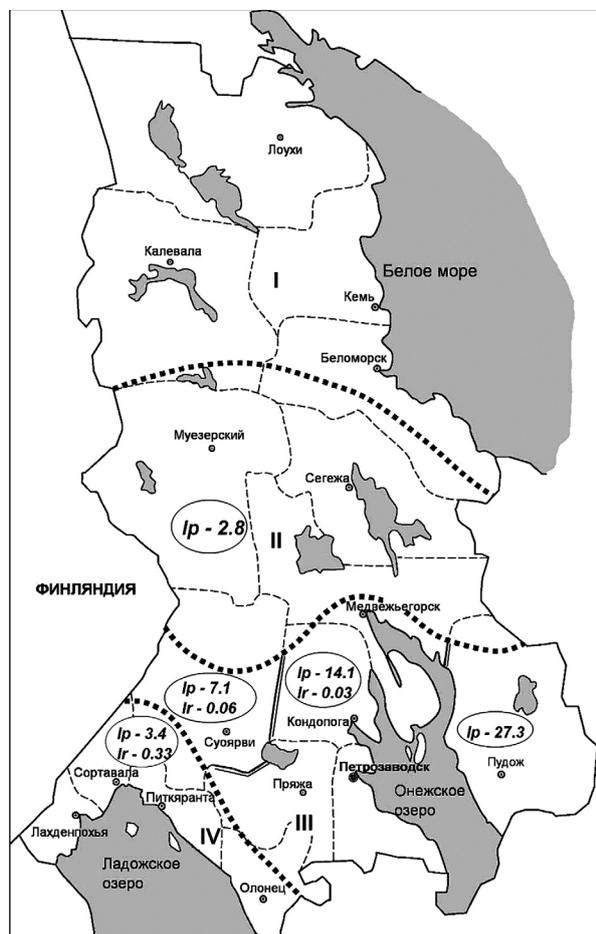


Рис. 1. Распространение и численность иксодовых клещей *Ixodes persulcatus* и *I. ricinus* (экз. на флаго-км) в разных агроклиматических зонах и подзонах Карелии (карта-схема). Обозначения: Ip – *Ixodes persulcatus*, Ir – *I. ricinus*; Климатические зоны (границы выделены точечными линиями): I – северная; II – средняя; III – южная; IV – юго-западная; Подзоны южной климатической зоны (границы выделены двойными линиями): восточная (Пудожский район), западная (Суоярвский район) и центральная (Пряжинский, Кондопожский, Прионежский и Медвежьегорский районы)

обнаружены оба вида клещей с разной численностью по трем подзонам. Обилие *I. persulcatus* увеличивалось с запада на восток, составляя соответственно 7,1 в западной подзоне, 19,7 – в центральной и 27,3 экз. на флаго-км. – в восточной. Численность *I. ricinus* увеличивалась в западном направлении от 0,03 в центральной до 0,06 экз. на флаго-км в западной подзоне южной агроклиматической зоны. На территории юго-западной агроклиматической зоны, где были обнаружены оба вида клещей, численно преобладал *I. persulcatus* – 3,4 относительно *I. ricinus* 0,33 экз. на флаго-км, притом что именно в этой зоне *I. ricinus* имел самые высокие показатели численности.

В последние десятилетия для республики особенно характерно повышение напряженности большинства очагов КЭ и ИКБ, появление новых и, как следствие, увеличение эпидемиологической опасности в целом. Уровень заболеваемости КЭ населения Карелии в период с начала периода регистрации с 1957 г. по настоящее время постоянно варьировал, так колебания показателей заболеваемости на 100 тыс. населения в четырехлетний период 1957–1960 гг. составили 0,1–2,0, в последующие десятилетия средние показатели были соответственно $1,52 \pm 0,6$ в 1961–1970 гг., $2,32 \pm 0,18$ в 1971–1980 гг., $1,04 \pm 0,25$ в 1981–1990 гг., $4,63 \pm 0,49$ в 1991–2000 гг. и $8,67 \pm 0,91$ в 2001–2010 гг. За последние четыре года в 2011–2014 гг. в среднем зафиксировано 5,5 случаев заболеваний на 100 тыс. населения. Самые высокие показатели заболеваемости КЭ в республике были отмечены в 2003-м и 2004-м годах, которые составили 15,3 и 11,6 случаев на 100 тыс. населения. В первое десятилетие современного столетия среднереспубликанские показатели по заболеваемости более чем трехкратно превысили среднефедеральные – 8,7 и 2,8 случаев на 100 тыс. населения, соответственно почти двукратно выросли показатели среднереспубликанские – 8,7 и 4,6 случаев на 100 тыс. населения относительно предыдущего десятилетия. ИКБ у населения Карелии стали диагностировать лишь с 1991 г. В период 1991–2000 гг. заболеваемость ИКБ держалась на уровне $2,32 \pm 0,49$ на 100 тыс. населения. В первое десятилетие – 2001–2010 гг. произошло почти трехкратное увеличение уровня заболеваемости – до $6,8 \pm 0,98$ на 100 тыс. населения. Пики численности заболевших людей пришлось на 2004 г. – 11,0 и 2007 г. – 9,7 случаев на 100 тыс. населения. При этом в первом десятилетии настоящего столетия среднереспубликанские показатели заболеваемости населения ИКБ также превысили среднефедеральные (5,4 случаев на 100 тыс. населения).

Уровень заболеваемости населения КЭ и ИКБ имеет тенденцию на увеличение в направлении с запада на восток, с максимальными значениями по КЭ – в Пудожском, Прионежском и Медвежьегорском районах и по ИКБ – в Медвежьегорском, Кондопожском и Пряжинском районах «Государственный доклад...» [4].

Изучение современной ситуации по видовому составу, распространению и численности иксодовых клещей на территории Беларуси выявило, что фауна эпидемически значимых видов также представлена двумя видами иксодид: *I. ricinus* и *I. persulcatus*. Специальные исследования фауны иксодовых клещей в данном регионе проводились более 50 лет тому назад. Результаты их изложены в монографии И. Т. Арзамасова [8]. По данным [8], таежный клещ отмечен в центральной части Беларуси, занятой хвойными и широколиственно-хвойными лесами, где, по мнению автора, имеются экологически близкие к таежным биотопы, свойственные для данного вида. В настоящее время мы не располагаем данными по относительной численности *I. persulcatus*, вместе с тем по результатам молекулярно-генетических исследований клещ *I. persulcatus* на территории Беларуси обнаружен в 5 районах Витебской области (Витебском, Докшицком, Шумилинском, Лепельском, Полоцком) [9].

Клещи *I. ricinus* распространены по всей территории Беларуси и являются абсолютным доминантом как по численности, так и в видовом отношении по сравнению с *I. persulcatus*. Его относительная численность в природных биотопах (ольшаники, сосняки, луговые биоценозы) на территории северной агроклиматической зоны варьирует от 4,7 до 6,2 экз. на флаго-км, центральной – от 2,3 до 6,1, южной агроклиматической зоны – от 3,8 до 6,3 экз. на флаго-км (рис. 2). Показатели численности европейского лесного клеща на данной территории зависят в основном от биотопического распространения. Минимальное среднее значение показателя

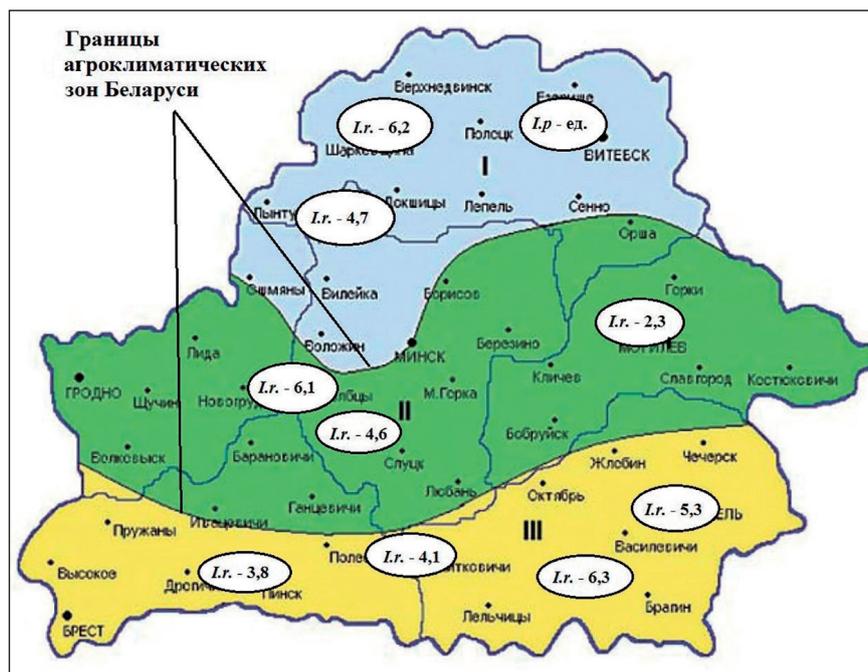


Рис. 2. Численность иксодовых клещей (экз. на флаго-км) в различных агроклиматических зонах Беларуси (карта-схема). Обозначения: *I.p.* – *Ixodes persulcatus*; *I.r.* – *I. ricinus*; I, II, III – северная, центральная и южная агроклиматические зоны соответственно

относительной численности *I. ricinus* зарегистрировано в сосновых лесах центральной агроклиматической зоны (1,4 экз. на флаго-км.), максимальное – в ольховых лесах северной агроклиматической зоны (19,1 экз. на флаго-км.).

На территории Беларуси по результатам многолетних наблюдений в природных биотопах (за период с 2010 по 2016 г.) численность иксодовых клещей имеет стабильную тенденцию к росту, со средним темпом прироста 8,94 %. По данным организаций здравоохранения количество обращений по поводу укусов иксодовыми клещами также увеличивается (44 993 человек в 2010 г., 46 479 человек в 2016 г.). Беларусь относится к эндемичным территориям по клещевому энцефалиту [5]. На территории страны были зарегистрированы 2 эпидемические вспышки КЭ, первая из которых (526 случаев) наблюдалась в 1953–1969 гг. в северо-восточном регионе с преобладанием алиментарного пути инфицирования (62,4 %), вторая (252 случая) имела место в 1993–2004 гг. в юго-западных регионах и характеризовалась преобладанием трансмиссивного пути инфицирования [10]. За период с 2005 по 2016 г. по данным РЦГЭиОЗ МЗ РБ заболеваемость населения КЭ на территории Беларуси возросла почти в 3 раза (с 0,47 до 1,4 случаев заболеваний на 100 тыс. населения соответственно) [5].

Другое облигатно-трансмиссивное заболевание, широко распространенное на территории Беларуси и связанное с иксодовыми клещами – болезнь Лайма – регистрируется в данном регионе с 1993 г. [11]. Возбудитель заболевания – спирохеты комплекса *Borrelia burgdorferi sensu lato* относится к семейству спирохет (Spirochaetaceae). По данным ряда авторов, на территории Беларуси на сегодняшний день у иксодовых клещей выявлено 5 геновидов боррелий – *B. afzelii*, *B. garinii*, *B. burgdorferi s.s.*, *B. valaisiana* и *B. lusitaniae* [12–14]. Все они также как вирус клещевого энцефалита тесно связаны с клещом *I. ricinus*.

Среднемноголетний показатель заболеваемости Лайм-боррелиозом за последние 10 лет в Республике Беларусь составляет 10,6 случаев на 100 тыс. населения [15] и имеет тенденцию к росту. С 2005 по 2016 г. показатель заболеваемости вырос более чем в 3 раза (с 5,36 до 19,7 случаев заболевания на 100 тыс. населения соответственно). Иксодовые клещи с открытой природы, зараженные боррелиями, выявлены во всех районах республики [5].

Заключение

В разных частях ареалов двух видов иксодовых клещей *I. persulcatus* и *I. ricinus* на территориях Карелии и Беларуси установлены особенности встречаемости клещей и эпидемиологического проявления природных очагов клещевых инфекций. В настоящее время в Карелии, на северной периферии ареалов таежного и европейского лесного клещей, наблюдается расширение границ обитания и увеличение численности эпидемиологически более опасного вида – *I. persulcatus*. На территории Беларуси массовым видом иксодовых клещей остается *I. ricinus*, численность которого на протяжении последних лет значительно возросла. Несмотря на то что на данных территориях доминирующими переносчиками инфекций являются разные виды иксодовых клещей: *I. persulcatus* в Карелии и *I. ricinus* в Беларуси, эпидемиологическое проявление природных очагов носит сходный характер и выражается ростом показателей заболеваемости населения как КЭ, так и ИКБ. В то же время основное отличие в эпидемиологическом проявлении природных очагов клещевых инфекций Карелии от Беларуси состоит в более высоком уровне заболеваемости КЭ на территории Карелии.

Финансовое обеспечение исследований на территории Карелии осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (№0221-2014-0030) и гранта Российского фонда фундаментальных исследований (№ 16-44-100 109 p_a).

Список использованных источников

1. Беспятова, Л.А. Видовой состав, распространение основных переносчиков и эпидемиологическая ситуация по клещевому энцефалиту в Республике Карелия / Л.А. Беспятова, С.В. Бугмырин // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2017. – №1 (33). – С. 13–20.
2. Филиппова, Н.А. Иксодовые клещи подсемейства Ixodinae / Н.А. Филиппова // Фауна СССР. Паукообразные. – 1977. – Т.4, вып. 4. – 396 с.
3. Natural Foci Infections in Republic of Karelia / A.I. Kovalenko [et al.] // EpiNorth Journal – 2003- N 1. – [Electronic resource]. – Mode of access: www.epinorth.org/eway/default.aspx?oid=5359&trg=_5359&_5359=0:44304– Date of access: 5.09.2017.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 1988–2014 гг. Петрозаводск, 1989–2015.
5. Энтомологический надзор за акаро-энтомофауной и другими биологическими объектами, имеющими медицинское значение в Республике Беларусь // Инф.-аналит. бюл.; сост. С.Е. Яшкова. – Минск, 2000–2017.
6. Малькова, М.Г. Изменение границ ареалов пастбищных иксодовых клещей рода *Ixodes* Latr., 1795 (Parasitiformes, Ixodidae) на территории Западной Сибири / М.Г. Малькова, В.В. Якименко, А.К. Танцев // Паразитология. – 2012. – Т. 46, №5. – С. 369–383.
7. Лутта, А.С. К распространению иксодовых клещей в Карелии / А.С. Лутта, Е.М. Хейсин, Р.Е. Шульман // Вопросы паразитологии Карелии. Тр. Карельского ф-ла академии наук СССР. – 1959. – Вып. XIV. – С. 72–83.
8. Арзамасов, И.Т. Иксодовые клещи / И.Т. Арзамасов. – Мн.: АН БССР, 1961. – 132 с.
9. Бычкова, Е.И. Иксодовые клещи (Ixodidae) в условиях Беларуси / Е.И. Бычкова, И.А. Федорова, М.М. Якович. – Минск: Беларус. навука, 2015. – 191 с.
10. Клещевой энцефалит в Гродненском регионе за последние 7 лет / Е.Н. Кроткова [и др.] // Журн. Гроднен. мед. ун-та. – 2016. – №3. – С. 82–86.
11. Случай болезни Лайма / Н.М. Трофимов [и др.] // Здравоохран. Белоруссии. – 1994. – №6. – С. 48–49.
12. Оценка видового состава, численности и степени зараженности иксодовых клещей спирохетами комплекса *Borrelia burgdorferi* s.l. на урбанизированных территориях Минской области / О.Р. Князева [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер.біял.наук. – 2014. – №1. – С. 111–115.
13. Зараженность иксодовых клещей Гродненской области патогенными для человека возбудителями инфекций / Н.П. Мишаева [и др.] // Современные аспекты патогенеза, клиники, диагностики, лечения и профилактики паразитарных заболеваний; под ред. проф. В.Я. Бекиша. – Витебск: ВГМУ, 2012. – С. 129–131.
14. Организм иксодовых клещей (Acarina, Ixodidae) как среда обитания биоразнообразия патогенных агентов / Н.П. Мишаева [и др.] // Современные аспекты патогенеза, клиники, диагностики, лечения и профилактики паразитарных заболеваний; под ред. проф. В.Я. Бекиша. – Витебск: ВГМУ, 2014. – С.140–143.
15. Мамчиц, Л.П. Лайм-боррелиоз в Республике Беларусь : актуальные вопросы эпидемиологии, диагностики, профилактики / Л.П. Мамчиц, М.А. Чайковская // Современные проблемы инфекционной патологии человека [Электронный ресурс]: сб. науч. тр. / Мин-во здравоохран. Респ. Беларусь. РНПЦ эпидемиологии и микробиологии; под ред. Л.П. Титова. – ГУ РНМБ, 2017. – Вып. 10. – С. 64–69. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Поступила 11.01.2018

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
CLIMATIC RESOURCES
КЛИМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 551.588, 504.054

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

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

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

**АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА И ПРИЗЕМНЫЙ ОЗОН В ГОРОДАХ
БЕЛАРУСИ**

С использованием данных наблюдений Гидрометцентра за качеством воздуха в областных городах Беларуси анализируется сезонный и суточный ход концентраций антропогенных загрязняющих веществ (углерода оксида, азота оксида и диоксида, летучих органических соединений – бензола, толуола, ксилола) и озона. Показано, что помимо непосредственных источников выбросов загрязнений на их концентрации в воздухе существенно влияют скорость ветра и термическая конвекция. Оба фактора приводят к уменьшению концентраций антропогенных загрязняющих веществ в воздухе городов. В частности, именно этими факторами объясняется дневное снижение концентраций загрязнителей атмосферы по сравнению с утренним и вечерним пиками. Поскольку метеоусловия существенно влияют на уровень загрязнения воздуха, то по результатам мониторинга трудно судить об интенсивности и объеме антропогенных выбросов от местных источников. Для этого необходимы оценки «производительности» отдельных источников загрязнений или специально разработанные методики отбора «репрезентативных» результатов мониторинга при «особых метеорологических условиях». Установлена характерная для всех городов закономерность, согласно которой, вечернее повышение концентраций загрязнений смещается по оси времени в соответствии с продолжительностью светового дня: зимой наступает раньше, а летом позже. Для объяснения этого явления требуются дополнительные исследования. В отличие от антропогенных загрязнений концентрация приземного озона в дневное время растет, чему способствуют увеличение скорости ветра, приводящее к притоку воздуха с более высокими концентрациями озона из сельской местности, и интенсификация термической конвекции, способствующая обмену воздухом с более высокими слоями тропосферы с повышенными концентрациями озона. Эпизоды генерации озона в городском воздухе в ходе проведенного исследования не выявлены. Вероятно, это объясняется низким содержанием антропогенных загрязняющих веществ и их составом, а также весьма высокой влажностью воздуха.

Ключевые слова: антропогенное загрязнение воздуха, приземный озон, метеоусловия, сезонная динамика, суточный ход

V. V. Bozhkova¹, 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: liudchikam@tut.by*

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

ANTHROPOGENIC AIR POLLUTION AND SURFACE OZONE IN CITIES OF BELARUS

The seasonal and daily variations in concentrations of anthropogenic pollutants (carbon oxide, nitrogen oxide and dioxide, volatile organic compounds – benzene, toluene, xylene) and ozone are analyzed using observations of the Hydrometeorological Center for air quality in the regional centers of Belarus. It is shown that in addition to direct sources of pollution, wind speed and thermal convection significantly influence their concentrations in the air. Both factors lead to a decrease in the concentrations of anthropogenic pollutants in urban air. In particular, these are the factors that account for the daytime decrease in the pollutant concentrations compared to the morning and evening peaks. Since weather conditions significantly affect the level of air pollution, it is difficult to estimate the intensity and amount of anthropogenic emissions from local sources based on the results of monitor-

ing. This requires assessing the “performance” of individual pollution sources or specially developed methods for selecting “representative” monitoring results under “special meteorological conditions”. A typical regularity for all cities is established, according to which the evening increase in pollution concentrations shifts along the time axis in accordance with the duration of the light day: in winter it comes earlier and in the summer later. An additional research is needed to explain this phenomenon. Unlike the anthropogenic pollution, the concentration of surface ozone in the daytime is rising resulted from the increase in the wind speed, leading to an influx of air with higher ozone concentrations from rural areas, and the intensification of thermal convection contributing to an air exchange with higher layers of the troposphere with the increased ozone concentrations. Episodes of ozone generation in the urban air during the conducted research are not revealed. This is probably due to a low amount of anthropogenic pollutants and their composition as well as very high air humidity.

Keywords: anthropogenic air pollution, surface ozone, weather conditions, seasonal dynamics, daily variation

В. У. Бажкова¹, Р. М. Бурак², Б. Б. Казярук², А. М. Людчык¹, А. А. Мельник²

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

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

АНТРАПАГЕННАЕ ЗАБРУДЖВАННЕ ПАВЕТРА І ПРЫЗЕМНЫ АЗОН У ГАРАДАХ БЕЛАРУСІ

Выкарыстоўваючы дадзеныя назіранняў Гідраметцэнтра за якасцю паветра ў абласных гарадах Беларусі, аналізуецца сезонны і сутачны ход канцэнтрацый антрапагенных забруджвальных рэчываў (вугляроду аксіду, азоту аксіду і дыяксіду, лятучых арганічных злучэнняў – бензолу, талуолу, ксілолу) ды азону. Паказана, што акрамя непасрэдных крыніц выкідаў забруджвальных рэчываў на іх канцэнтрацыі ў паветры істотна ўплываюць хуткасць ветру і тэрмічная канвекцыя. Абодва фактары прыводзяць да памяншэння канцэнтрацый антрапагенных забруджвальных рэчываў у паветры гарадоў. У прыватнасці, менавіта гэтымі фактарамі тлумачыцца дзённае зніжэнне канцэнтрацый забруджвальных рэчываў у параўнанні з ранішнім і вячэрнім пікамі. Паколькі метэаўмовы істотна ўплываюць на ўзровень забруджвання паветра, то па выніках маніторынгу цяжка судзіць аб інтэнсіўнасці і аб’ёме антрапагенных выкідаў ад мясцовых крыніц. Для гэтага неабходны ацэнкі «прадукцыйнасці» асобных крыніц забруджвання або адмыслова распрацаваныя метады адбору «рэпрэзентатывных» вынікаў маніторынгу пры «асаблівых метэаралагічных умовах». Усталяваная заканамернасць характэрная для ўсіх гарадоў, паводле якой, вячэрняе павышэнне канцэнтрацый забруджванняў ссоўваецца па восі часу ў адпаведнасці з працягласцю светлага дня: зімой надыходзіць раней, а летам пазней. Для тлумачэння гэтай з’явы патрабуюцца дадатковыя даследаванні. У адрозненне ад антрапагенных забруджванняў канцэнтрацыя прыземнага азону ў дзённы час расце, чаму спрыяюць павелічэнне хуткасці ветру, якое прыводзіць да прытоку паветра з больш высокімі канцэнтрацыямі азону з сельскай мясцовасці, і інтэнсіфікацыя тэрмічнай канвекцыі, якая спрыяе абмену паветрам з больш высокімі пластамі трапасферы з падвышанымі канцэнтрацыямі азону. Эпізоды генерацыі азону ў гарадскім паветры падчас праведзенага даследавання не выяўленыя. Верагодна, гэта тлумачыцца нізкім утрыманнем антрапагенных забруджвальных рэчываў і іх складам, а таксама вельмі высокай вільготнасцю паветра.

Ключавыя словы: антрапагеннае забруджванне паветра, прыземны азон, метэаўмовы, сезонная дынаміка, сутачны ход

Введение

Атмосфера является частью естественной среды обитания человечества и всей биосферы Земли. На качество воздуха влияют естественные и антропогенные выбросы загрязняющих веществ и, можно ожидать, что даже в пределах одного города их концентрации сильно различаются в зависимости от месторасположения пункта наблюдений и близости источников выбросов. В качестве примера в таблице приведены данные о среднегодовых концентрациях CO, NO₂, NO и летучих органических соединений (ЛОС) антропогенного происхождения: суммарной концентрации бензола, толуола, ксилола, полученные в четырех районах [1] г. Минска за 2014 г. и в Березинском заповеднике за 2015 г. Однако роль отдельных источников в загрязнении атмосферы часто трудно определить по результатам мониторинга качества воздуха из-за существенного влияния метеословий.

Транспорт занимает лидирующие позиции в перечне наиболее масштабных источников загрязнения атмосферы [2]. Сжигание материалов в промышленности также является источником выбросов NO_x = NO + NO₂ и CO, а сжигание материалов бытовыми потребителями – источником выбросов CO [2].

Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе различных районов г. Минск и Березинском заповеднике

Пункт наблюдений	Концентрация, ppb				
	CO	NO ₂	NO	O ₃	ЛОС
Минск 1	109,9	14,6	4,4	20,0	0,8
Минск 4	443,4	23,4	26,9	18,2	1,5
Минск 11	242,1	24,2	14,3	24,5	2,7
Минск 13	132,4	12,1	11,1	23,2	4,6
Березинский заповедник	49	4,4	4,8	27	0,06

При добыче нефти и газа происходят интенсивные выбросы в атмосферу ЛОС, NO_x , и СО [3]. Все упомянутые вещества входят в состав так называемых прекурсоров озона, способных участвовать в фотохимических реакциях его образования в приземном слое атмосферы при определенных условиях.

Повышению концентрации прекурсоров, помимо местных выбросов, способствует перенос ветром загрязненного воздуха от удаленных источников. Ветер может вызывать и противоположный эффект – удалять загрязненный воздух от источников выбросов, что способствует уменьшению концентраций загрязняющих веществ. Очевидно, что для загрязненной атмосферы больших городов последний процесс оказывается определяющим. В формировании наблюдаемых концентраций загрязняющих веществ немаловажную роль играет также термическая конвекция, способствующая выносу загрязненного приземного воздуха в верхние слои тропосферы.

В отличие от прекурсоров озона, которые являются загрязнителями преимущественно антропогенного происхождения, основная масса озона образуется в стратосфере и является естественной составляющей атмосферы. На концентрацию озона в нижней тропосфере оказывают влияние ветер, переносящий озон в горизонтальном направлении, термическая конвекция, способствующая переносу в вертикальном направлении, и скорость осаждения на подстилающую поверхность.

Кроме того, увеличению концентрации приземного озона способствует его фотохимическая генерация в присутствии прекурсоров. Чаще всего антропогенное загрязнение воздуха приводит к разрушению озона. На это указывает множество публикаций, в которых отмечается обычно пониженная концентрация озона в загрязненном воздухе городов по сравнению с сельской местностью [4, 5], и поэтому концентрация приземного озона в больших городах при сильном ветре обычно повышается. В центральной части городов, где эмиссия NO_x автомобильным транспортом велика, концентрация O_3 меньше, нежели в пригородах и загородных районах. В центре города большая часть озона расходуется на доокисление NO и углеводородов. В пригородных районах, где концентрация NO_x мала, может наблюдаться относительно высокий уровень загрязнения углеводородами, и концентрация озона может быть весьма большой [5]. Повышению концентрации озона также способствует инициированное ветром турбулентное перемешивание с более высокими слоями тропосферы, как правило, содержащими более высокие концентрации озона. Статистическая обработка данных наблюдений указывает на то, что для г. Минска корреляция между концентрацией озона и скоростью ветра положительна [6].

Для образования озона в приземной области атмосферы необходимы достаточный уровень солнечного излучения, высокая температура, низкая влажность воздуха, слабый ветер и определенное соотношение концентраций прекурсоров [7, 8]. Помимо «классических» примеров Лос-Анджелеса и Нью-Мехико [7], где высокие концентрации озона наблюдались в летнее жаркое время, зафиксированы случаи его эффективной генерации в верховьях р. Грин (Upper Green river, штат Вайоминг, США) и в бассейне р. Уинты (Uintah river, штат Юта, США) в зимне-весенний период [3]. В этих двух удаленных друг от друга бассейнах местные выбросы прекурсоров обусловлены интенсивной добычей нефти и газа. Снежный покров, присутствующий в зимний сезон, обладает высоким альбедо, что способствует увеличению плотности солнечного излучения и образованию сильных температурных инверсий в нижней тропосфере. В результате в безветренную погоду создаются условия для накопления прекурсоров, фотохимической генерации озона и его медленного разрушения на заснеженной поверхности.

В публикации анализируются особенности антропогенного загрязнения воздуха городов Беларуси, влияние метеоусловий на концентрации загрязняющих веществ и влияние уровней загрязнения на наблюдаемую концентрацию озона. В настоящее время мониторинг атмосферного воздуха проводится во всех областных центрах Беларуси и ряде других городов, а также в Березинском заповеднике. В непрерывном режиме измеряются концентрации аэрозольных частиц, серы диоксида (SO_2), углерода оксида (СО), азота оксидов (NO_x), озона (O_3) и концентрации таких летучих органических соединений, как бензол, толуол и ксилол.

Использованы данные измерений концентраций веществ с автоматических станций в шести областных городах и Березинском заповеднике, представленные в таблице. В Минске функционируют 5 автоматических станций (результаты наблюдений с четырех из них приведены в таблице). Для измерения концентраций загрязняющих веществ (озон, оксиды азота и углерода) на пунктах мониторинга атмосферного воздуха используются газоанализаторы серии ML (фирма-изготовитель компания Monitor (Europe) Ltd, Великобритания, погрешность измерений ± 5 ppb), а также газоанализаторы серии AP-370 (фирма-изготовитель HORIBA Япония, относительная погрешность не превышает ± 25 %). Концентрации летучих органических соединений измеряются газовыми хроматографами Syntech Spectras (Нидерланды, относительная погрешность < 2 %).

Система мониторинга качества воздуха в Беларуси находится в стадии развития, и не всегда возможно получение качественных и непрерывных рядов наблюдений с отдельных пунктов. Поэтому для анализа использованы данные за 2014 г. для Минска и Витебска, за 2015 г. – для Березинского заповедника, за 2016 г. – для Бреста, Гомеля, Гродно и Могилева.

Сведения о скорости ветра взяты из [9]. Вертикальная устойчивость атмосферы (эффективность термической конвекции) оценивалась на основании прогнозных расчетов вертикального градиента температуры в пограничном слое атмосферы по методике, описанной в работе [6].

Концентрации бензола, толуола и ксилола в большинстве случаев коррелируют между собой, что свидетельствует об общих источниках выбросов. Поэтому далее рассматривается суммарная концентрация этих веществ в миллиардных долях (ppb) и обозначается как ЛОС. Концентрации остальных веществ также представлены в единицах ppb.

Сезонная динамика загрязнений

Сезонные изменения среднемесячных концентраций исследованных загрязнений качественно схожи для всех областных центров Беларуси. Исключением является Березинский заповедник, где фиксируются низкие концентрации всех антропогенных загрязнений воздуха и относительно высокие – озона (таблица). Березинский заповедник сильно отличается от других регионов также незначительным сезонным ходом концентраций антропогенных загрязняющих веществ.

На рис. 1 приведены среднемесячные концентрации антропогенных загрязняющих веществ и озона в течение 2016 г. в Бресте, Гродно и Могилеве. Концентрация CO на рис. 1 уменьшена в 10 раз, а концентрация ЛОС – увеличена в 10 раз.

Концентрации NO_x , CO, ЛОС плавно повышаются к зиме и понижаются к лету с незначительными флуктуациями. Повышение концентраций зимой частично обусловлено увеличением выбросов вредных веществ в связи с отопительным периодом. И достаточно сильное влияние на сезонный ход концентраций загрязняющих веществ и озона оказывают метеорологические условия. Кроме того, в основном метеоусловия обуславливают присутствие флуктуаций в плавном сезонном ходе концентраций. Например, их заметное повышение в конце лета – начале осени в Бресте и Гродно, скорее всего, объясняется снижением скорости ветра в этот период.

Термическая конвекция является одним из основных механизмов обмена приземным воздухом со свободной тропосферой (второй механизм – турбулентность, вызванная ветром). Судить об интенсивности термической конвекции можно по величине вертикального градиента температуры в пограничном слое: чем больше градиент, тем меньше вертикальная устойчивость атмосферы и тем эффективнее термическая конвекция.

На рис. 2 показан годовой ход среднемесячных значений вертикального градиента температуры $-\partial T/\partial h$ (T – температура, h – высота в пограничном слое атмосферы) в г. Бресте в разные годы. Летом при больших значениях градиента (слабой вертикальной устойчивости) происходит интенсивное перемешивание слоев воздуха и, как следствие, быстрое рассеяние загрязняющих веществ. Частые температурные инверсии (малые значения градиента) в зимнее время препятствуют выносу загрязненного воздуха в более высокие слои атмосферы. В течение суток устойчивость атмосферы также меняется: она максимальна в ночное время и минимальна в полуденное.

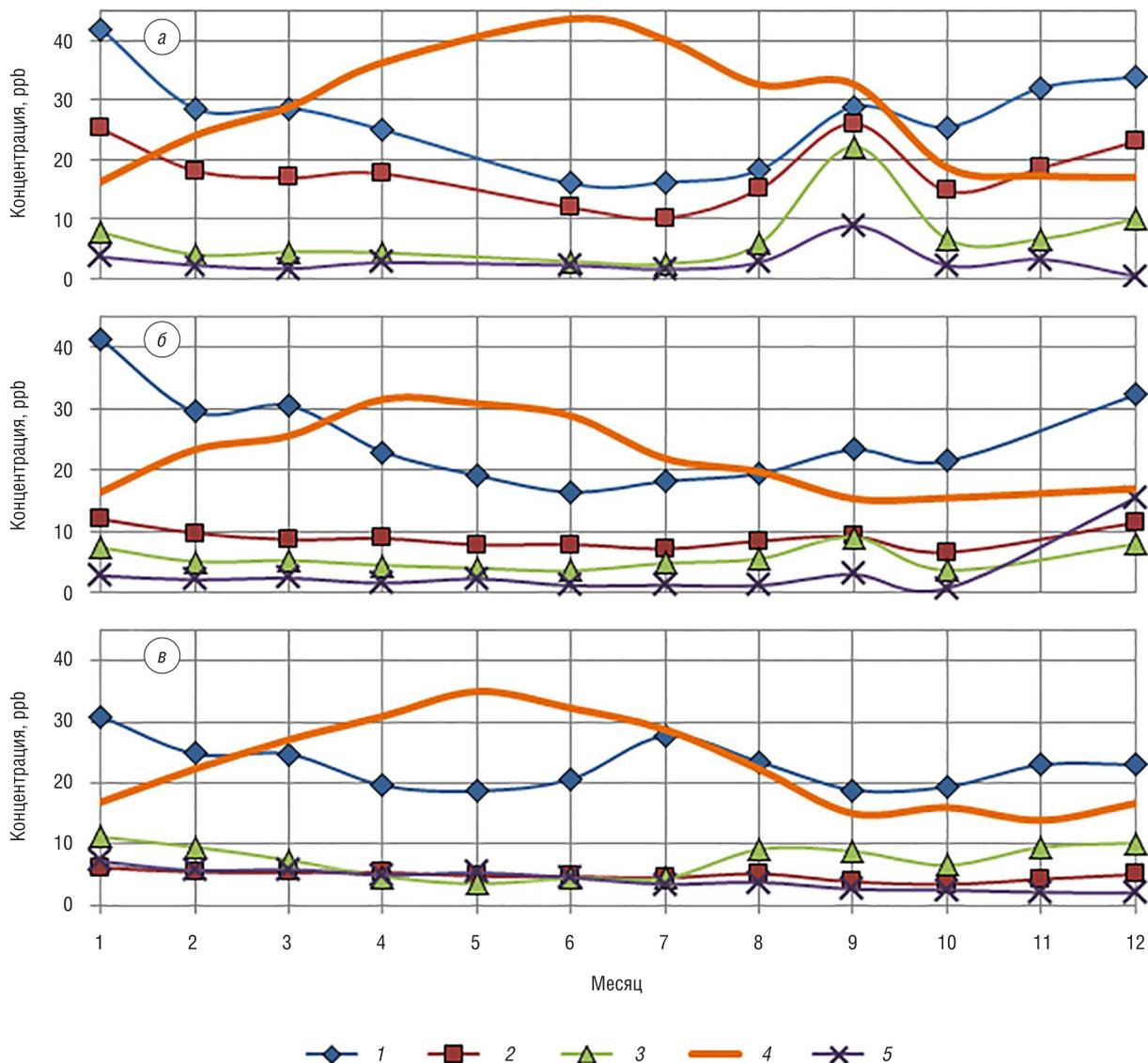


Рис. 1. Сезонная динамика среднемесячных концентраций антропогенных загрязняющих веществ и озона: а – Брест, б – Гродно, в – Могилев. 1 – CO/10, 2 – NO₂, 3 – NO, 4 – O₃, 5 – ЛОС × 10

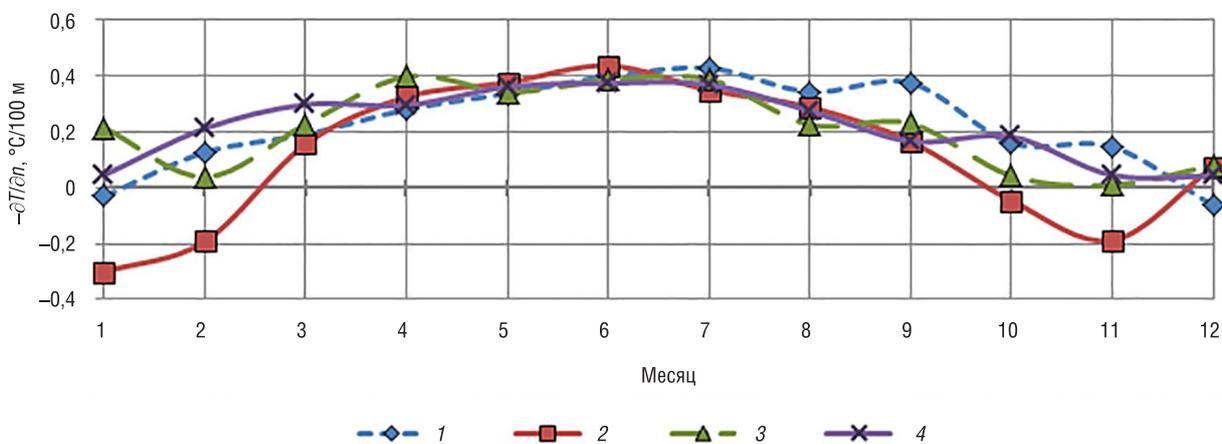


Рис. 2. Сезонная динамика среднемесячных значений вертикального градиента температуры в планетарном пограничном слое атмосферы. Брест: 1 – 2013, 2 – 2014, 3 – 2015, 4 – 2016 г.

Другим важным метеорологическим фактором является скорость ветра, который способствует переносу загрязняющих веществ в горизонтальном направлении и оказывает существенное влияние на их концентрацию. Поскольку речь идет о городах с повышенным уровнем загрязнения воздуха, ветер способствует снижению концентраций загрязнений [10]. Как правило, скорость ветра максимальна в зимний период и минимальна летом. Зимнее повышение скорости ветра в некоторой степени компенсирует интенсификацию источников выбросов, торможение конвективных процессов и, следовательно, способствует некоторому очищению городского воздуха. На рис. 3 представлены среднемесячные значения скорости ветра в городах Беларуси.

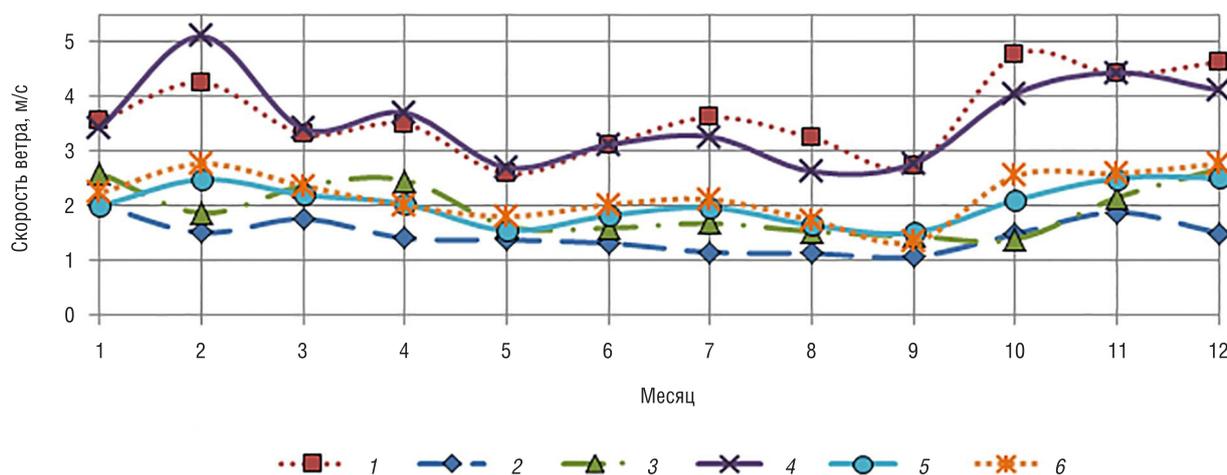


Рис. 3. Сезонная динамика среднемесячной скорости ветра в городах Беларуси (г.): 1 – Гродно, 2016, 2 – Минск, 2014, 3 – Витебск, 2014, 4 – Могилев, 2016, 5 – Гомель, 2016, 6 – Брест, 2016

Приведенные данные хорошо согласуются с климатическими нормами скорости ветра, полученными в работе [11] для городов Беларуси. В частности, минимальные среднесуточные скорости ветра наблюдаются в конце лета и начале осени по всей территории республики. Возможно, что именно это приводит к некоторому повышению концентраций антропогенных загрязняющих веществ в Бресте и Гродно в этот период (рис. 1).

Сезонная динамика озона противоположна динамике прекурсоров: концентрация озона повышается к лету и понижается к зиме. Аналогичное поведение характерно также и для Лондона [12]. Зимой атмосфера устойчива, и прирост концентрации озона за счет обмена воздухом со свободной тропосферой минимален. Обычно плотная облачность в этот период [13] существенно снижает интенсивность поступающей солнечной радиации. Это подавляет процессы фотохимического производства озона в приземном слое, несмотря на высокую отражательную способность снежного покрова, низкую скорость разрушения озона на заснеженной поверхности и повышенную концентрацию прекурсоров.

Устойчивость атмосферы летом низкая, и это способствует поступлению озона из верхних слоев тропосферы [4]. Летом также растет интенсивность ультрафиолетового солнечного излучения, способного приводить к генерации озона в приземном загрязненном слое воздуха. Для этого необходимы специфические метеоусловия, высокие концентрации прекурсоров, а также их определенное соотношение. В частности, генерация озона окажется наиболее эффективной, если эмиссия ЛОС в несколько раз превышает эмиссию оксидов азота [7]. Было обнаружено, что в случае относительно низкого содержания NO_x и высокого содержания ЛОС концентрация O_3 повышается с увеличением NO_x и мало изменяется в ответ на повышение концентрации ЛОС. А в обратном случае концентрация O_3 уменьшается с увеличением NO_x и увеличивается с повышением ЛОС [8]. Обычно концентрации прекурсоров озона в летнее время на территории Беларуси невелики и, анализируя усредненные характеристики воздуха и метеоусловий, довольно сложно обнаружить эпизоды повышения концентрации озона за счет фотохимических реакций.

Суточный ход концентраций антропогенных загрязняющих веществ воздуха и озона

Влияние метеоусловий на уровень загрязнения воздуха и концентрацию приземного озона особенно четко проявляется при сравнении их суточного хода и суточного хода метеопараметров. На рис. 4 показаны результаты регистрации концентраций антропогенных загрязняющих веществ и озона в течение двух суток в июне 2016 г. Эпизоды повышения концентраций носят, на первый взгляд, совершенно случайный характер, и только дальнейшая статистическая об-

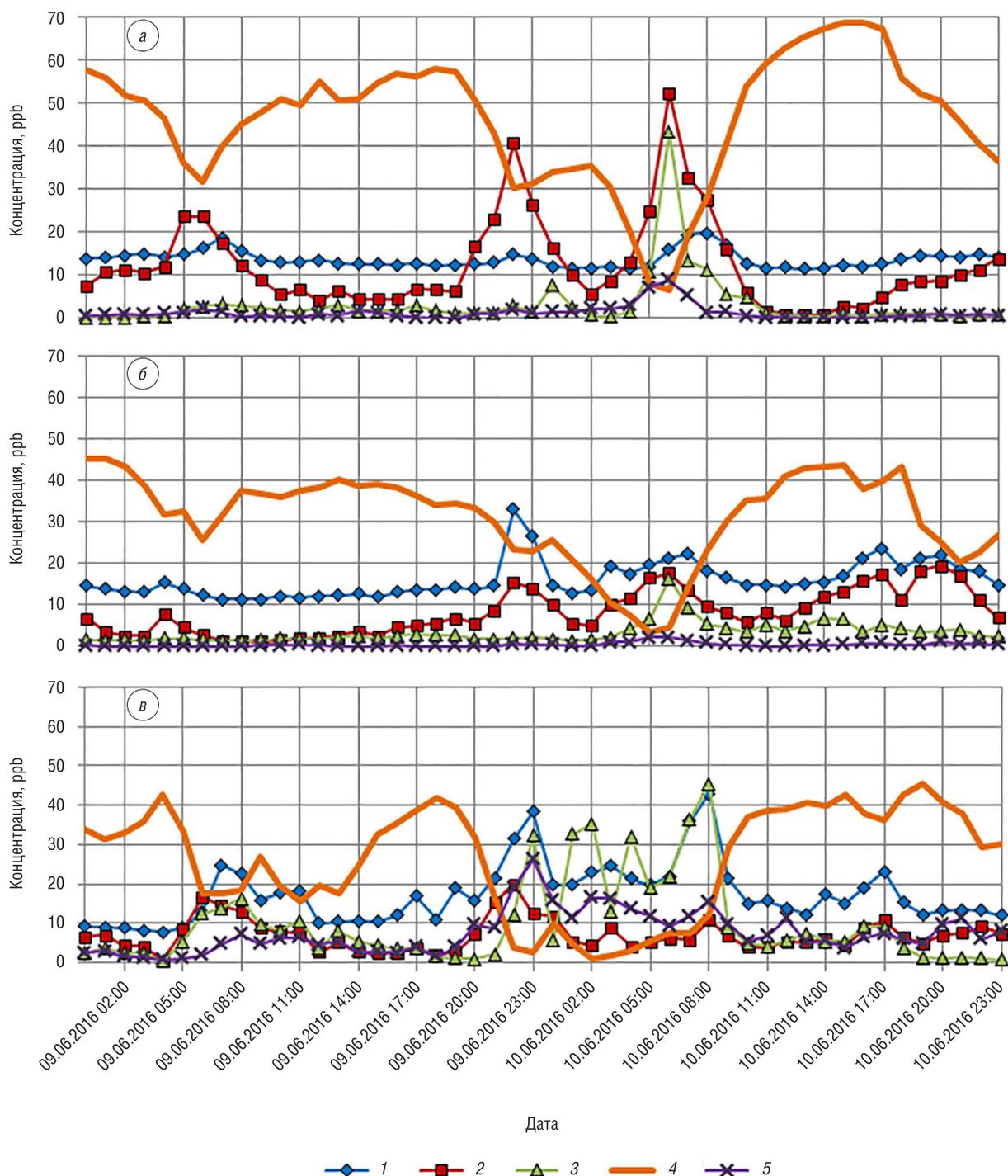


Рис. 4. Примеры суточного хода концентраций антропогенных загрязняющих веществ и озона: а – Брест, б – Гродно, в – Могилев. 1 – CO/10, 2 – NO₂, 3 – NO, 4 – O₃, 5 – ЛОС×10

работка рядов наблюдений позволяет выявить имеющиеся закономерности. Для анализа были определены частоты появления эпизодов высоких концентраций загрязняющих веществ в зависимости от времени суток. Использованы все данные наблюдений в шести областных центрах Беларуси за указанные во введении периоды времени. Отобраны эпизоды, в ходе которых концентрации отдельных загрязняющих веществ превышали в полтора раза соответствующее среднемесячное значение, и фиксировалось время появления каждого такого эпизода. Далее, количество эпизодов, попавших в часовой интервал времени, нормировалось на их общее число. Результаты для разных сезонов приведены на рис. 5.

В течение суток первый пик частоты для всех загрязняющих веществ в период с 7 до 8 ч обусловлен началом интенсивного движения транспорта и работы предприятий. Днем активность источников выбросов не уменьшается, однако частота эпизодов снижается. Приземный воздух очищается за счет ветра и конвекции, скорость и интенсивность которых днем увеличиваются. В вечернее время ветер и конвекция ослабевают, и снова начинается рост концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ, который быстро прекращается вместе с ослаблением человеческой активности. Интересной закономерностью является сезонное перемещение вечернего пика частоты повышенных концентраций загрязняющих веществ в соответствии с длительностью светового дня. Установление непосредственной причины этого явления требует более детальных исследований.

Частота появления повышенных концентраций загрязняющих веществ достигает минимума в 5 ч. Постепенное ее снижение, несмотря на уменьшение скорости ветра и ослабление термической конвекции к этому времени, обусловлено, скорее всего, сокращением выбросов загрязняющих веществ. На этот процесс влияет также и то, что большие города представляют собой так называемые «острова тепла» [14]. В ночное безветренное время теплый городской воздух поднимается вверх, а на его место прибывает более холодный и более чистый воздух из окрестностей.

Максимум скорости ветра в течение суток приходится на послеполуденное время во все сезоны, и это в совокупности с аналогичным усилением конвекции объясняет послеполуденный минимум концентраций. Зимой суточный ход климатической нормы скорости ветра практически отсутствует [12], поэтому снижение концентраций загрязняющих веществ днем менее значительно.

Озон антикоррелирует с прекурсорами, достигая высоких показателей днем, низких – ночью. Тот факт, что повышенные концентрации прекурсоров озона в утренние и вечерние часы соответствуют низкой концентрации озона в это время, свидетельствует о его разрушении в загрязненном городском воздухе. Зимой увеличивается количество выбросов антропогенных загрязняющих веществ в связи с отопительным сезоном. Сохранение относительно высокой концентрации озона ночью в благоприятных условиях (малой скорости разрушения на заснеженной поверхности и заторможенной конвекции) и последующее ее снижение утром также, вероятно, связано с началом фотохимического разрушения озона в утреннее время.

Заключение

Местоположение источников антропогенных загрязняющих веществ и их интенсивность оказывают определяющее влияние на качество воздуха в месте наблюдений. Однако существенную роль играют также и метеорологические условия в момент наблюдения, изменчивость которых заметно проявляется в сезонном и суточном поведении концентраций антропогенных загрязняющих веществ. Наиболее важными атмосферными процессами, влияющими на концентрацию загрязняющих веществ, являются ветер и термическая конвекция.

Поскольку метеоусловия существенно влияют на уровень загрязнения воздуха, то по результатам мониторинга трудно судить об интенсивности и объеме антропогенных выбросов от местных источников. Для этого необходимы оценки «производительности» отдельных источников загрязнений или специально разработанные методики отбора «репрезентативных» результатов мониторинга при «особых метеорологических условиях».

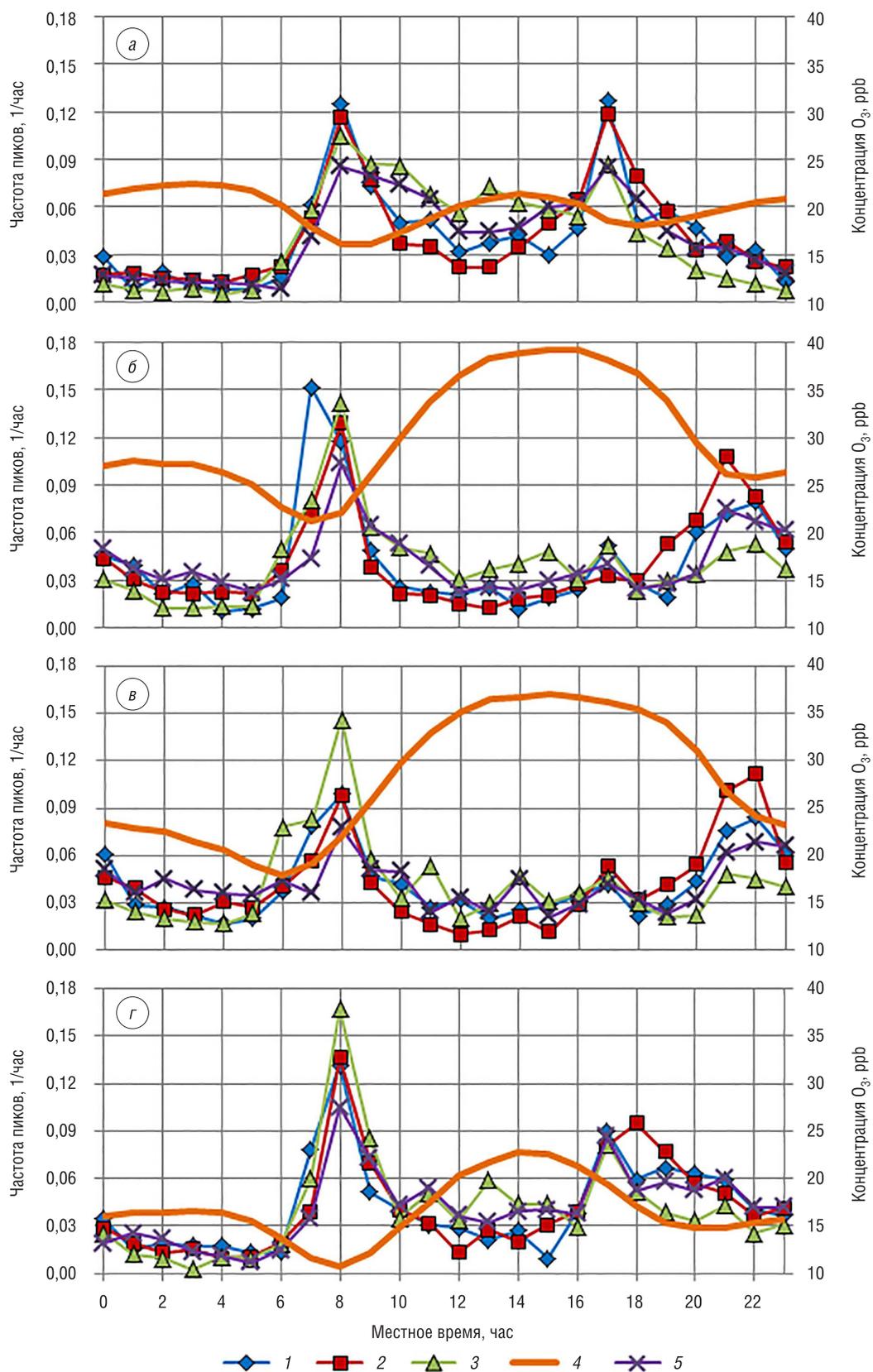


Рис. 5. Распределение частоты появления повышенных концентраций антропогенных загрязняющих веществ по времени суток и суточный ход концентрации озона в разные сезоны: а – зима, б – весна, в – лето, г – осень. 1 – CO , 2 – NO , 3 – NO_2 , 4 – O_3 , 5 – ЛОС

На территории Беларуси на наблюдаемую концентрацию приземного озона воздействуют следующие процессы: атмосферная конвекция, перенос ветром, разрушение под действием оксидов азота, углерода, ЛОС и осаждение на поверхность. Загрязненный воздух городов способствует более быстрому разрушению озона. Эпизоды генерации озона в городском воздухе в ходе проведенного исследования не выявлены. Вероятно, это объясняется низким содержанием антропогенных загрязняющих веществ и их составом, а также весьма высокой влажностью воздуха. К тому же такие эпизоды обычно кратковременны и для их выявления требуются другие подходы, базирующиеся на детальном анализе суточного хода метеоусловий, концентраций антропогенных загрязняющих веществ и озона.

Список использованных источников

1. *Покаташкин, В. И.* Отрицательный тренд приземного озона в г. Минске / В. И. Покаташкин, А. М. Людчик // Тр. ИОФАН. – 2015. – Т. 71. – С. 138–146.
2. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК; под ред. С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара, К. Танабе. – Япония, ИГЕС, 2006. – 333 p.
3. Anatomy of wintertime ozone associated with oil and natural gas extraction activity in Wyoming and Utah / S. Oltmans [et al.] // *Elementa: Science of the Anthropocene*. – 2014. – 15 p., doi: 10.12952/journal.elementa.000024.
4. Причины и факторы положительных аномалий приземной концентрации озона в Московском регионе и на юго-восточном побережье Крыма / А. М. Звягинцев [и др.] // *Оптика атмосферы и океана*. – 2016. – №6. – С. 493–502.
5. Ozone. Chapter 6 / S. Solberg, D. Simpson, J. E. Jonson, A.-G. Hjellbrekke, R. Derwent // In: *EMEP Assessment. Part I. European Perspective*, Ed. by G. Lövblad [et al.] – Oslo, 2004. – P. 77–106.
6. Статистическая оценка антропогенного воздействия на приземный озон / А. М. Людчик [и др.] // *Природные ресурсы*. – 2015. – № 1. – С. 96–106.
7. *Sillman, S.* Ozone production efficiency and loss of NO_x in power plant plumes: photochemical model and interpolation of measurements in Tennessee / S. Sillman // *Journal of geophysical research*. – 2000. – Vol. 105. – P. 9189–9202.
8. *Sillman, S.* Tropospheric ozone, smog and ozone- NO_x -VOC sensitivity / S. Sillman // *Treatise on Geochemistry*. – 2003. – Vol. 9. – P. 407–431.
9. Архив погоды. – <http://rp5.by> (дата обращения: 10.06.2017).
10. О содержании малых газовых примесей в приземном слое атмосферы над Москвой / Н. Ф. Еланский [и др.] // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. – 2015. – № 1. – С. 39–51.
11. *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.
12. Изменчивость концентраций основных загрязнителей воздуха в Лондоне / А. М. Звягинцев [и др.] // *Оптика атмосферы и океана*. – 2014. – №5. – С. 424–434.
13. *Людчик, А. М.* Региональные особенности климата Беларуси и их изменение в последние десятилетия. II: влажность воздуха и облачность / А. М. Людчик, С. Д. Умрейко // *Природные ресурсы*. – 2017. – № 1. – С. 101–107.
14. *Кузнецова, И. Н.* Особенности атмосферных процессов, влияющих на загрязнение воздуха в московском регионе, и методы их краткосрочного прогноза: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.30 / И. Н. Кузнецова; Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации. – М., 2013. – 41 с.

Поступила 30.08.2017

И. С. Данилович¹, Б. Гайер²

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

²*Институт прибрежных исследований Научного центра имени Гельмгольца, Гестахт, Германия,
e-mail: beate.gayer@hzg.de*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ ПО ДЕКАДАМ ТЕКУЩЕГО СТОЛЕТИЯ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Выполнена оценка возможных будущих колебаний температуры воздуха и осадков на основе использования данных климатического моделирования, предоставленных консорциумом EURO-CORDEX, для узлов сетки, входящих в границы Беларуси. В работе использованы данные с временным разрешением за суточные интервалы для периода 1970–2100 гг. и пространственным разрешением 0,44 градуса. Для оценки будущих изменений температуры воздуха и осадков выполнены расчеты по 40 комбинациям глобальных и региональных климатических моделей. Расчетный период охватывает 2017–2100 гг., исторический период 1971–2000 гг. Используются климатические проекции, согласно сценариям радиационного воздействия RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Рассчитаны статистические параметры для рядов модельных данных по температуре воздуха и осадкам за годовые и сезонные интервалы и климатические индексы на их основе по последовательным десятилетиям. Расчеты модельных метеорологических параметров показали существенные изменения температуры воздуха и осадков по территории Беларуси к концу текущего столетия. Ожидаемые изменения связаны с положительными тенденциями температуры воздуха и осадков. Расчетные данные сезонных и годовых значений температуры и осадков варьируют в зависимости от комбинации глобальных и региональных моделей. Наименьшие изменения были отмечены для сценария RCP2.6, наиболее значимые изменения – для сценария RCP8.5. Наибольшие изменения в рамках каждого сценария были получены для холодной части года (зима и весна).

Ключевые слова: климатические модели, климат, температура, осадки, сценарий

I. S. Danilovich¹, B. Gayer²

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

²*Institute for Coastal Research of Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Germany, e-mail: beate.gayer@hzg.de*

MODELING OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION DECADAL CHANGES DURING THE CURRENT CENTURY FOR THE TERRITORY OF BELARUS

In study the assessment of projected fluctuations of air temperature and precipitation provided. The model simulations executed by the consortium EURO-CORDEX for a grid entering borders of Belarus. The daily data for the period of 1970–2100 have been used. For the study we used the means of air temperature and precipitation with the spatial resolution of 0.44 degrees. For assessment of future changes of air temperature and precipitation 40 combinations of global and regional climatic models are executed. The study period covers 2017–2100, the historical period of 1971–2000. The climatic projections have been used according to scenarios of radiative forcing RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. Statistical parameters for ranks of model data on air temperature and precipitation were calculated by annual and seasonal intervals and climatic indexes on their basis on consecutive decades. Calculations of projected meteorological parameters have shown significant changes of air temperature and precipitation over territory of Belarus by the end of the current century. The expected changes are connected with positive tendencies of air temperature and precipitation. Calculated seasonal and annual values of temperature and precipitation vary depending on a combination of global and regional models. The smallest changes have been noted for the scenario RCP2.6, the most significant changes – for the scenario RCP8.5. The greatest changes within each scenario have been received for a cold part of year (winter and spring).

Keywords: models, climate, temperature, precipitation, scenario

I. С. Данилович¹, Б. Гайер²

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

²*Інстытут прыбярэжных даследаванняў Навуковага цэнтру імя Гельмгольца, Гестахт, Германія,
e-mail: beate.gayer@hzg.de*

МАДЭЛЯВАННЕ ЗМЕН ТЭМПЕРАТУРЫ ПАВЕТРА І АПАДКАЎ ПА ДЭКАДАХ БЯГУЧАГА СТАГОДДЗЯ ДЛЯ ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ

У працы выканана ацэнка магчымых будучых ваганняў тэмпературы паветра і ападкаў на аснове выкарыстання дадзеных кліматычнага мадэлявання, прадастаўленых кансорцыумам EURO-CORDEX для вузлоў сеткі, якія ўваходзяць у межы Беларусі. У працы былі выкарыстаны дадзеныя з часовым распазнаваннем за сутачныя інтэрвалы для перыяду

1970–2100 гг. и прасторавым распазнаваннем 0,44 градуса. Для ацэнкі будучых змен тэмпературы паветра і ападкаў выкананы разлікі па 40 камбінацыям глабальных і рэгіянальных кліматычных мадэляў. Разліковы перыяд ахоплівае 2017–2100 гг., гістарычны перыяд 1971–2000 гг. У даследаванні былі выкарыстаныя кліматычныя праекцыі згодна сцэнарыяў радыяцыйнага ўздзеяння RCP2.6, RCP4.5 і RCP8.5. Разлічаны статыстычныя параметры для шэрагу мадэльных дадзеных па тэмпературы паветра і ападках за гадавыя і сезонныя інтэрвалы і кліматычныя індэксы на іх аснове па паслядоўным дзесяцігоддзям. Разлікі мадэльных метэаралагічных параметраў паказалі істотныя змены тэмпературы паветра і ападкаў на тэрыторыі Беларусі да канца цяперашняга стагоддзя. Чаканыя змены звязаныя з дадатнымі тэндэнцыямі тэмпературы паветра і ападкаў. Разліковыя дадзеныя сезонных і гадавых значэнняў тэмпературы і ападкаў вар'іруюць у залежнасці ад камбінацыі глабальных і рэгіянальных мадэляў. Найменшыя змены былі адзначаны для сцэнарыя RCP2.6, найбольш значныя змены – для сцэнарыя RCP8.5. Найбольшыя змены ў рамках кожнага сцэнарыя былі атрыманы для халоднай часткі года (зіма і вясна).

Ключавыя словы: кліматычныя мадэлі, клімат, тэмпература, ападкаў, сцэнарый

Введение

Исследования климата Беларуси развиваются усиленными темпами и их результаты становятся более востребованными. Это связано с длительным трендом увеличения глобальной температуры воздуха, характером распределения осадков и нарастанием экстремальности отдельных метеорологических явлений, в том числе в пределах территории Беларуси, а также последствиями изменения климата для погодозависимых отраслей национальной экономики.

Наиболее достоверными исходными данными для анализа изменения климата принято считать материалы инструментальных измерений на государственной гидрометеорологической сети наблюдений. Государственный климатический кадастр (далее – ГКК) содержит долгосрочные временные ряды климатических характеристик по территории Беларуси. Использование данных ГКК позволяет регулярно оценивать колебания климатических характеристик и использовать этот анализ для понимания возможного будущего изменения климата. Анализ температурного режима за более чем 100-летний период [1–6] позволил установить, что колебания среднегодовой температуры воздуха на территории Беларуси продолжительное время находились в пределах нормы. Период значительного преобразования температурного режима в Беларуси наблюдается с 1970-х годов, и более быстрыми темпами с 1989 г. При этом повышение температуры в конце XX столетия не отразилось на формировании осадков в Беларуси. Усиление неравномерности выпадения осадков и глобального потепления сформировало условия для систематически повторяющихся засушливых периодов на территории Беларуси. Также изменения коснулись ветрового режима – отмечается сокращение скорости ветра в Беларуси с 1970-х годов. В период заметного изменения климата происходит возрастание повторяемости неблагоприятных и опасных явлений на территории Беларуси. Согласно прогнозу Всемирной метеорологической организации, экстремальность климата будет нарастать и повторяемость опасных явлений неуклонно повышаться.

Наряду с активным использованием данных наблюдений в последние десятилетия возрастает востребованность результатов расчетов климатических моделей. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (далее – МГЭИК), а также иные организации и научные институты в большой мере используют модельные данные при оценке региональных проявлений изменения климата и их воздействия на устойчивое развитие экономики и общества, при изучении вопросов управления рисками и выработке мер по адаптации и смягчению климатических воздействий. Официальные заключения о текущих и прогнозируемых изменениях климата, выполняемые наиболее авторитетными группами ученых (в том числе МГЭИК), подготовлены на основании модельных данных. Использование данных моделирования открывает больше возможностей для анализа динамики изменений, вариабельности изучаемых гидрометеорологических параметров и особенностей их пространственных распределений, особенно при исследовании крупных регионов.

На протяжении всех этапов развития методов моделирования качество модельных данных неуклонно повышается, и к настоящему времени согласованность исторических и расчетных результатов достаточно высока. Однако адекватность расчетов моделей варьируется в зависимости от комплекса уравнений, описывающих изучаемые процессы, качества исходных данных, рельефа местности и ряда других факторов, влияющих на результаты моделирования.

Работы по исследованию изменения климата Беларуси с использованием результатов климатического моделирования проводились различными группами ученых. Вследствие относительно небольшого размера и компактной конфигурации территории Беларуси, а также ее трансграничного местоположения между европейским регионом и Российской Федерацией, моделирование климата для территории Беларуси выполнялось в крупных международных проектах, такие как CMIP3, CMIP5, Prudence и Ensemble и др. Домены в таких проектах, как правило, включают значительные по площади регионы, поэтому территория страны входит в области международных исследований [7–14].

В настоящее время современные данные климатических проекций с высоким временным и пространственным разрешением предоставляются консорциумом EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment – European Domain). Анализ будущего изменения климата в Европе на основе расчетных данных консорциума EURO-CORDEX был выполнен международной группой ученых [15]. Анализ показал ожидаемое увеличение температуры воздуха к концу XXI столетия на 3,0–5,0 °C для территории Европы, включая территорию Беларуси, в зависимости от сценария радиационного воздействия. Повышение суммы осадков ожидается в пределах 5–10 % согласно умеренному сценарию и 15–25 % – при реализации наиболее неблагоприятного сценария.

Исследования изменения климата на основе данных климатических моделей проводятся в различных научно-исследовательских институтах Российской Федерации [16–19]. При моделировании климатических изменений для европейской части России, в расчетный регион часто оказывается включена территория Беларуси. Согласно результатам вычислений региональной климатической модели Института физики РАН, температура воздуха к концу XXI столетия повысится от 3,0–3,5 до 4,0–4,5 °C по умеренному сценарию (RCP 4.5) и в пределах 4,0–8,0 °C – при агрессивном сценарии (RCP 8.5).

В то же время в Беларуси в течение длительного времени проводятся самостоятельные исследования изменения климата с использованием расчетов различных климатических моделей и выполняется оценка их достоверности [20, 21]. Результаты этих исследований подтвердили вероятность увеличения значений основных метеорологических параметров к 2100 г. Согласно выполненным расчетам, среднее значение температуры воздуха увеличится на 3,0 °C, максимальная температура – на 2,7–2,9 °C, минимальная – на 3,2–3,3 °C в зависимости от концентрации парниковых газов и присутствия в воздухе сульфатных веществ. Повышение суммы осадков ожидается в пределах 0,12–0,20 мм/день, скорость ветра может возрасти на 0,07–0,17 м/с. Наиболее значительные изменения всех метеорологических параметров связано с повышением концентрации парниковых газов [21].

Анализ результатов проведенного к настоящему времени климатического моделирования для территории Беларуси позволил получить предварительные оценки возможных климатических изменений. Однако для нужд погодозависимых отраслей экономики необходимо провести более детальный анализ модельных расчетов и выполнить более подробные оценки будущих изменений (направления и значимости) основных климатических параметров с использованием обновленной информации.

Исходные данные и методология

В настоящей работе использованы данные климатического моделирования предоставляемые консорциумом CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment), который является подпроектом Всемирной программы климатических исследований Всемирной метеорологической организации. В рамках проекта расчеты климатических моделей выполнены на основе сценариев концентрации парниковых газов семейства RCP (Representative Concentration Pathways) и расчетные данные характеризуются более высоким разрешением по сравнению с другими проектами. Расчеты в рамках данного проекта производятся для 14 крупных регионов, в том числе и для региона Европы (EURO-CORDEX).

Поскольку расчетный домен подпроекта EURO-CORDEX (27°–72°с.ш., 22° з.д. – 45° в.д.) значительно превышает размеры территории Беларуси, то для региональной оценки использовались только узлы сетки EURO-CORDEX, входящие в границы Беларуси (рис. 1).

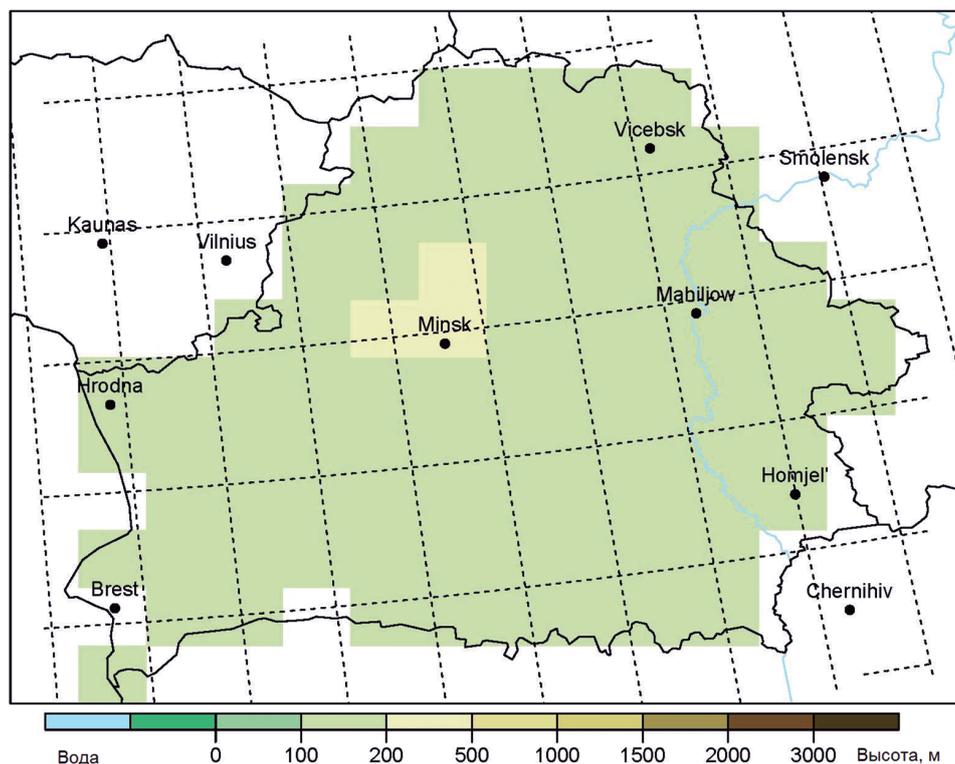


Рис. 1. Домен для расчетов климатических моделей, используемый в настоящей работе

Рассматривались данные EURO-CORDEX за период 1970–2100 гг. с суточным и пространственным разрешением 0,44 градуса, что соответствует расстоянию между узлами сетки во всех направлениях ~50 км.

В ходе работы определен перечень (ансамбль) глобальных и региональных климатических моделей для получения прогнозных метеорологических величин. Для оценки будущих изменений температуры воздуха и осадков оказалось возможным использование расчетов по 12 комбинациям глобальных и региональных климатических моделей для температуры воздуха и 11 – для осадков. Перечень используемых глобальных и региональных моделей приведен в таблице.

Анализ будущих изменений климата выполнен за период 2017–2100 гг. Результаты расчетов сравнивались с состоянием климата за период 1971–2000 гг. При выборе исторического периода мы исходили из рекомендаций ВМО для климатических исследований использовать в качестве опорного периода 1980–2010 гг. Однако из-за отсутствия расчетных исторических данных было решено сместить границы исторического периода.

Перечень комбинаций глобальных и региональных моделей

Перечень моделей для расчета температуры	Перечень моделей для расчета осадков
CLMcom-CCLM4-8-17.MPI-M-MPI-ESM-LR; DMI-HIRHAM5.ICHEC-EC-EARTH; IPSL-INERIS-WRF331F.IPSL-IPSL-CM5A-MR; KNMI-RACMO22E.ICHEC-EC-EARTH; SMHI-RCA4.CCCma-CanESM2; SMHI-RCA4.CNRM-CERFACS-CNRM-CM5; SMHI-RCA4.ICHEC-EC-EARTH; SMHI-RCA4.IPSL-IPSL-CM5A-MR; SMHI-RCA4.MIROC-MIROC5; SMHI-RCA4.MPI-M-MPI-ESM-LR; SMHI-RCA4.NCC-NorESM1-M; SMHI-RCA4.NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M.	CLMcom-CCLM4-8-17.MPI-M-MPI-ESM-LR; DMI-HIRHAM5.ICHEC-EC-EARTH; IPSL-INERIS-WRF331F.IPSL-IPSL-CM5A-MR; KNMI-RACMO22E.ICHEC-EC-EARTH; SMHI-RCA4.CCCma-CanESM2; SMHI-RCA4.CNRM-CERFACS-CNRM-CM5; SMHI-RCA4.ICHEC-EC-EARTH; SMHI-RCA4.IPSL-IPSL-CM5A-MR; SMHI-RCA4.MPI-M-MPI-ESM-LR; SMHI-RCA4.NCC-NorESM1-M; SMHI-RCA4.NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M

Консорциум EURO-CORDEX для своих расчетов использует репрезентативные траектории концентраций (сценарии концентраций) парниковых газов семейства RCP (Representative Concentration Pathways) на конец XXI столетия (согласно отчету Intergovernmental Panel Climate Change), в отличие от предыдущих аналогичных проектов, в которых использовались сценарии, основанные на содержании эмиссий парниковых газов и социо-экономических показателях (Special Report on Emissions Scenarios). Репрезентативные траектории концентраций включают временные ряды выбросов и концентраций всего набора парниковых газов, аэрозолей и химически активных газов, а также интенсивности землепользования и особенностей наземного покрова.

В работе использовались следующие RCP:

RCP2.6 – траектория, при которой радиационное воздействие достигает пикового значения (~3 Вт/м²) до 2100 г., что соответствует концентрации парниковых газов 421 частей на миллион, а затем уменьшается. Соответствующая продленная траектория предполагает постоянные выбросы после 2100 г. Наиболее благоприятный сценарий.

RCP4.5 – промежуточная траектория, согласно которой происходит стабилизация радиационного воздействия после 2100 г. на уровне ~4,5 Вт/м², что соответствует концентрации 538 частей на миллион. Данная траектория предполагает постоянную концентрацию после 2100 г.

RCP8.5 – высокая траектория, по которой радиационное воздействие достигает 8,5 Вт/м² к 2100 г., что соответствует концентрации 936 частей на миллион с последующим ростом в течение некоторого времени. Траектория соответствует постоянным выбросам после 2100 г. [22]

В результате выполненных расчетов по ансамблю моделей получены следующие расчетные величины:

а) средние годовые и сезонные значения температуры воздуха и их экстремумы за период 2017–2100 гг., отклонения среднегодовой и сезонной (зима, весна, лето и осень) температуры воздуха за период 2017–2100 гг. от опорного периода 1971–2000 гг., средние годовые и сезонные отклонения за последовательные десятилетия годовых и сезонных значений жарких, теплых, холодных и морозных дней, тропических ночей, продолжительности холодных и теплых (жарких) периодов за 2017–2100 гг.

б) средние годовые и сезонные суммы осадков и их экстремумы за период 2017–2100 гг., отклонения среднегодовых и сезонных сумм осадков воздуха за период 2017–2100 гг. от исторического периода 1971–2000 гг., средние годовое и сезонное количество дней с высокими суммами осадков и без осадков за последовательные десятилетия, годовые и сезонные значения количества дней с осадками 0,1; 1; 20; 50 и 100 мм, повторяемость засушливых периодов.

В первую очередь при анализе модельных данных рассматривалась направленность процессов изменения, т.е. оценивалась согласованность расчетов моделей из ансамбля в тенденциях к увеличению или уменьшению прогнозируемой величины. В случаях, когда 66 % моделей показывали одинаковую направленность процессов, то изменения считались стабильными (или робастными). В случае расчетов применительно к территории Беларуси прогнозируемые процессы в большинстве случаев являлись робастными, т.е. расчеты большинства моделей были согласованными.

При работе с ансамблем моделей неизбежно возникает разброс рассчитываемых величин, который необходимо учитывать при выборе методов статистической обработки данных. В мировой практике в качестве обобщающей величины принято использовать среднее арифметическое или средневзвешенное значение по ансамблю. Для обобщения результатов расчетов вычислялись средние величины для 2/3 разброса значений, т.е. отсекались хвосты ранжированного ряда, которые находились за пределами заданного отрезка. Медианы распределений анализируемых величин, также используемые для сравнительного анализа, вычислялись по всему ансамблю. Далее сравнивались результаты статистической обработки. В итоге, в большинстве случаев средние значения в пределах 2/3 разброса и значения медианы оказались практически одинаковыми. Поэтому в большинстве расчетов в качестве обобщающей характеристики применялась медиана.

Данные расчетов климатических моделей использованы в виде суточной информации за период 2017–2100 гг. на каждый узел сетки, расположенный в пределах границ Беларуси. Такой большой объем исходной информации не пригоден для интерпретации и описания гидрометеорологического режима региона. Поэтому в качестве обобщающей пространственной характеристики принята средняя величина поля климатического параметра для территории Беларуси. Предварительно проведенные расчеты пространственной изменчивости климатических параметров (температуры воздуха и осадков) по ансамблю моделей показывают, что их распределения характеризуются наличием незначительного градиента и для региональной оценки им можно пренебречь.

В качестве обобщающей величины временной шкалы были использованы сезонные и годовые характеристики, обобщенные по десятилетиям (2021–2030, 2031–2040, 2041–2050, 2051–2060, 2061–2070, 2071–2080, 2081–2090, 2091–2100 годов).

Результаты и их обсуждение

Для нужд погодо- и климатозависимых отраслей экономики при долгосрочном планировании хозяйственной деятельности интерес представляют значения основных климатических параметров различной заблаговременности. В связи с этим для каждого десятилетия выполнены расчеты среднегодовых и сезонных значений температуры воздуха и осадков, а также климатических индексов на их основе. Ниже представлен детальный анализ расчетов по ансамблю моделей для рассматриваемых десятилетий при двух вариантах радиационного воздействия (RCP4.5 и RCP8.5). Результаты расчетов по сценарию RCP2.6 оказались не робастными, т.е. содержали большую долю неопределенности. При этом отклонения среднегодовых и сезонных значений температуры воздуха и осадков по десятилетиям были статистически незначимыми, т.е. изменения климата, согласно сценарию RCP2.6, были в пределах допустимых погрешностей. Поэтому их детальный анализ не приводится.

Температура воздуха. Согласно выполненным расчетам, среднегодовые значения температуры воздуха на территории Беларуси будут постепенно увеличиваться. При реализации сценария RCP4.5 отклонения среднегодовой температуры воздуха будут составлять 1,4 °С в ближайшее десятилетие (мин. 1,1 °С, макс. 1,8 °С по ансамблю), к 2060 г. отклонения увеличатся до 2,7 °С (мин. 1,8 °С, макс. 3,0 °С). К концу столетия ожидается наибольшее увеличение по сравнению с историческим периодом: значение среднегодовой температуры воздуха увеличится на 2,8 °С (мин. 2,7 °С, макс. 3,0 °С). При реализации сценария RCP8.5 среднегодовые отклонения температуры воздуха ожидаются в пределах от 1,5 °С (мин. 1,2 °С, макс. 1,6 °С) в ближайшее десятилетие (2021–2030 гг.), к середине столетия (2051–2060 гг.) они составят 2,5 °С (мин. 2,2 °С, макс. 2,8 °С), к концу столетия (2091–2100 гг.) отклонения возрастут до 4,7 °С (мин. 4,3 °С, макс. 5,1 °С). Следует отметить, что разброс по моделям для каждого сценария радиационного воздействия при расчете температуры воздуха сохраняется в пределах 0,5–1,0 °С, что свидетельствует о согласованности расчетов климатических моделей в ансамбле.

Внутрисезонное распределение отклонений температуры воздуха в течение рассматриваемого периода характеризуется неоднородностью отклонений, полученных для холодной и теплой половины года для всех сценариев радиационного воздействия. При сценарии RCP4.5 отклонения зимних температур во все расчетные десятилетия ожидаются положительными: их заметное увеличение прогнозируется в первые два десятилетия – до 1,5–2,6 °С, а затем предположительно они будут сохраняться на этом уровне до середины столетия, причем в период 2061–2070 гг. даже несколько снизятся до 2,5 °С. В последующие два десятилетия отклонения сезонной температуры воздуха будут незначительно увеличиваться до 3,3–3,5 °С, а к концу столетия снизятся до 2,8 °С (рис. 2). При сценарии RCP8.5 отклонения в зимний сезон в первую половину столетия будут близки к расчетным значениям, полученным по сценарию RCP4.5 (1,6–2,5 °С), а в отдельные десятилетия даже немного ниже. С 2060-х годов ожидается значительное увеличение температуры воздуха по сравнению с предыдущими десятилетиями, рост отклонений ожидается в пределах 4,5–6,1 °С (рис. 2).

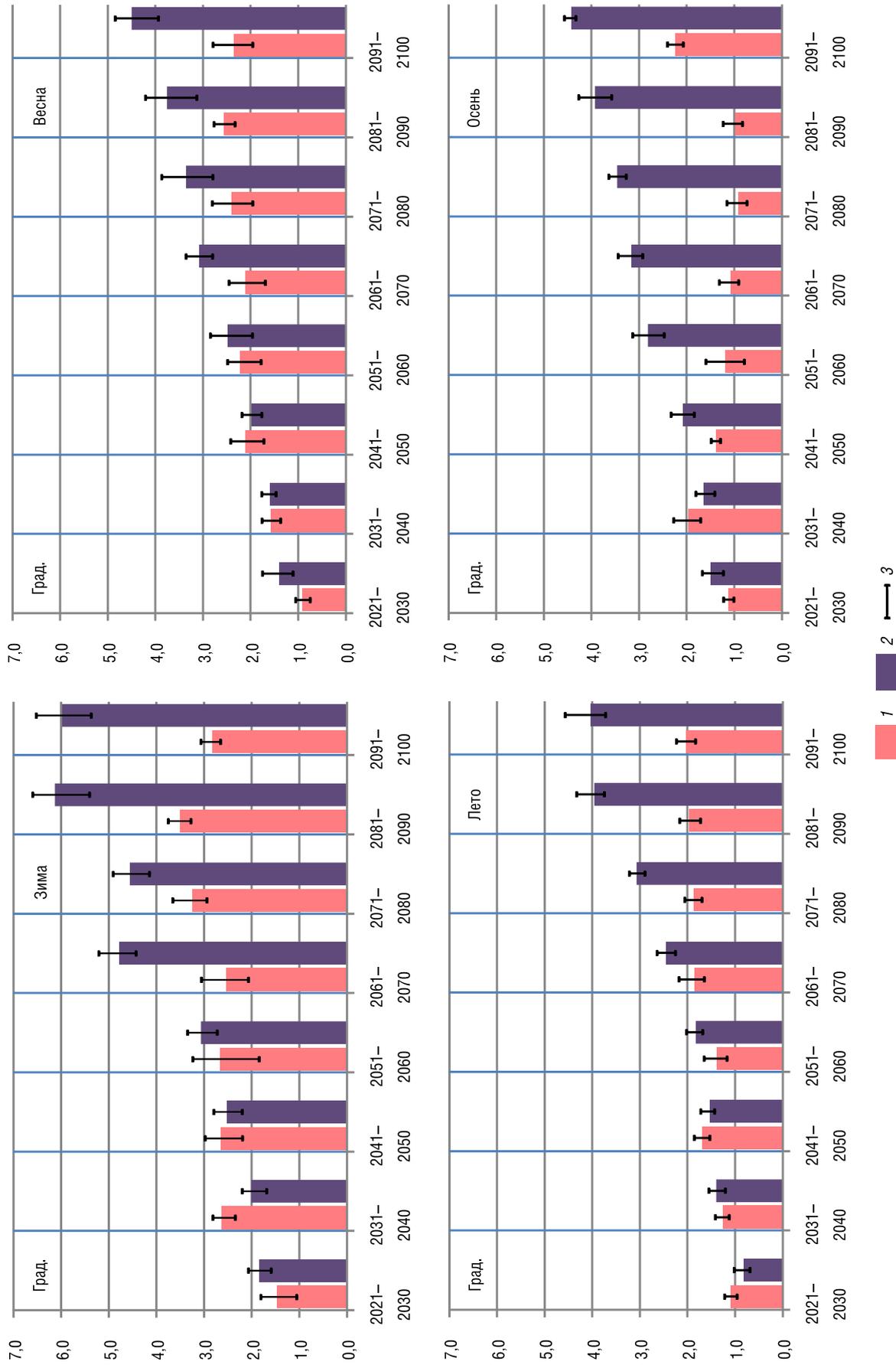


Рис. 2. Отклонения сезонных значений температур воздуха по десятилетиям: 1 – RCP4.5; 2 – RCP8.5; 3 – коридор изменения

Весенний сезон характеризуется постепенным ростом температуры воздуха в течение рассматриваемого периода, однако отклонения по величине ожидаются ниже, чем в зимний сезон (рис. 2). При реализации сценария RCP4.5 отклонения температуры воздуха предположительно незначительно увеличатся в течение рассматриваемого периода от 1,0 до 2,6 °С. При сценарии RCP8.5 ожидается постепенный рост отклонений в первой половине столетия в пределах 1,4–2,5 °С и более интенсивный рост во второй половине столетия в пределах 3,0–4,5 °С.

Летний сезон предположительно будет характеризоваться аналогичным распределением отклонений по десятилетиям, однако их величина ожидается ниже. При реализации сценария RCP4.5 отклонения составят 1,0–2,0 °С, при сценарии RCP8.5 их значения постепенно увеличатся от 0,8 °С (2021–2030 гг.) до 4,0 °С к последнему десятилетию текущего столетия (рис. 2).

Осенний сезон характеризуется наименьшими значениями отклонений для сценария RCP4.5 (рис. 2). Отклонения сезонной температуры ожидаются в пределах 2,0 °С в первую половину столетия, затем предполагается их снижение до 0,9–1,1 °С (2051–2091 гг.), к последней декаде текущего столетия (2091–2100 гг.) ожидается увеличение до 2,2 °С.

Климатические индексы, рассчитанные на основе значений температуры воздуха согласуются с ожидаемыми сезонными изменениями температурного режима. Наиболее значительные изменения в зимний сезон предположительно коснутся таких характеристик, как холодные и морозные дни, а также продолжительность холодного периода (рис. 3).

При реализации сценария RCP4.5 к концу текущего столетия ожидается согласованное сокращение числа дней с нулевой температурой: холодных дней на 4–14, морозных – на 6–16, продолжительности холодного периода – на 6–15 дней. При этом в ближайшие десятилетия (2031–2040, 2041–2050 гг.) сокращение числа холодных и морозных дней будет наиболее интенсивным (до 12 дней), к середине столетия величина их изменения будет находиться в пределах 10 дней, а во второй половине столетия сокращение будет наиболее ощутимым и достигнет своих максимальных значений в пределах рассматриваемого периода (14–16 дней).

В летний сезон наиболее наглядны и востребованы характеристики, связанные с комфортностью погодных условий (рис. 4).

Среди них теплые, жаркие дни и максимальная продолжительность жаркого периода. Также эти индексы определяют основные условия произрастания сельскохозяйственных культур. Согласно выполненным расчетам, наибольшие изменения в течение рассматриваемого периода ожидаются для теплых дней. При реализации сценария RCP4.5 их изменение (увеличение) будет составлять 3–8 дней, причем значение моды дальнейших изменений составляет 8 дней, т.е. ожидается стабильная динамика величины изменения данной характеристики. При сценарии RCP8.5 изменение числа

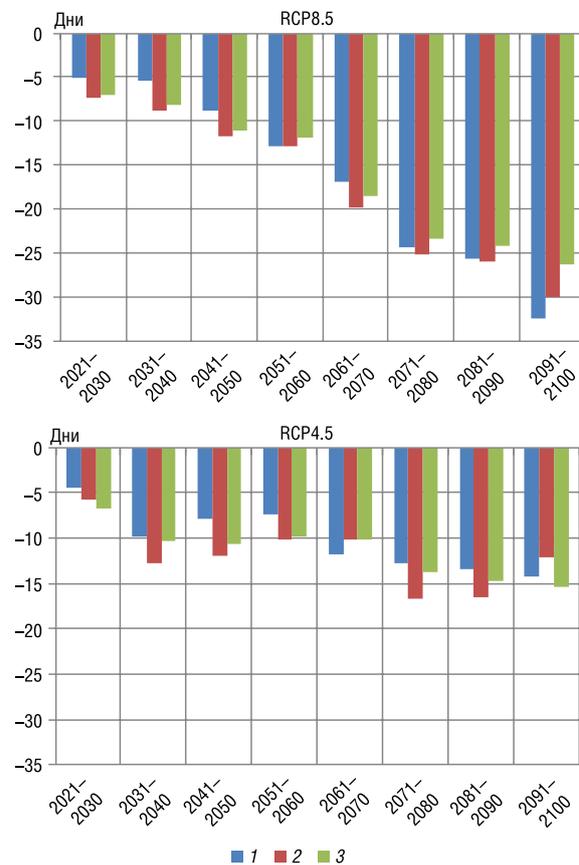


Рис. 3. Отклонения числа дней климатических индексов в зимний сезон: 1 – холодные дни; 2 – морозные дни; 3 – максимальная продолжительность холодного периода

Примечание. *Холодные дни (Frost days):* индекс, характеризующий холодный сезон, количество дней, когда минимальная температура воздуха в течение суток была ниже 0 °С; *морозные дни (Ice days):* индекс, характеризующий холодный сезон, количество дней, когда максимальная температура воздуха в течение суток была ниже 0 °С; *максимальная продолжительность холодного периода (Frost period max length):* непрерывный период, в течение которого среднесуточная температура была ниже 0 °С

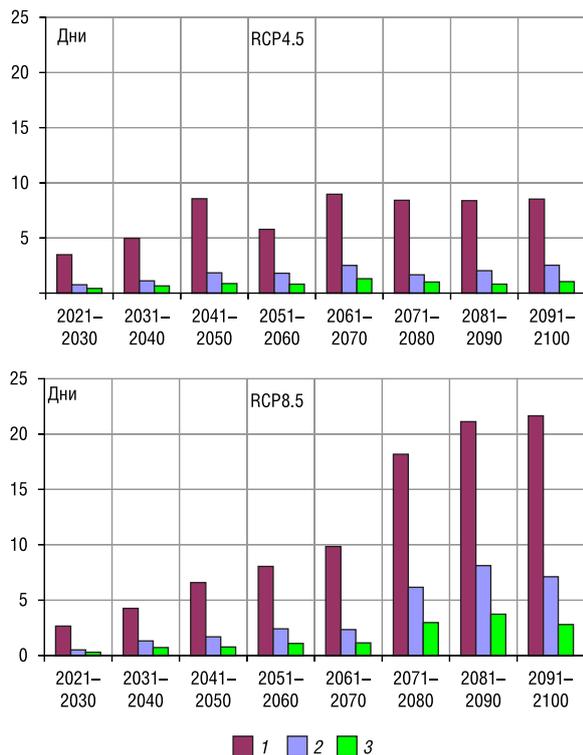


Рис. 4. Отклонения числа дней климатических индексов в летний сезон: 1 – теплые дни; 2 – жаркие дни; 3 – максимальная продолжительность жаркого периода

Примечание. *Жаркие дни (Hot days):* индекс, характеризующий теплый сезон, количество дней, когда максимальная температура воздуха в течение суток превышала отметку 30 °С; *теплые дни (Summer days):* индекс, характеризующий теплый сезон, количество дней, когда максимальная температура воздуха в течение суток превышала отметку 25 °С; *максимальная продолжительность жаркого периода (Hot period max length):* непрерывный период, в течение которого среднесуточная температура была выше 30 °С

Для сценария RCP8.5 наименьшие значения отклонений годовых сумм осадков более согласованы по ансамблю и составляют от 3 до 16 мм к 2091–2100 гг. Из восьми расчетных значений по десятилетиям 4 из них являются статистически незначимыми. Средние значения отклонений годовых сумм осадков ожидаются в пределах 10–30 мм, наибольшие значения – 21–42 мм, при этом отмечается постепенное увеличение отклонений в течение рассматриваемого периода.

Распределение отклонений сумм осадков по сезонам характеризуется наибольшими значениями в зимний и весенний периоды. В зимний сезон при реализации сценария RCP4.5 в период 2031–2100 гг. ожидаются устойчивые во времени отклонения сезонных сумм осадков в пределах 20–28 мм. Для сценария RCP8.5 ожидается последовательное по расчетным десятилетиям увеличение сезонных сумм осадков от 8 мм (2021–2030) до 50 мм к концу столетия. Сезонные отклонения ожидаются практически на таком же уровне, как в весенний период. Для сценария RCP4.5 их величина предположительно составит 15–31 мм, при сценарии RCP8.5 предполагается последовательный рост от 14 до 50 мм (2081–2090 гг., рис. 5).

Летние осадки по обоим сценариям радиационного воздействия (RCP4.5 и RCP8.5) прогнозируются с большой неопределенностью. Согласно расчетам, определить дальнейшую динамику отклонений сезонных осадков летом не представляется возможным и можно лишь предположить о вариациях в пределах нормы сезонных значений.

теплых дней будет более значительным, ожидается постепенное увеличение их количества по десятилетиям от 3 (2021–2030 гг.) до 22 дней (2091–2100 гг.). Количество жарких дней (наиболее неблагоприятных в отношении комфортности) и продолжительность жаркого периода будет характеризоваться небольшим положительным изменением в пределах 1–2 дней для сценария RCP4.5, 1–8 жарких дней и 1–3 дней максимальной продолжительности жаркого периода при сценарии RCP8.5.

Осадки. Согласно проведенным расчетам по ансамблю климатических моделей выявлены следующие особенности будущего режима увлажнения территории Беларуси. Динамика наименьших значений годовых сумм осадков при реализации сценария RCP4.5 характеризуется значительной неопределенностью, отрицательные отклонения годовых сумм осадков отмечены для периодов 2041–2050 и 2081–2090 гг. В остальные десятилетия ожидаются положительные отклонения годовых сумм осадков, однако все из них (в том числе положительные) невелики и предположительно будут находиться в пределах от –5 до 7 мм (такие отклонения являются статистически незначимыми). Средние значения годовых сумм осадков, согласно расчетам, будут колебаться для большинства десятилетий в пределах 10–15 мм без резких межпериодных колебаний. Наибольшие значения годовых осадков ожидаются в пределах 20–25 мм, наибольшее значение отклонения получено для периода 2071–2080 гг. и составляет 28 мм.

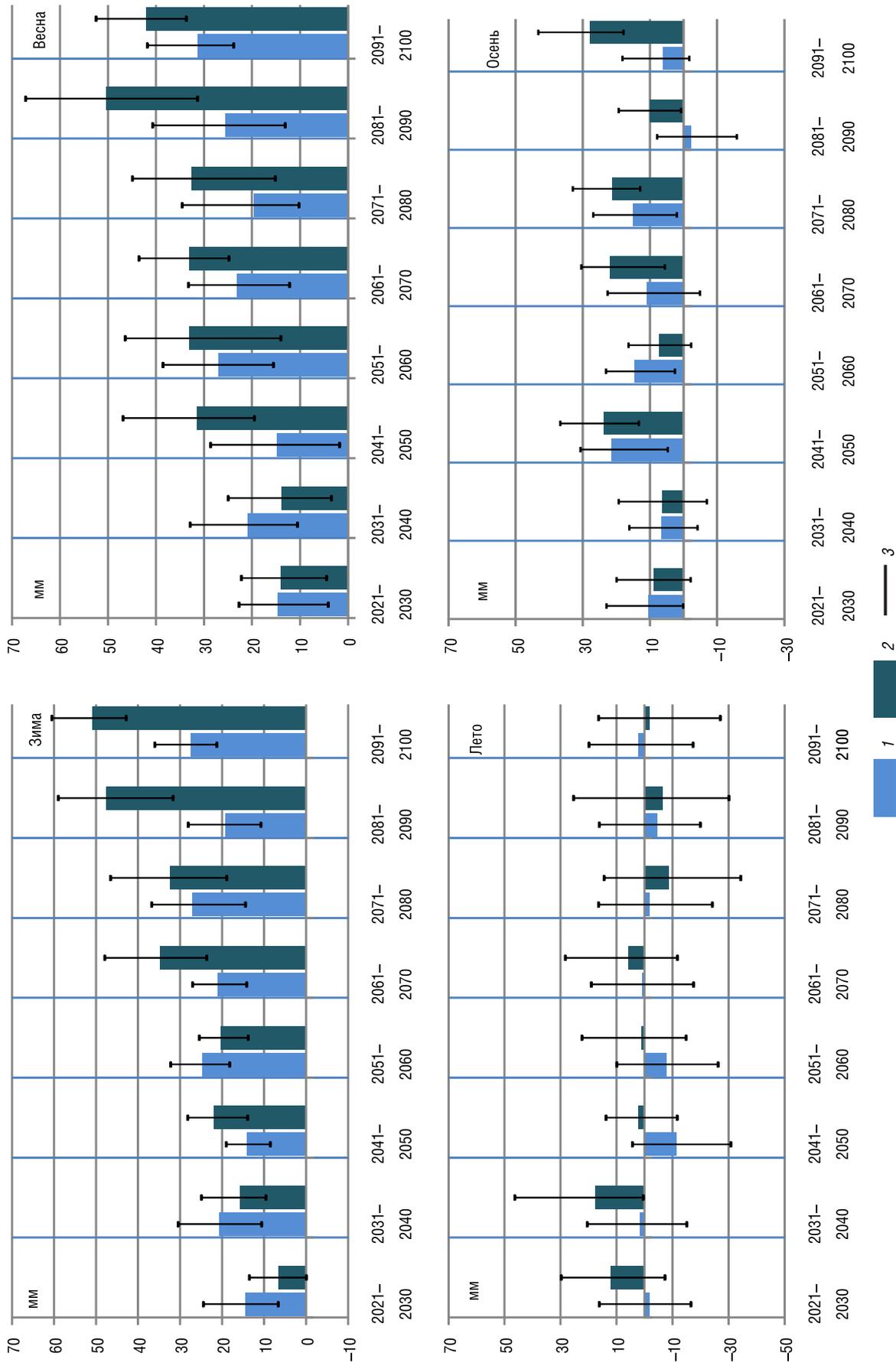


Рис. 5. Отклонения сезонных значений осадков по десятилетиям: 1 – RCP4.5; 2 – RCP8.5; 3 – коридор изменения

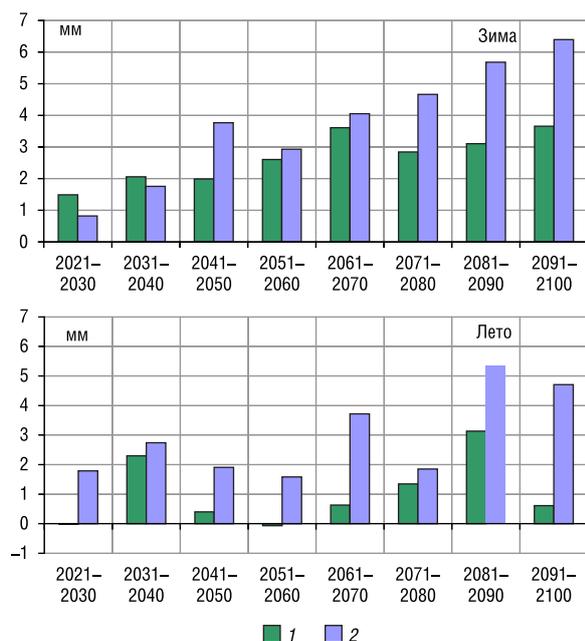


Рис. 6. Сумма осадков за пятидневный период с наибольшими осадками: 1 – RCP 4.5; 2 – RCP 8.5

Примечание. Количество пятидневок с наибольшей суммой осадков за период (*Highest five day precipitation amount per time period*): периоды с наибольшей суммой осадков за непрерывный пятидневный период

столетия для разных сценариев радиационного воздействия. Прогнозируемое изменение наибольших сумм осадков различается для холодного и теплого сезонов.

Осадки зимнего сезона характеризуются более согласованными результатами по ансамблю моделей. При реализации сценария RCP4.5 ожидается устойчивое во времени увеличение наибольших сумм осадков за пятидневные периоды в пределах 1,5–3,8 мм, при сценарии RCP8.5 – последовательное увеличение от 0,8 до 6,2 мм к концу столетия (рис. 6).

В летний сезон для сценария RCP4.5 значимые изменения ожидаются только для периодов 2031–2040 и 2071–2090 гг. и предположительно составят 1,2–3 мм. Для сценария RCP8.5 наиболее значительные отклонения характерны для периода 2031–2040 гг. (2,8 мм) и второй половины столетия – в пределах 3,8–5,2 мм.

Заключение

В результате выполнения исследования были выполнены расчеты статистических параметров для рядов модельных данных за период 2017–2100 гг. по температуре воздуха и осадкам за годовые и сезонные интервалы и климатических индексов на их основе, проведен анализ полученных результатов.

Для достижения наибольшей статистической достоверности оценки будущих климатических изменений на территории Беларуси использованы 12 комбинаций глобальных и региональных моделей для расчетов температуры воздуха и 11 – для осадков, позволившие получить достаточно обоснованные выводы.

Согласно выполненным расчетам, ожидаются существенные изменения температуры воздуха и осадков по территории Беларуси к концу текущего столетия. Возможные изменения связаны с положительными тенденциями температуры воздуха и осадков. Расчетные величины сезонных и годовых значений температуры и осадков варьируются в зависимости от комбинации глобальных и региональных моделей. Величины изменения температуры и осадков к концу столетия в большинстве случаев были связаны с величиной радиационного воздействия. Наименьшие

Осенний сезон также не имеет четко выраженной тенденции к увеличению, хотя отклонения сезонных сумм осадков в осенний период в большинстве случаев положительны и предположительно составят 5–24 мм. Разница между отклонениями для двух сценариев невелика, особенно в первой половине столетия. Наибольшие отклонения сезонных сумм осадков ожидаются для периодов 2041–2050, 2061–2080 и 2091–2100 гг. (для сценария RCP8.5).

Климатические индексы, рассчитанные на основе данных по осадкам, показали, что ожидаемый рост осадков будет связан не с увеличением количества дней с осадками (всех градаций), а с увеличением экстремальности характера их выпадения, т.е. увеличения сумм осадков за короткий интервал времени.

Наиболее показательной характеристикой интенсивности выпадения осадков является наибольшая сумма осадков за непрерывный пятидневный период. Согласно выполненным расчетам, ожидается увеличение сумм осадков за пятидневные периоды и увеличение количества пятидневных периодов с наибольшими суммами осадков от 3 до 6 случаев к концу

изменения отмечены для самого благоприятного сценария RCP2.6, наиболее значимые изменения метеорологических параметров характерны для агрессивного сценария RCP8.5.

Среднегодовые значения температуры воздуха предположительно будут постепенно увеличиваться к концу рассматриваемого периода: до 2,4 °С при реализации сценария RCP4.5 и до 4,7 °С при RCP8.5. Наибольшие значения отклонений сезонных значений температуры воздуха к концу столетия ожидаются для холодной части года: в зимний сезон – до 2,8 и 6,0 °С (для RCP4.5 и RCP8.5 соответственно), в весенний сезон – до 2,3 и 4,5 °С (для RCP4.5 и RCP8.5 соответственно). Летний и осенний сезоны характеризуется более низкими значениями отклонений в пределах 2,0–4,0 °С к концу столетия.

Годовые суммы осадков увеличатся к концу рассматриваемого периода до 15–30 мм, причем наиболее значительные отклонения сумм осадков ожидаются в холодную часть года. В летний сезон при отсутствии значимых тенденций изменения, ожидается увеличение экстремальности характера выпадения осадков.

Список использованных источников

1. *Логинов, В. Ф.* Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск, Тетра Системс, 2008. – 494 с.
2. *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.
3. *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.
4. *Мельник, В. И.* Основные результаты мониторинга изменения климата на территории Республики Беларусь / В. И. Мельник // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: матер. Междунар. науч.-практ. конф., 6–7 апр. 2016, – Брест, Беларусь. – С. 228–235.
5. *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.
6. Шестое Национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата / РУП «БелНИЦ «Экология», Минск, 2015. – 306 с.
7. Assessment of the first consensus prediction on climate change / D. J. Frame, D. A. Stone // *Nature Climate Change*. 2012. – № 3. – P. 357–359. doi:10.1038/nclimate1763
8. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century / P. Frich [et al.] // *Clim Res.* – 2002. – Vol. 19. – P. 193–212. doi:10.3354/cr019193
9. *Hewitt, C. D.* Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts / C. D. Hewitt, D. J. Griggs // *Eos.* – 2004. – N 85. – P. 566.
10. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300 / M. Meinshausen [et al.] // *Climatic Change.* – 2011. – N 1. – P. 213–241. doi:10.1007/s10584-011-0156-z
11. *Melnik, V. I.* Features of Climate Change on the Territory of the Republic of Belarus / V. I. Melnik, E. V. Komarovskaya // Materials of 7-th Conference on BALTEX, Borgholm, Island of Öland, Sweden, 2013. – Pp. 80–81.
12. A climatic stratification of the environment of Europe / M. J. Metzger [et al.] // *Glob Ecol Biogeogr.* – 2005. – N 14. – P. 549–563.
13. *Taylor, K.* An overview of CMIP5 and the experiment design / K. Taylor, R. J. Stouffer, G. A. Meehl // *Bull Am Meteorol. Soc.* 93. – P. 485–498. doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1. 2012.
14. *Van der Linden, P. Mitchell JFB* (eds) ENSEMBLES: climate change and its impacts: summary of research and results from ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter. 2009.
15. *Jacob, D.* EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research / D. Jacob [et al.] // *Regional Environmental Change.* – 2014. – Vol. 14, Issue 2. – P. 563–578.
16. Оценка пригодности моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 для расчетов будущих изменений климата России / В. А. Говоркова [и др.] // *Климат России в XXI веке. Ч. 2. Метеорология и гидрология.* 2008. – № 8. – С. 5–19.
17. *Груза, Г. В.* Оценка предстоящих изменений климата на территории Российской Федерации / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова // *Метеорология и гидрология.* – 2009. – № 11. С. 5–29.
18. *Кокорев, В. А.* Построение оптимизированной ансамблевой климатической проекции для оценки последствий изменений климата на территории России / В. А. Кокорев, О. А. Анисимов // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем.* – 2013. – Т. 25, С. 131.
19. Изменения и изменчивость климата Северной Евразии в XXI веке: оценки основанные на ансамбле МОЦАО / В. П. Мелешко [и др.] // *Прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям: материалы Междунар. конф. по проблемам гидрометеорол. безопасности.* – М., 2007. – С. 97.
20. Изменения климата и их последствия: научное издание / В. Ф. Логинов [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Логинова: Инт-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Минск: Тонпик, 2003. – 330 с.
21. *Логинов, В. Ф.* Использование моделей общей циркуляции для оценки климата в Беларуси / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий, Е. Н. Каждан // *Природопользование.* – 2000. – Вып. 6, С. 30–31.

22. МГЭИК, 2013а: Приложение III: Глоссарий [Planton, S. (ed.)]. В: Изменение климата, 2013 г.: физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bexand, P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1447–1466.

23. Герменчук, М. Г., Изменения основных климатических параметров и повторяемость опасных гидрометеорологических явлений в Республике Беларусь / М. Г. Герменчук, В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства: Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси – Минск, 2010 – С. 135–146.

24. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск : Вышэйш. шк., 1973. – 300 с.

Поступила 23.01.2018

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

УДК 550.4:550.424:631.4 (476)

М. П. Оношко¹, А. С. Глаз², Л. И. Смыкович³, М. А. Подружая¹

¹Филиал «Институт геологии» Государственного предприятия «НПЦ по геологии», Минск, Беларусь,
e-mail: onoshko@geology.org.by,

²Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: alex_glas@nature.basnet.by

³Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: geosmykovich@gmail.com

**ЛАНДШАФТНО- И ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ В РАЙОНЕ
РАЗМЕЩЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС**

По материалам геохимической съемки масштабов 1:100000 и 1:50000 выявлены ландшафтно-геохимические особенности территории в районе размещения Белорусской АЭС. Дана эколого-геохимическая оценка состояния современных покровных отложений на начало строительства АЭС. Оценка ландшафтов и эколого-геохимического состояния территории проведена по почвенному покрову на основе интегрального показателя Z_c . По отношению к кларку почв Беларуси почвенный покров территории в 1,4–3,9 раза обогащен Pb, Mn, Cu, Cr, на уровне кларка Co, Ni, Zr. По территории исследования преобладает минимальный и низкий уровень загрязнения. Это относится как к заповедным территориям Национального парка «Нарочанский», заказников – «Сорочанские озера», «Голубые озера», «Швакшты», так и к водосборным территории р. Вилии, занятых природными ландшафтами в пределах Островецкого, Ошмянского и Сморгонского районов, и к лесным массивам у границы с Литвой. Экологическую обстановку территории можно считать благоприятной. Современные покровные отложения природных ландшафтов на изученной территории в связи с невысокими на текущий момент техногенными нагрузками по уровню загрязнения почти не отличаются: показатель Z_c лежит в близких пределах: 2,7–5,0. Элементарные ландшафты в пределах исследованной территории относятся к категории ландшафтов устойчивых к химическому загрязнению, за исключением отложений трансэлювиального ландшафта мелко- и среднехолмистой моренной возвышенности и супераквального ландшафта холмисто-грядовой моренной равнины, являющиеся среднеустойчивыми. Оценка существующего состояния современных отложений, в том числе почвенного покрова, послужит отправной точкой при последующих экологических исследованиях данной территории.

Ключевые слова: геохимическое картирование, почвы, эколого-геохимическая оценка территории, природные и элементарные ландшафты

M. P. Onoshko¹, A. S. Glaz², L. I. Smykovich³, M. A. Podrzhaya¹

¹Branch "Institute of Geology" of the State Enterprise "SPC for geology", Minsk, Belarus, e-mail: onoshko@geology.org.by,

²Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: alex_glas@nature.basnet.by

³Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: geosmykovich@gmail.com

**LANDSCAPE- AND ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL ASSESSMENT TERRITORY IN THE AREA OF LOCATION
OF THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT**

Due to data of geochemical prospecting on a scale of 1:100000 and 1:50000 landscape geochemical features of the territory in the area of location of Belarusian NPP were revealed. An ecological geochemical assessment of the existing condition of recent sediments, including soil cover, for the territory in the area of location of the Belarusian Nuclear Power Plant on the beginning of construction of the station is given. The assessment of landscapes and ecological geochemical condition of the territory is made for the soil covering based on Z_c integrated value. In relation to percentage abundance of soils in Belarus, soil covering of the investigated area is in 1.4–3.9 times more enriched in Pb, Mn, Cu, Cr, on the level of Co, Ni, Zr. Minimum and low contam-

ination level is prevailed within investigated area. It refers to conservation areas of "Narochansky National Park", reserved areas of "Sorochansky lakes", "Blue lakes", "Shvakshty", and to the catchment basin areas of Viliya River occupied by landscapes within the borders of Ostrovetsky, Oshmyansky and Smorgonsky regions to the forestry at the boarder of Lithuania. The ecological situation of the surveyed territory can be considered favorable. Modern cover deposits of natural landscapes within investigated territory in connection with low technogenic loads at the current time in terms of pollution are almost indistinguishable. Z_c value is ranging within 2.7–5.0. Elementary landscapes within investigated area belong to the category of landscapes resistant to chemical pollution, with the exception of sedimentation of areas along the downslope landscape of the fine and middle-hilly moraine upland and the superagual landscape of the hilly-ridge morainic plain, which are medium-stable. The assessment of the current state of modern sediments, including soil cover, will serve as a starting point for subsequent environmental studies of this territory.

Keywords: geochemical map, the soil, Ecological and geochemical assessment of the territory, natural and elementary landscapes

М. П. Аношка¹, А. С. Глаз², Л. І. Смыкович³, М. А. Падружая¹

¹Філіял «Інстытут геалогіі» Дзяржаўнага прадпрыемства «НВЦ па геалогіі», Мінск, Беларусь,
e-mail: onoshko@geology.org.by,

²Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: alex_glas@nature.basnet.by

³Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,
e-mail: geosmykovich@gmail.com

ЛАНДШАФТНА-І ЭКОЛАГА-ГЕАХІМІЧНЫЯ АЦЭНКІ ТЭРЫТОРЫЇ Ў РАЁНЕ РАЗМЯШЧЭННЯ БЕЛАРУСКАЙ АЭС

Па матэрыялах геахімічнай здымкі маштабаў 1:100 000 і 1:50 000 выяўлены ландшафтна-геахімічныя асаблівасці тэрыторыі ў раёне размяшчэння Беларускай АЭС. Дана экалага-геахімічная ацэнка стану сучасных пакрыўных адкладаў на пачатак будаўніцтва АЭС. Ацэнка ландшафтаў і экалага-геахімічнага стану тэрыторыі праведзена па глебаваму пакрыўу на аснове інтэгральнага паказчыка Z_c . У адносінах да кларку глеб Беларусі глебавы пакрыў тэрыторыі ў 1,4–3,9 разы ўзбагачаны Pb, Mn, Cu, Cr, на ўзроўні кларка ўтрыманне Co, Ni, Zr. На тэрыторыі даследавання пераважае мінімальны і нізкі ўзровень забруджвання. Гэта адносіцца як да запаведных тэрыторыяў Нацыянальнага парка «Нарачанскі», заказнікаў – «Сарачанскія азёры», «Блакiтныя азёры», «Швакшты», так і да вадазборнай тэрыторыі р. Віліі, занятай прыроднымі ландшафтамі ў межах Астравецкага, Ашмянскага і Смаргонскага раёнаў і да лясных масіваў ля мяжы з Літвой. Экалагічную абстаноўку тэрыторыі можна лічыць спрыяльнай. Сучасныя пакрыўныя адклады прыродных ландшафтаў на вывучанай тэрыторыі ў сувязі з невысокімі на бягучы момант тэхнагеннымі нагрузкамі па ўзроўню забруджвання амаль не адрозніваюцца: паказчык Z_c знаходзіцца ў межах: 2,7–5,0. Элементарныя ландшафты ў межах даследаванай тэрыторыі адносяцца да катэгорыі ландшафтаў, устойлівых да хімічнага забруджвання, за выключэннем адкладаў транслювіяльнага ландшафту дробна- і сярэднеўзгорыстага марэннага ўзвышша і супераквальнага ландшафту ўзгорыста-градавай марэннай раўніны, якія з'яўляюцца сярэднеўстойлівымі. Ацэнка існуючага стану сучасных адкладаў, у тым ліку глебавага пакрыва, паслужыць адпраўным пунктам пры наступных экалагічных даследаваннях данай тэрыторыі.

Ключавыя словы: геахімічная карта, глеба, экалага-геахімічная ацэнка тэрыторыі, прыродныя і элементарныя ландшафты

Введение

Антропогенное преобразование окружающей среды в процессе деятельности человека усиливается с каждым годом. Развитие промышленности, энергетики, сельского хозяйства, транспорта, расширение урбанизированных зон вызывают существенные изменения окружающей среды. Энергетические объекты по степени влияния принадлежат к числу наиболее интенсивно воздействующих на биосферу промышленных объектов. Они оказывают влияние на различные компоненты природной среды: атмосферу, гидросферу, литосферу, почвы [1, 2]. Для регулирования отношения АЭС с окружающей средой необходимо знать ее исходное состояние, проведение мониторинга, результаты которого позволят выявить изменения под влиянием антропогенной деятельности.

Цель данной работы – эколого-геохимическая оценка существующего состояния современных покровных отложений, в том числе почв, на начало строительства Белорусской АЭС. Данная оценка послужит отправной точкой при последующих экологических исследованиях этой территории.

Материалы и методы исследований

В основу работы положены данные геохимической съемки изучаемой территории масштабов 1:100 000 и 1:50 000, проводившейся в летнее время 2012–2015 гг. в рамках мероприятия 32 Программы освоения месторождений полезных ископаемых и развития минерально-сырье-

вой базы Республики Беларусь на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г. Съёмка выполнялась с использованием технологии многоцелевого геохимического картирования [3, 4] с плотностью опробования 1 пункт на 1 см² карты. Система опробования подчинялась основным направлениям миграции элементов и местам сопряжения элювиальных, супераквальных и субаквальных ландшафтов. Опробование велось по профилям, различающимися особенностями геологического строения территории и спецификой поведения химических элементов при современных геологических и геохимических процессах.

Анализ валового содержания микроэлементов в почвах и породах (Pb, Ni, Co, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Cu, Ba, Nb, Zn, B, Ga, Y, Yb, La, Mo) выполнялся в государственном предприятии «НПЦ по геологии» эмиссионным спектральным методом на приборе PGS-2 по методике [5]. С учетом того, что содержание ряда микроэлементов находится в очень низких количествах, в пределах ошибки прибора, варьирует в незначительных пределах или было определено в небольшом количестве образцов, для более детальной эколого-геохимической характеристики отложений и сравнительной оценки ландшафтов по степени загрязнения представлены материалы по девяти микроэлементам (Pb, Ni, Co, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Cu). Проведена аналитическая обработка геохимических данных по 657 пробам пород, из них 560 почвенных проб с глубины 0,10–0,15 м.

Представленные в работе карты построены в масштабе 1:100 000 в цифровом формате с использованием программ Arc View и Corel Draw.

Результаты и их обсуждение

Территория исследований находится в области развития четвертичных отложений, представленных ледниковыми, водно-ледниковыми, аллювиальными, озерно-ледниковыми и болотными отложениями.

Район изучения расположен в подзоне бореальных подтаежных (смешанно-лесных) ландшафтов в пределах Поозерской ландшафтной провинции озерно-ледниковых, моренно- и холмисто-моренно-озерных ландшафтов и Свенцянского-Нарочанского холмисто-моренно-озерного и водно-ледникового ландшафтного района. По своему высотному положению ландшафты региона относятся ко всем трем имеющимся на территории Беларуси группам ландшафтов: возвышенным (абсолютные отметки > 200 м), средневысотным (150–200 м) и низменным (100–150 м). Возвышенные ландшафты занимают окраинные части изучаемой территории – северо-восточную и юго-западную. При движении к центру они сменяются средневысотными и низменными.

В пределах изученной территории, согласно легенде к ландшафтной карте Беларуси [6, 7, 8], выделены следующие роды и подроды ландшафтов: холмисто-моренно-озерный ландшафт с поверхностным залеганием супесчано-суглинистой морены, моренно-озерный с прерывистым покровом водно-ледниковых супесей, водно-ледниковый с озерами с поверхностным залеганием водно-ледниковых песков и этот же род ландшафта с прерывистым покровом водно-ледниковых супесей.

В их пределах выделены виды ландшафтов, при определении которых ведущим фактором служит мезорельеф, дополнительными – характер растительности на уровне групп ассоциаций и виды почв. Всего выделено 12 видов ландшафтов. Химические результаты по каждому природному ландшафту статистически обработаны с выделением в них естественного (природного) фона. В качестве фона взяты условно чистые природные места для каждого конкретного ландшафта.

Оценка ландшафтов и эколого-геохимического состояния территории проведена по почвенному покрову, его верхнему гумусовому горизонту на основе интегрального показателя Z_c [9], который отражает общий вклад микроэлементов в загрязнение почв или других компонентов природно-геологической среды, и выражается формулой:

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

где K_c – коэффициент концентрации вещества; n – число анализируемых элементов-загрязнителей.

Коэффициент концентрации вещества K_c определяется по формуле:

$$K_c = C_x / C_f$$

где C_x , C_f – среднее содержание микроэлементов в почвах природного ландшафта и фоновых почвах для данного ландшафта соответственно.

В наших расчетах учитывались только элементы с $K_c > 1,1$.

В количественной эколого-геохимической оценке территории использованы три уровня загрязнения по значениям Z_c : $< 8,0$ – минимальный; 8–16,0 – низкий, 16–32 – средний [9–11]. Все расчеты проводились в пределах каждого выделенного вида природного ландшафта.

По химическому составу почвенный покров обследованной территории в 1,4–3,9 раза обогащен Pb, Mn, Cu, Cr по отношению к кларку почв Беларуси [12]. На уровне кларка почв содержание Co, Ni, Zr. Геохимический индекс исследованных минеральных отложений по отношению к кларку почв Беларуси имеет следующее выражение:

$$\text{Co, Ni, Zr}(0,9-1,1) \frac{\text{Cr}(3,9), \text{Cu}(1,8), \text{Mn}(1,5), \text{Pb}(1,4), \text{Ti}(1,2)}{\text{V}(0,7)}$$

Превышения предельно-допустимых концентраций элементов, которые установлены для почв Беларуси [13], в целом по изученной территории не выявлено, за исключением хрома (в 1,4 раза выше ПДК).

Сопоставление уровня содержания химических элементов в почвенном покрове разных видов ландшафтов показывает, что среди фоновых значений в целом резких различий нет (табл. 1). Несколько повышены по отношению к кларку почв Беларуси фоновые концентрации Pb, Cu в отложениях пологоволнистой моренной равнины с ложбинами (в 2,3 и 3,3 раза соответственно) и содержание Cr в поймах рек (выше кларка почв в 6 и более раз).

Возможным фактором значительного содержания хрома в покровных отложениях данной территории (пределы содержания от 2,6 до 450 мг/кг при среднем значении для территории в целом 139 мг/кг) может быть литологический. Это молодые поозерские моренные отложения. В моренных суглинках последнего оледенения, по литературным данным [14], содержание элемента составляет 116,2–128,0 мг/кг при среднем значении 122,0.

Расчеты по суммарному показателю загрязнения Z_c свидетельствуют о минимальном уровне загрязнения почв ($Z_c < 8$) во всех исследованных видах ландшафтов. Только для почв волнистой моренно-зандровой равнины этот показатель немного выше ($Z_c = 9,1$) при оценке уровня загрязнения по Сауту [9] как «низкий». Коэффициент концентрации всех элементов для этого ландшафта за исключением Cr выше фоновых значений в 1,2–4,7 раза. Данный ландшафт расположен в пределах Островецкого и Сморгонского районов по левобережью р. Страча в ее низовье.

Одной из причин повышенного содержания элементов загрязнителей в отложениях может быть литологический фактор. Все аномальные участки с максимальными значениями K_c

Т а б л и ц а 1. Содержание химических элементов в почвах различных ландшафтов в районе размещения Белорусской АЭС, 2012–2014 гг., мг/кг

Показатель, количество проб	Pb	Ni	Co	Cr	V	Mn	Ti	Zr	Cu	сумма $K_c > 1,1$	Z_c
Возвышенные ландшафты, холмисто-моренные:											
Средне- и крупнохолмистая камово-моренная возвышенность											
Фоновое значение, 10	18,6	17,1	5,3	61,4	9,6	343	2571	129	20,7		
Среднее содержание по ландшафту, 22	16,9	17,9	5,4	61,0	9,2	313	2968	136	22,7		
Соотношение с фоном K_c	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2
Средне- и крупнохолмистая камовая возвышенность с ложбинами расчленения											
Фоновое значение, 7	15,0	16,7	4,3	70,0	11,7	433	2667	267	23,3		
Среднее содержание по ландшафту, 7.	16,7	23,8	6,3	65,0	14,2	583	3000	258	30,9		
Соотношение с фоном K_c	1,1	1,4	1,5	0,9	1,2	1,4	1,1	1,0	1,3	6,8	2,8

Окончание табл. 1

Показатель, количество проб	Pb	Ni	Co	Cr	V	Mn	Ti	Zr	Cu	сумма $K_c > 1,1$	Z_c
Мелко- и среднехолмисто-грядовая моренная возвышенность с камами, замкнутыми котловинами и ложбинами											
Фоновое значение, 3	15,0	15,0	5,0	50,0	5,0	300	3000	200	30,0		
Среднее содержание по ландшафту, 7	15,0	15,0	5,0	50,0	6,00	300	3000	150	30,0		
Соотношение с фоном K_c	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	0,8	1,0	1,2	1,2
Мелко- и среднехолмисто-грядовая моренная возвышенность с камами, озами, термокарстовыми западинами, ледниковыми озерами в глубоких ложбинах											
Фоновое значение, 7	12,3	20,3	4,4	117	24,7	225	977	353	17,6		
Среднее содержание по ландшафту, 31	15,9	22,3	6,6	182	33,0	352	1594	396	18,8		
Соотношение с фоном K_c	1,3	1,1	1,5	1,6	1,3	1,6	1,6	1,1	1,1	8,9	3,9
Мелко- и среднехолмистая моренная возвышенность с камами, озами, западинами											
Фоновое значение, 7	9,9	16,7	4,3	239	19,7	203	1383	284	12,4		
Среднее содержание по ландшафту, 24	17,5	21,0	6,4	229	27,6	369	1546	416	17,4		
Соотношение с фоном K_c	1,8	1,3	1,5	1,0	1,4	1,8	1,1	1,5	1,4	10,7	4,7
Средневысотные ландшафты, моренно-озерные:											
Холмисто-грядовая моренная равнина с ложбинами расчленения, озерами, котловинами											
Фоновое значение, 37	12,5	19,4	3,6	121	27,1	212	860	300	18,1		
Среднее содержание по ландшафту, 142	16,6	22,5	5,2	132	27,6	387	1826	453	24,3		
Соотношение с фоном K_c	1,3	1,2	1,5	1,1	1,0	1,8	2,1	1,5	1,4	10,8	4,8
Волнистая моренно-зандровая равнина с ложбинами стока											
Фоновое значение, 12	13,9	14,1	1,1	174	15,0	208	875	257	13,2		
Среднее содержание по ландшафту, 26	16,9	21,7	5,4	145	24,2	366	1713	397	24,2		
Соотношение с фоном K_c	1,2	1,5	4,7	0,8	1,6	1,8	2,0	1,5	1,8	16,1	9,1
Пологоволнистая моренная равнина с ложбинами											
Фоновое значение, 5	28,3	15,0	2,7	63,3	10,7	300	2000	267	43,3		
Среднее содержание по ландшафту, 8	25,3	18,1	6,1	66,9	12,1	469	2538	277	43,9		
Соотношение с фоном K_c	0,9	1,2	2,3	1,1	1,1	1,6	1,3	1,0	1,0	6,4	3,4
Водно-ледниковые ландшафты:											
Холмисто-волнистая водно-ледниковая равнина с камами, останцами моренной равнины, ложбинами стока											
Фоновое значение, 5	16,3	13,8	4,0	55	9,3	250	3000	200	32,5		
Среднее содержание по ландшафту, 20	17,8	18,0	5,4	64	10,2	404	3870	178	31,7		
Соотношение с фоном K_c	1,1	1,3	1,3	1,2	1,1	1,6	1,3	0,9	1,0	6,7	2,7
Волнистая водно-ледниковая равнина с ложбинами расчленения, древними озерными котловинами с озерами, останцами моренной равнины											
Фоновое значение, 10	11,9	18,2	0,0	130	24,8	169	998	271	15,1		
Среднее содержание по ландшафту, 55	17,1	19,6	4,7	113	18,0	366	2275	376	26,0		
Соотношение с фоном K_c	1,4	1,1	0	0,9	0,7	2,2	2,3	1,4	1,7	9,0	5,0
Волнистая водно-ледниковая равнина с камами, озами, глубокими ложбинами стока, занятыми озерами											
Фоновое значение, 14	13,4	16,3	2,6	137	20,2	239	1026	363	12,6		
Среднее содержание по ландшафту, 51	15,1	18,2	4,3	226	23,5	282	1298	390	18,8		
Соотношение с фоном K_c	1,1	1,1	1,7	1,8	1,2	1,2	1,3	1,1	1,5	8,7	3,7
Поймы рек											
Фоновое значение, 5	15,7	12,4	2,5	233	19,7	352	830	400	8,5		
Среднее содержание по ландшафту, 43	16,4	20,7	5,1	155	25,4	497	1635	366	22,3		
Соотношение с фоном K_c	1,0	1,7	2,0	0,7	1,3	1,4	2,0	0,9	2,6	11,0	5,0

приурочены к территориям с моренными отложениями. Почвы здесь представлены суглинками и супесями, почвообразующая порода – моренные суглинки. Вторым фактором может быть сельскохозяйственная нагрузка на территории. Все участки с более высоким уровнем загрязнения по функциональному зонированию территории и визуальному осмотру заняты пашней.

Таким образом, расчеты показали, что по территории исследования преобладают минимальный и низкий уровни загрязнения. Это относится как к заповедным территориям Национального парка «Нарочанский», заказников – «Сорочанские озера», «Голубые озера», «Швакшты», так и к водосборным территориям р. Вилии, занятых природными ненарушенными ландшафтами в пределах Островецкого, Ошмянского и Сморгонского районов, к лесным массивам у границы с Литвой.

На территории левобережья р. Вилии (Островецкий район) в пределах холмисто-рядовой моренной равнины и на отдельных участках Сморгонского района (волнистая моренно-зандровая равнина) отмечаются небольшие участки, занятые пашней, с уровнем загрязнения 8–16. Среди природных ландшафтов в пределах заповедных территорий также выделены участки с таким же уровнем загрязнения. Это распаханнные участки в пределах заповедника «Сорочанские озера» (в районе деревень Буйки, Белая вода, Жукойни, Большое Туровье) и Национального парка «Нарочанский» в районе д. Комарово. На этих территориях необходимо проводить периодические наблюдения за уровнем загрязнения.

На обследованных участках Ошмянского района преобладает низкий уровень загрязнения отложений.

Исходя из вышеизложенного, согласно [4], экологическая обстановка территории в районе размещения Белорусской АЭС благоприятная ($Z_c < 8,0$). Только в тех местах, где уровень загрязнения несколько выше (8–16), обстановка относительно благоприятная. Участков с уровнями Z_c 16–32 и выше на изучаемой территории на время исследования не выявлено. Полученные материалы легли в основу эколого-геохимической карты территории в районе размещения АЭС (рис. 1).

Для исследованной территории построена ландшафтно-геохимическая карта (рис. 2). Теоретической и методической основой карты служит учение о ландшафтно-геохимических системах, о составляющих их элементарных ландшафтах, а также о геохимических барьерах [15–19].

С учетом рельефа местности в пределах природных ландшафтов выделены элементарные ландшафты с наложением на них путей миграции вещества. На карте выделено и охарактеризовано 5 типов элементарных ландшафтов: элювиальный со слабым выносом химических элементов, аккумулятивно-элювиальный с преобладанием слабой аккумуляции, трансэлювиальный с преобладанием транзита вещества, трансэлювиально-аккумулятивный с переносом вещества по уклону и его аккумуляция и супераккумулятивный с преобладанием сильной аккумуляции. Примерно 50 % общей площади территории приходится на долю элювиальных ландшафтов, на элювиально-аккумулятивные вместе с аккумулятивными – около 7 %. Каждый из элементарных ландшафтов на карте отражен условным знаком с определенной штриховкой. Показаны границы и индексы (цифровые) природных ландшафтов. Цветом отображена степень устойчивости ландшафтов к химическому загрязнению. Степень устойчивости покровных отложений к химическому загрязнению устанавливалась на основании суммарного показателя концентрации (СПК), который рассчитывался аналогично показателю Z_c . Согласно [20], для карты установлена шкала градации по СПК: 1–5 – устойчивые; 5–10 – среднеустойчивые; 10–15 – слабоустойчивые; > 15 – неустойчивые. Дополнительно к вышеназванным условным обозначениям на самой карте к ней прилагается экспликация в виде таблицы (табл. 2). В шапку таблицы включены название элементарного ландшафта, индекс природного ландшафта, тип почв, условия миграции химических элементов, оценка геохимических условий среды, ряды накапливающихся элементов и суммирующий показатель – степень устойчивости ландшафтов к химическому загрязнению. Отложения пойм рек, которые на ландшафтной карте выделены в самостоятельный вид, при работе над ландшафтно-геохимической картой были отнесены к тому ландшафту, на котором они территориально расположены.

Современные покровные отложения природных ландшафтов на изученной территории в связи с невысокими на текущий момент техногенными нагрузками по уровню загрязнения почти не отличаются: показатель Z_c лежит в близких пределах: 2,7–5,0. По элементарным ландшафтам некоторые различия имеются (рис. 3).

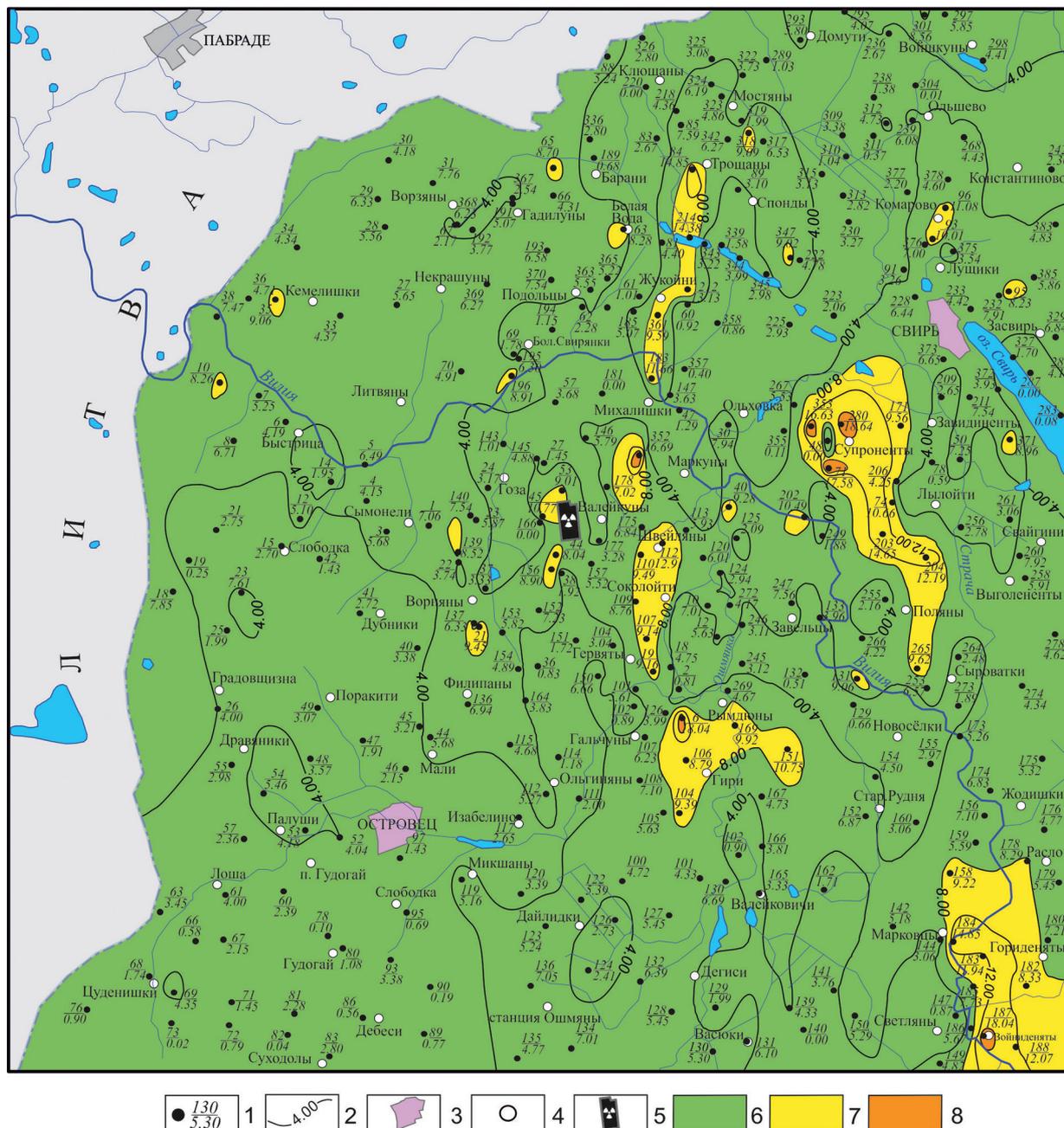


Рис. 1. Эколого-геохимическая карта территории в районе размещения Белорусской АЭС.

Условные обозначения: 1 – точки опробования: числитель – номер точки, знаменатель – значение Z_c в точке; 2 – изолинии значений Z_c ; 3 – поселки городского типа; 4 – поселки сельского типа; 5 – площадка АЭС. Экологическая обстановка: 6 – благоприятная ($Z_c < 8$), 7 – относительно благоприятная ($Z_c = 8-16$), 8 – неблагоприятная ($Z_c = 16-32$)

Среди элювиальных ландшафтов выше уровень загрязнения у отложений волнистой водно-ледниковой равнины с камами, озами, глубокими ложбинами стока, занятыми озерами (СПК 4,88). О загрязнении этого ландшафта указывает и эколого-геохимическая карта территории. Среди элементарных ландшафтов данного вида ландшафта наименьшее загрязнение отмечено у отложений трансэлювиального ландшафта (1,83).

Среди трансэлювиальных ландшафтов более значительное загрязнение имеют отложения мелко- и среднехолмистой моренной возвышенности с камами, озами, западинами (5,52). Ряд накапливающихся элементов здесь очень большой и представлен следующим видом:

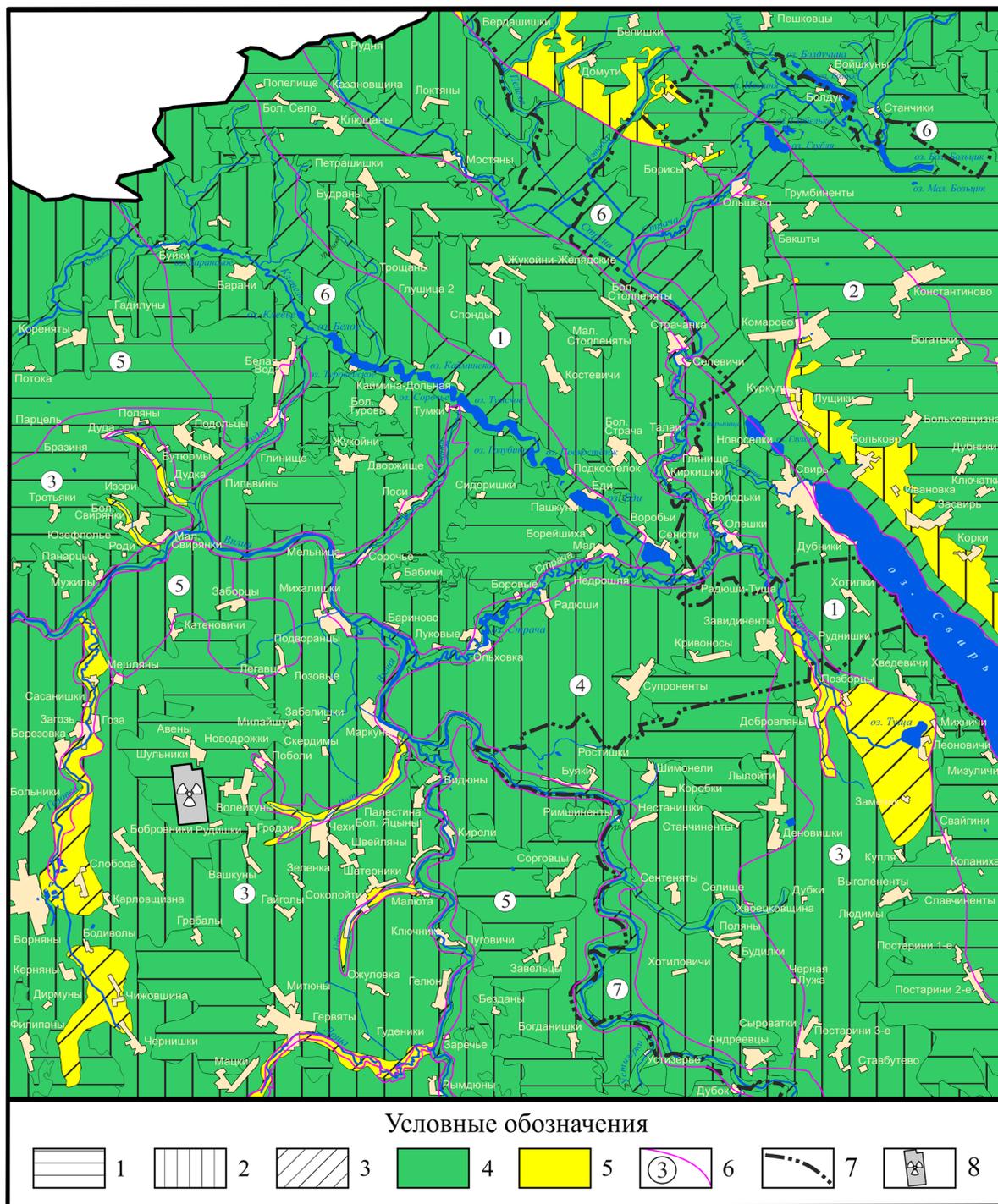


Рис. 2. Ландшафтно-геохимическая карта территории в районе размещения Белорусской АЭС

Элементарные ландшафты: 1 – элювиальный (слабая вертикальная миграция, вынос с поверхностным плоскостным стоком), 2 – трансэлювиальный (максимальный вынос с поверхностным и линейным стоком, транзит по линейным путям миграции), 3 – супераквальный (аккумуляция и транзит с паводковыми водами). **Степень устойчивости ландшафта к химическому загрязнению:** 4 – устойчивый, 5 – среднеустойчивый, 6 – природный ландшафты (контуры и их индексы): 1 – мелко- и среднехолмисто-грядовая моренная возвышенность с камами, озами, термокарстовыми западинами, ледниковыми озерами в глубоких ложбинах; 2 – мелко- и среднехолмистая моренная возвышенность с камами, озами, западинами; 3 – холмисто-грядовая моренная равнина с ложбинами расчленения, озерами, котловинами; 4 – волнистая моренно-здоровая равнина с ложбинами стока; 5 – волнистая водно-ледниковая равнина с ложбинами расчленения, древними озерными котловинами с озерами, останцами моренной равнины; 6 – волнистая водно-ледниковая равнина с камами, озами, глубокими ложбинами стока, занятыми озерами; 7 – границы административных районов; 8 – площадка Белорусской АЭС

Т а б л и ц а 2. Экспликация к ландшафтно-геохимической карте территории в районе размещения Белорусской АЭС

элементарный ландшафт, условия выноса и аккумуляции вещества, окислительно-восстановительные условия		индекс природного ландшафта	почва	условия поверхностной миграции	pH _{КС}	C _{срн} , %	ряд накапливающихся элементов в гумусовом горизонте (превышение над фоном соответствующего ландшафта)	суммарный показатель концентрации элементов (СПК)	Степень устойчивости ландшафта к химическому загрязнению
Элювиальный ландшафт с промывным режимом. Окислительная среда	1	Дерново-подзолистые супесчано-суглинистые	Вынос с поверхностным стоком	Co (1,7), Mn (1,6), Ti (1,5), Pb, V (1,3), Zr, Cu (1,2)	5,4–7,3	0,9–2,1	Co (1,7), Mn (1,6), Ti (1,5), Pb, V (1,3), Zr, Cu (1,2)	4,0	Устойчивый
	2	Дерново-подзолистые супесчано-суглинистые			5,5–5,6	1,2	Zr (2,0), Mn (1,5), V, Ti (1,4), Cu (1,3), Pb, Ni (1,2)	4,0	Устойчивый
	3	Дерново-подзолистые супесчано-суглинистые			4,3–6,3	0,7–1,3	Co (1,8), Zr (1,6), Mn, Ti (1,5), Cr, Pb (1,2)	3,6	Устойчивый
	4	Дерново-подзолистые супесчано-суглинистые			6,5–7,0	1,3	Co (1,5), V, Mn (1,4), Ti (1,3), Cr (1,2)	3,2	Устойчивый
	5	Дерново-подзолистые супесчано-песчаные			3,8–6,5	1,8	Mn (1,9), Zr (1,6), Pb, Ni, Ti, Cu (1,3), Cr, V (1,2)	4,2	Устойчивый
	6	Дерново-подзолистые супесчано-песчаные			7,0–7,1	1,1	Co (2,3), V, Ti, Cu (1,5), Pb, Ni (1,3), Mn (1,2)	4,9	Устойчивый
Трансэлювиальный ландшафт с промывным режимом. Окислительная среда	1	Дерново-подзолистые супесчано-песчаные	Максимальный вынос с поверхностным и линейным стоком, транзит по линейным путям миграции	5,7–7,1	1,0–1,2	Ti (1,7), Co, V, Mn (1,4), Pb, Cr (1,3), Ni (1,2)	4,0	Устойчивый	
	2	Дерново-подзолистые супесчано-песчаные			4,6–6,7	0,5–1,4	Zr (2,0), V (1,8), Mn (1,6), Ni, Ti, Cu (1,5), Cr (1,3), Pb, Co (1,2)	5,5	Средне-устойчивый
	3	Дерново-подзолистые супесчано-песчаные			3,8–7,1	0,5–3,1	Co (2,1), Ti (1,7), Mn, Zr (1,4), Pb, Ni, Cr, V (1,2)	4,5	Устойчивый
	4	Дерново-подзолистые супесчано-песчаные			5,5–6,8	1,7–2,5	Ti (1,7), Mn (1,6), Co (1,5), V (1,4), Pb (1,3), Cu (1,2)	3,8	Устойчивый
	5	Дерново-подзолистые супесчано-песчаные			3,3–7,0	1,2–3,1	Zr (1,8), Mn (1,6), Ti, Cu (1,3), Pb (1,2)	3,4	Устойчивый
	6	Дерново-подзолистые супесчано-песчаные			4,3–6,9	1,7–2,1	Co (1,6), V (1,5), Cu (1,4), Ni, Ti (1,3), Mn (1,2)	3,5	Устойчивый

Окончание табл. 2

Современные ландшафто-геохимические условия миграции элементов в покровных отложениях различных элементарных ландшафтов									
элементарный ландшафт. условия выноса и аккумуляции вещества, окислительно-восстановительные условия	индекс природного ландшафта	почва	условия поверхностной миграции	pH _{KCl}	C _{орг.} %	ряд накапливающихся элементов в гумусовом горизонте (превышение над фоном соответствующего ландшафта)	суммарный показатель концентрации элементов (СПК)	степень устойчивости ландшафта к химическому загрязнению	
Суперактивный ландшафт с периодическим или постоянным переувлажнением. Восстановительная и окислительно-восстановительная среда	1	Аллювиальные дерново-глееватые, глеевые, торфяно-болотные	Аккумуляция и транзит с паводковыми водами	6,2–6,9	36,6	Mn (1,3)	0,0	Устойчивый	
	2	Аллювиальные дерново-глееватые, глеевые, торфяно-болотные	Аккумуляция и транзит с паводковыми водами	6,8	–	Mn (1,6), V (1,7), Zr,Cu (1,4), Ni (1,2)	3,8	Устойчивый	
	3	Аллювиальные дерново-глееватые, глеевые, торфяно-болотные		6,2–7,2	2,0 – 15,6	Co (2,4), Mn,Ti (1,8), Cr (1,6), Zr (1,5),Pb (1,4), Ni,V,Cu (1,2)	6,3	Средне-устойчивый	
	4	Аллювиальные дерново-глееватые, глеевые, торфяно-болотные		6,2	3,4	V,Mn (1,8), Co (1,5), Pb,Ti (1,2)	3,5	Устойчивый	
	5	Аллювиальные дерново-глееватые, глеевые, торфяно-болотные		5,7	1,2	–	0,0	Устойчивый	
	6	Аллювиальные дерново-глееватые, глеевые, торфяно-болотные		2,6–6,8	–	Cu (1,3)	0,4	Устойчивый	
1	–	Аккумуляция и транзит вниз по течению		–	–	Cr (1,9)	0,0	Устойчивый	
Субактивный ландшафт	2	–	Аккумуляция и транзит вниз по течению	–	–	Cr (1,4)	0,0	Устойчивый	
	3	–		–	–	Cr (1,4), Co,Ti (1,2)	0,6	Устойчивый	
	4	–		–	–	–	1,0	Устойчивый	
	5	–		–	–	–	Ti (4,4), Cu (1,3), Pb,Ni,Cr (1,2)	3,9	Устойчивый
	6	–		–	–	–	Cr (2,0), Co (1,4), Ni, Cu (1,3)	1,8	Устойчивый

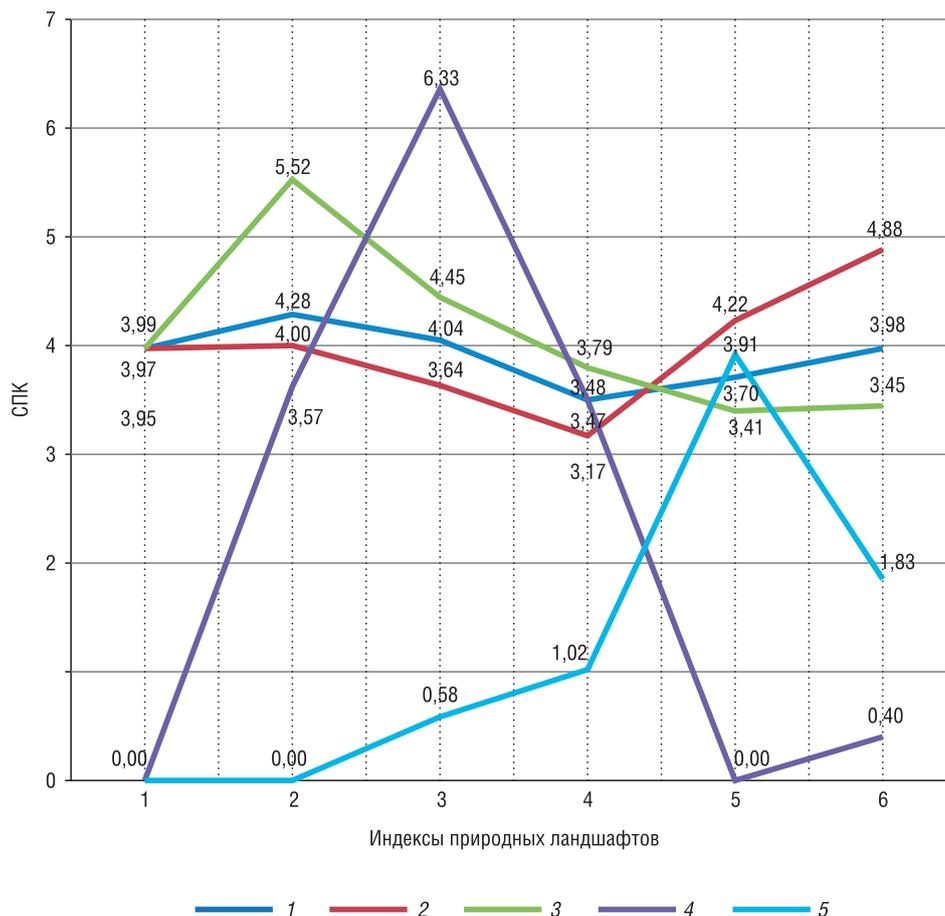


Рис. 3. Сопоставление уровней загрязнения по природным и элементарным ландшафтам: 1 – среднее по природному ландшафту; элементарные ландшафты: 2 – элювиальный, 3 – трансэлювиальный, 4 – супераквальный, 5 – субаквальный. Индексы природных ландшафтов см. на рис. 2

Zr (2,0), V (1,8), Mn (1,6), Ni, Ti, Cu (1,5), Cr (1,3), Pb, Co (1,2). Отложения этого элементарного ландшафта являются среднеустойчивыми к химическому загрязнению.

На фоне всех ландшафтов по холмисто-грядовой моренной равнине с ложбинами расчленения, озерами, котловинами (индекс ландшафта – 3) отмечен самый высокий показатель загрязнения в отложениях супераквального ландшафта (6,33), в гумусовом горизонте которого накапливается ряд элементов Co (2,4), Mn, Ti (1,8), Cr (1,6), Zr (1,5), Pb (1,4), Ni, V, Cu (1,2). По степени устойчивости данный элементарный ландшафт является среднеустойчивым. Пойменные отложения здесь формируются в пределах распаханых территорий. Сельскохозяйственное использование земель является причиной повышенного содержания элементов в этих отложениях.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что эколого-геохимическая оценка существующего состояния современных покровных отложений, в том числе почв, на начало строительства Белорусской АЭС по уровню загрязнения низкая. Участков со средним и высоким уровнями загрязнения по показателю суммарного загрязнения не выявлено. Экологическая обстановка территории – благоприятная. Элементарные ландшафты в пределах исследованной территории относятся к категории ландшафтов, устойчивых к химическому загрязнению, за исключением отложений по трансэлювиальному ландшафту мелко- и среднехолмистой моренной возвышенности и супераквальному ландшафту холмисто-грядовой моренной равнины, являющихся среднеустойчивыми.

Список использованных источников

1. *Бадев, В.В.* Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС/ В.В. Бадев, Ю.А. Егоров, С.В. Казаков. – М., Энергоатомиздат, 1990. – 346 с.
2. *Израэль, Ю.А.* Проблемы всестороннего анализа окружающей среды и принципы комплексного мониторинга / Ю.А. Израэль. – Ленинград, 1988. – 408 с.
3. *Буренков, Э.К.* Комплексное геохимическое картирование: Основы технологии / Э.К. Буренков, А.А. Головин, Е.И. Филатов // Прикладная геохимия. Вып. 1. Геохимическое картирование. – М.: ИМГРЭ, 2000. – С. 28–46.
4. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200 000. Приложения. – М., 2002. – 177 с.
5. *Зырин, Н.Г.* Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов / Н.Г. Зырин, А.И. Обухов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 334 с.
6. *Клицунова, Н.К.* Методы географических исследований: пособие для студентов спец. 1-31-01 «География» / Н.К. Клицунова // Методы физико-географических исследований. В 2 ч.– Ч. 1. – Минск: БГУ, 2008. – 124 с.
7. *Ландшафты Беларуси / Г.И. Марцинкевич [и др.]; под ред. Г.И. Марцинкевич, Н.К. Клицуновой.* – Мн.: Университетское, 1989. – 239 с.
8. *Нацыянальны атлас Беларусі.* – Мінск: Белкартаграфія, 2002. – С. 38–40, 41–43, 46–47, 54–55, 66–67, 144–145, 166.
9. *Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт [и др.].* – М.: Недра, 1990. – 335 с.
10. *Учет и оценка природных ресурсов и экологического состояния территорий различного функционального использования. Метод. реком.* М.: ИМГРЭ, 1996. – 88 с.
11. Инструкция 2.1.7.11-12-5-2004 «Гигиеническая оценка почвы населенных мест»/ Постан. главн. санитар. врача Республики Беларусь №32 от 3 марта 2004 г. – 42 с.
12. *Петухова, Н.Н.* К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Докл. акад. наук Беларуси. – 1992. – Т. 36, №5. – С. 461–465.
13. *Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве / Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004.* Постан. главн. сан. врача Респ. Беларусь, №28 от 25 сентября 2004 г. – 26 с.
14. *Медведева, С.Г.* Геохимия четвертичных отложений при оценке техногенного воздействия / С.Г. Медведева // Геология и полезные ископаемые четвертичных отложений: материалы VIII Универ. геол. чтений, 3–4 апр. 2014 г., Минск, Беларусь / редкол. А.Ф. Санько (отв. ред.) [и др.]. В 2-х ч. – Минск: Цифр. печать, 2014. – Ч. 2. – С. 62–64.
15. *Полынов, Б.Б.* Учение о ландшафтах / Б.Б. Полынов // Вопросы географии. Сб. 33. – М., 1953. – С. 30–44.
16. *Глазовская, М.А.* Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов / М.А. Глазовская. – М., 1964. – 283 с.
17. *Глазовская, М.А.* Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу / М.А. Глазовская // Биогеохимические циклы в биосфере. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – С. 99–118.
18. *Глазовская, М.А.* Основные понятия геохимии ландшафтов, существенные для фонового мониторинга / М.А. Глазовская, Н.С. Касимов, А.И. Перельман // Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М., 1989. – С. 8–25.
19. *Перельман, А.И.* Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: Высш. шк., 1975. – 342 с.
20. *Петухова, Н.Н.* Ландшафтно-геохимическая карта как основа рационального природопользования / Н.Н. Петухова, Я.И. Аношко, С.Л. Романов // Природные ресурсы. – 1998. – №1. – С. 84–97.

Поступила 10.11.2017

Н. А. Юргенсон¹, А. В. Абрамчук², Е. В. Шушкова¹, Е. А. Шляхтич²

¹Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: yurgenson_biores@tut.by, lena-shushkova@yandex.ru

²Брестское областное отделение ОО «Ахова птушак Бацькаўшчыны», Брест, Беларусь,
e-mail: egreta113@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ И ИЗУМРУДНОЙ СЕТИ БЕЛАРУСИ

Показаны проблемы интеграции национальной экологической сети и Изумрудной сети в Беларуси. Авторы представляют каждую из этих природоохранных инициатив, обращая внимание на особенности их развития в Беларуси и существующие проблемы. Национальная экологическая сеть состоит из зон ядра, экологических коридоров и охранных зон. Элементы сети формируют особо охраняемые природные территории (ООПТ) и территории, подлежащие специальной охране. Изумрудная сеть состоит из территорий особого природоохранного значения (ТОПЗ), которые включают большинство ООПТ Беларуси. Анализ совмещения проектов обеих сетей показал, что национальная экологическая и Изумрудная сеть в значительной степени перекрываются. Среди проблем разработки обеих экологических сетей можно назвать недостаток информации по распространению ряда видов и биотопов, неопределенность некоторых категорий территорий специальной охраны, непонимание сути экологической сети сторонами, принимающими решения. Принимая во внимание сходные критерии и принципы формирования, авторы приходят к выводу, что оптимальным решением проблемы является включение всех объектов Изумрудной сети (ТОПЗ) в состав национальной экологической сети. Это возможно путем совершенствования национального законодательства в области экологической сети и дальнейшего развития категорий природных территорий, подлежащих специальной охране, которые до сих пор остаются невостребованными.

Ключевые слова: экологическая сеть, Бернская конвенция, особо охраняемые природные территории, территории, подлежащие специальной охране, территории особого природоохранного значения, экологические коридоры

N. A. Yurgenson¹, A. V. Abramchuk², A. V. Shushkova¹, A. A. Shliakhtsich²

¹Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources, Minsk, Belarus,
e-mail: yurgenson_biores@tut.by, lena-shushkova@yandex.ru

²APB – Bird Life Belarus, Brest department, Belarus, e-mail: egreta113@mail.ru

CHALLENGES FOR INTEGRATION OF THE NATIONAL ECOLOGICAL NETWORK AND THE EMERALD NETWORK IN BELARUS

The article is devoted to the problems of integration of the national ecological network and the Emerald network in Belarus. These both territorial structures are aimed at the conservation of biological diversity and integration into the Pan-European Ecological Network. Despite common goals, in Belarus they are formed almost independently from each other. The authors present each of these environmental initiatives, paying attention to its specific features in Belarus and existing problems. The national ecological network consists of core areas, corridors and buffer zones. It is formed by Natural Protected Areas (NPAs) and other natural areas of special protection. The Emerald network is established in connection with the requirements and criteria of the Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats and consists of Areas of Special Conservation Interest (ASCIs) that contain the majority of Natural Protected Areas in Belarus. Analysis of these both networks shows that the national ecological network and the Emerald network overlap each other to a great extent. Among the problems of developing both ecological networks is the lack of information on distribution of a number of species and habitats, the uncertainty of some natural areas of special protection, and lack of knowledge on the ecological network by the decision makers. Taking into account similar criteria and principles of development, the best solution is seen to include all the objects of the Emerald network (ASCIs) in the national ecological network. It can be implemented through the further development of the national legislation in the field of ecological network by defining all the categories of natural areas of special protection, that by now still remain uncertain.

Keywords: ecological network, Bern Convention, Natural Protected Areas, natural areas of special protection, Areas of Special Conservation Interest, ecological corridors

Н. А. Юргенсон¹, А. В. Абрамчук², Е. В. Шушкова¹, Е. А. Шляхціч²

¹Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,
e-mail: yurgenson_biores@tut.by, lena-shushkova@yandex.ru

²Брэсцкае абласное аддзяленне ГА «Ахова птушак Бацькаўшчыны», Брэст, Беларусь, e-mail: egreta113@mail.ru

ПРАБЛЕМЫ ІНТЭГРАЦЫІ НАЦЫЯНАЛЬНАЙ ЭКАЛАГІчнай СЕТКІ І СМАРАГДАВАЙ СЕТКІ БЕЛАРУСІ

Артыкул прысвечаны праблемам інтэграцыі нацыянальнай экалагічнай сеткі і Смарагдавай сеткі ў Беларусі. Абедзве тэрытарыяльныя структуры накіраваны на захаванне біялагічнай разнастайнасці, абедзве маюць на ўвазе інтэграцыю ў Агульнаеўрапейскую экалагічную сетку. Нягледзячы на агульныя мэты, у Беларусі яны фарміруюцца практычна незалежна адна ад адной. Аўтары прэзентуюць кожную з гэтых прыродаахоўных ініцыятыў, звяртаючы ўвагу

на асаблівасці іх развіцця ў Беларусі і існуючыя праблемы. Нацыянальная экалагічная сетка складаецца з зон ядра, экалагічных калідораў і ахоўных зон. Сетку фарміруюць асабліва ахоўваемыя прыродныя тэрыторыі (ААПТ) і прыродныя тэрыторыі спецыяльнай аховы. Смарагдавая сетка ў Беларусі ствараецца ў сувязі з патрабаваннямі і крытэрыямі Бернскай канвенцыі і складаецца з тэрыторый асаблівага прыродаахоўнага значэння (ТАПЗ), якія ўключаюць большасць асабліва ахоўваемых прыродных тэрыторый Беларусі. Аналіз сумяшчэння абедзвюх сетак паказвае, што нацыянальная экалагічная сетка і Смарагдавая сетка ў значнай ступені перакрываюцца. Сярод праблем распрацоўкі абедзвюх сетак можна назваць недахоп інфармацыі па відах і біятопах, нявызначанасць некаторых тэрыторый спецыяльнай аховы, неразуменне сутнасці экалагічнай сеткі бакамі, якія прымаюць рашэнні. Калі ўзяць пад увагу падобныя крытэрыі і прынцыпы фарміравання, аптымальным рашэннем праблемы бачыцца ўключэнне ўсіх аб'ектаў Смарагдавай сеткі (ТАПЗ) у склад нацыянальнай экалагічнай сеткі. Гэтага магчыма дасягнуць шляхам удасканалення нацыянальнага заканадаўства ў галіне аховы навакольнага асяроддзя і далейшага развіцця катэгорый прыродных тэрыторый, якія падлягаюць спецыяльнай ахове, але да гэтага часу застаюцца незапатрабаванымі.

Ключавыя словы: экалагічная сетка, Бернская канвенцыя, асабліва ахоўваемыя прыродныя тэрыторыі, прыродныя тэрыторыі спецыяльнай аховы, тэрыторыі асаблівага прыродаахоўнага значэння, экалагічныя калідоры

Введение

Особый интерес к вопросам охраны биологического и ландшафтного разнообразия на глобальном уровне, необходимость соблюдения международных обязательств Беларуси в последние годы обусловили интенсивное развитие национальной практики охраны окружающей среды.

Концепция формирования экологической сети как единой пространственной структуры для сохранения биоразнообразия была одобрена в 1995 г. 54 странами в качестве одного из мероприятий Общеввропейской стратегии в области биологического и ландшафтного разнообразия (PEBLDS). Стороны, в том числе Республика Беларусь, приняли на себя обязательства по формированию национальных экологических сетей с целью их интеграции в Общеввропейскую экологическую сеть.

С тех пор в Беларуси параллельно и практически независимо друг от друга формировались две территориальные структуры, направленные на сохранение биологического разнообразия: национальная экологическая сеть и Изумрудная сеть. Несмотря на общую для обеих цель сохранения биологического разнообразия, подобный набор ключевых территорий, образующих эти сети, и сходные для обеих проблемы – в настоящее время отсутствует координация развития между ними, что ослабляет позиции каждой из них и может усложнить управление объектами этих сетей в будущем.

Цель данной работы – анализ проблемы взаимосвязанного развития и поиск возможных путей их решения. Приведен обзор истории формирования каждой из этих природоохранных инициатив в Беларуси, анализируются их сходства и различия, предлагаются возможные пути для их интеграции.

1. Национальная экологическая сеть Беларуси

1.1. Возникновение и развитие концепции формирования экологической сети Республики Беларусь

Основой для формирования экологической сети служат особо охраняемые природные территории. Планомерное развитие системы ООПТ в Беларуси началось с первой половины 1980-х годов, когда была разработана и в 1983 г. утверждена правительством первая Схема рационального размещения охраняемых природных территорий по БССР на период до 1990 г. (Схема ООПТ-1). Схема явилась первой в научно-проектной практике попыткой комплексной разработки принципиальных положений по развитию охраняемых природных территорий в увязке с развитием народнохозяйственного комплекса республики. В основу формирования пространственной структуры охраняемых природных территорий была положена концепция «зеленого каркаса» или природно-ландшафтных русел. Природно-ландшафтные русла объединяли наиболее ценные лесоречные и лесозерные ландшафтные комплексы, которые имели продолжение за пределами республики. В качестве основных элементов, формирующих систему русел, наряду с особо охраняемыми природными территориями, рассматривались курортно-рекреационные зоны, зеленые зоны городов, водоохранные и защитные насаждения.

В 1994 г. в Беларуси вступает в действие Закон «Об особо охраняемых территориях и объектах», в котором, в частности, было закреплено положение о том, что развитие ООПТ осуществляется на основании Схемы рационального размещения особо охраняемых природных территорий.

В 1995 г. была разработана и утверждена правительством Схемы рационального размещения особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь до 1 января 2005 г. (Схема ООПТ-2). При разработке новой схемы учитывались положения первой Схемы ООПТ. Схема ООПТ-2 представляла собой перечень существующих и планируемых особо охраняемых природных территорий республиканского значения с указанием их размещения и площади на период 1995–2000 и 2001–2005 гг. ООПТ были сгруппированы по административным областям и категориям. Схема ООПТ-2 не учитывала необходимость формирования национальной экологической сети (природного каркаса) страны.

В 1997 г. во исполнение принятых на себя международных обязательств по формированию национальной экологической сети была утверждена Национальная стратегия и план действий по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия Республики Беларусь. Стратегией была обоснована целесообразность и конструктивность использования при планировании развития системы ООПТ концепции экологической сети. В ней констатировалось, что все подлежащие охране объекты необходимо объединить в единую территориально целостную систему с помощью природно-миграционных русел, охватывающих и территории соседних стран. Поскольку природно-миграционные русла являются самостоятельным элементом развивающейся в Беларуси системы ООПТ, они должны были получить юридический статус и выделены территориально. Таким образом, в документе использовались оба термина, «природно-миграционные русла» и «экологическая сеть».

Экологическая сеть включает следующие элементы: ядра сети (ключевые природные территории), буферные зоны, коридоры и зоны экологического восстановления (реставрации) [1].

Начало практической деятельности в области формирования национальной экологической сети относится к 2002 г., когда белорусские эксперты приняли участие в разработке индикационной карты Общеввропейской экологической сети для Центральной и Восточной Европы [2]. Основой для разработки индикационной карты служили картосхемы распространения индикаторных видов, а также данные о размещении территорий, имеющих высокую природоохранную значимость. Степень условности карты определялась принятым масштабом и недостатком исходных данных. На карте отмечены наиболее важные территории для сохранения общеввропейского биоразнообразия и зоны перспективные для формирования коридоров и развития природных комплексов. Карта имела значение во взаимосвязи с картами других национальных экологических сетей.

В это же время была предложена первая концептуальная модель экологической сети Беларуси, разработанная специалистами БелНИИПградостроительства [3]. Данная концептуальная схема рассматривала развитие экологической сети во взаимосвязи с формированием урбанизированного каркаса республики. Пространственная структура урбанизированного каркаса, сформированного интенсивно используемыми территориями, определяла рамки развития экологической сети, а также угрозы ее устойчивому функционированию.

Начиная с 2004 г., закрепляется практика скоординированного планирования развития системы ООПТ и экологической сети. В 2004–2005 гг. Институтом зоологии НАН Беларуси (с 2008 г. – Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам) с привлечением других научных организаций была разработана Схемы экологической сети Республики Беларусь, а также проект Схемы рационального размещения особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь на 2006–2015 гг. (Схемы ООПТ-3). Основное внимание было направлено на использование потенциала ООПТ в качестве опорных элементов национальной экологической сети. Важно отметить, что основные положения принципиальной схемы экологической сети, в том числе перечень наиболее важных ООПТ, формирующих национальную экологическую сеть, вошли в состав Государственной схемы комплексной территориальной организации Республики Беларусь, которая была утверждена Указом Президента № 19 2007 г. [4]. В этом же документе появляется первое легальное определение экологической сети как «системы природно-территориальных комплексов со специальными режимами природопользования, обеспечивающая естественные

процессы движения живых организмов, энергии, вещества, играющая важную роль в поддержании экологического равновесия и обеспечении устойчивого развития территорий (региона, страны, континента), сохранении биологического и ландшафтного разнообразия».

В 2012 г. в рамках Государственной программы развития системы особо охраняемых природных территорий на 2008–2014 г. Научно-практический центр по биоресурсам совместно с Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси разработал более подробную Схему национальной экологической сети Республики Беларусь в масштабе 1:1 000 000 и ее элементов: зон ядра, экологических коридоров, охранных зон. В 2015–2016 гг. Научно-практический центр по биоресурсам с привлечением специалистов Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси осуществил разработку Национальной экологической сети в разрезе регионов (для северной, центральной и южной частей Республики Беларусь). Коридоры национальной экологической сети согласовывались с органами местного управления отдельных административных районов (райисполкомами). Поскольку для органов управления местного уровня понятие «экологическая сеть» являлось новым и непонятным, проводилась разъяснительная работа о задачах, которые выполняет экологическая сеть, и действующем законодательстве в области планирования экологической сети.

Схема Национальной экологической сети и мероприятия по ее реализации были выставлены на общественное обсуждение. Экологической общественностью было предложено внести ряд изменений в схему. Эти изменения касались включения в нее ряда территорий особого природоохранного значения (ТОПЗ) – объектов Изумрудной сети, выделяемых в рамках реализации требований Бернской конвенции, а также разработки планов управления ООПТ, формирующими экологическую сеть. Значительная часть предложений общественности была внесена в рассматриваемый документ.

Схема национальной экологической сети в разрезе регионов вошла в состав Схем комплексной территориальной организации областей Республики Беларусь, которые были утверждены Указом Президента Республики Беларусь № 13 от 18 января 2016 г.

1.2. Критерии, принципы и особенности формирования национальной экологической сети Беларуси

В 2010 г. Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» был дополнен специальными статьями, которые определяют формирование национальной экологической сети [5]. Статья 63-1 определяет порядок разработки и утверждения проекта Схемы национальной экологической сети, а также перечень документов, при разработке которых учитывается схема. Установлено, что формирование и функционирование национальной экологической сети осуществляются с учетом водосборов (бассейнов водных объектов). Проект схемы национальной экологической сети разрабатывается Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь совместно с Национальной академией наук Беларуси, областными исполнительными и распорядительными органами, другими заинтересованными государственными органами. Схема национальной экологической сети утверждается Президентом Республики Беларусь.

Утвержденная схема национальной экологической сети учитывается при разработке и реализации схем рационального размещения ООПТ, проектов и схем землеустройства, градостроительных проектов, отраслевых схем размещения и развития производства, объектов транспортной и инженерной инфраструктуры и целого ряда других документов.

Статьей 63-2 определено, что национальная экологическая сеть состоит из зон ядра, экологических коридоров и охранных зон. Элементы национальной экологической сети формируются за счет ООПТ и территорий, подлежащих специальной охране, на которых действует режим охраны и использования, установленный для этих территорий при их объявлении (выделении) или преобразовании.

В том же году были утверждены требования к содержанию Схемы национальной экологической сети и критерии выделения элементов национальной экологической сети. Критериями выбора территорий, формирующих экологическую сеть, является наличие территориальных связей с другими охраняемыми территориями, площадь естественных экосистем, типичных и редких природных ландшафтов и биотопов, наличие и количество мест произрастания и обитания

растений и животных, включенных в Красную книгу Республики Беларусь и (или) подпадающих под действие международных договоров Республики Беларусь, наличие статуса природной территории международного значения, в том числе статуса объекта Изумрудной сети. Для экологических коридоров – наличие путей миграции и расселения диких животных и дикорастущих растений, площадь естественных экологических систем, отсутствие неустраняемых барьеров (преград), препятствующих процессам свободного обмена биологическим и генетическим материалом, между зонами национальной экологической сети [6].

Схема национальной экологической сети содержит информационную и картографическую части. Информационная часть включает сведения о включаемых в состав экологической сети ООПТ и территорий, подлежащих специальной охране и их местоположении, а также планируемые мероприятия. Картографическая часть включает карту национальной экологической сети масштаба 1:500 000–1:600 000, а также карты национальной экологической сети в разрезе регионов (северная, центральная и южная часть Республики Беларусь) масштаба 1:200 000–1:300 000.

К числу главных особенностей формирования экологической сети в Беларуси, которые определяются национальным законодательством, можно отнести высокий юридический статус национальной экологической сети и формирование ее из территорий, подлежащих специальной охране [7]. В связи с этим возникает и ряд проблем для ее планирования. Прежде всего национальная экологическая сеть утверждается Указом Президента Республики Беларусь. В этом случае возникает проблема внесения изменений в утвержденный документ. Система территорий, подлежащих особой или специальной охране, достаточно динамична и необходимость внесения изменений может возникать довольно часто.

Среди территорий, подлежащих специальной охране, из приведенного в статье 63 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» перечня, для формирования экологической сети имеют значение водоохранные зоны и прибрежные полосы рек и водоемов; природоохранные леса; типичные и редкие природные ландшафты и биотопы; верховые болота, являющиеся истоками водотоков; места обитания диких животных и места произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь; природные территории, имеющие значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных; охранные зоны особо охраняемых природных территорий. Серьезные сложности при работе с территориями, подлежащими специальной охране, создает тот факт, что далеко не все эти территории выделены на местности, их границы часто перекрываются. К примеру, до настоящего времени на практике не выделены в качестве территорий, подлежащих специальной охране, категории «природные территории, имеющие значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных» и «типичные и редкие ландшафты». Практика выявления и передачи под охрану типичных и редких биотопов получила развитие только с 2014 г.

В то же время в случаях, когда природная территория, имеющая высокий международный природоохранный статус, не имеет (полностью или частично) статуса ООПТ или территории, подлежащей специальной охране, включение ее в национальную экологическую сеть затруднено. Это, в частности, некоторые Рамсарские угодья («Полесская долина реки Буг» и другие объекты).

Таким образом, в Беларуси формирование национальной экологической сети осуществляется в соответствии со специальным национальным природоохранным законодательством.

1.3. Описание формируемой экологической сети Беларуси и проблемы ее интеграции в общеевропейскую экологическую сеть

Подготовленный проект схемы национальной экологической сети Республики Беларусь включает 93 объекта общей площадью около 3,37 млн га (около 16,2 % территории страны), в том числе 52 ядра (14 ядер европейского значения, 18 ядер национального и 20 ядер регионального значения общей площадью 1,67 млн га), 34 экологических коридора (6 коридоров европейского значения, 19 коридоров национального и 9 коридоров регионального значения общей площадью 1,4 млн га) и 7 охранных зон общей площадью 0,3 млн га.

Документы согласованы с землепользователями и соответствующими райисполкомами. За исключением нескольких новых заказников, включаемые в состав национальной экологической

сети, в настоящее время уже имеют статус ООПТ или территорий, подлежащих специальной охране, на которых установлены специальные режимы природопользования. Использование вошедших в экологическую сеть курортов и зон отдыха регулируется специальными градостроительными проектами.

В настоящий момент мероприятия, планируемые для интеграции элементов в общеевропейскую экологическую сеть, предполагают лишь пространственную интеграцию, т. е. объявление трансграничных охраняемых природных территорий. Одним из путей интеграции национальной экологической сети в общеевропейскую экологическую сеть может стать взаимосвязанное развитие с Изумрудной сетью в Беларуси, о которой пойдет речь ниже.

2. Изумрудная сеть в Беларуси

2.1. Возникновение и развитие концепции Изумрудной сети

Юридически старт процессу создания Изумрудной сети был дан в июне 1989 г., когда на внеочередном совещании Постоянного комитета Бернской конвенции была принята Резолюция №1 и три Рекомендации (№14, 15 и 16), направленные на разработку сети природоохранных территорий, создаваемых в рамках Конвенции. В частности, Рекомендация №16 указывала на необходимость выделения «территорий особого природоохранного значения» (ТОПЗ), и определяла критерии выделения таких территорий [8]. Однако ряд важных политических событий приостановил процесс создания сети. Это, во-первых, падение берлинской стены (1989), вызвавшее значительные изменения на политической карте Европы. Во-вторых, создание Европейского союза (ЕС) и разработка ЕС правового документа, направленного на реализацию Бернской конвенции в ЕС. Последний документ был доработан в мае 1992 г. и назван «Директивой об охране естественных мест обитания дикой флоры и фауны». Этот документ не только в полной мере воплощал положения Бернской конвенции, но значительно больше продвинулся в разработке механизмов ее реализации. Директива по местообитаниям заложила основы для создания Европейской экологической сети Natura 2000, которая фактически является механизмом реализации требований Бернской конвенции на территории ЕС.

В январе 1996 г. Постоянный комитет принял Резолюцию №3, в которой постановил создать сеть «территорий особого природоохранного значения», выделяемых в соответствии с Рекомендацией №16 [9]. Резолюция №3 была в определенном смысле вторым актом рождения сети после первого объявления о ее создании в 1989 г. В этот раз сеть получила свое название – «Изумрудная сеть». Таким образом, Изумрудная сеть (ИС) является механизмом реализации требований Бернской конвенции вне стран ЕС.

В соответствии с Резолюцией №3 также была создана группа экспертов для реализации необходимых мероприятий, связанных с созданием сети [9]. В соответствии с решением, принятым вышеупомянутой группой экспертов, процесс создания ИС осуществляется таким образом, чтобы он был полностью совместим с практикой создания сети Natura 2000. В декабре 1996 г. Постоянный комитет принял Резолюцию №4 – список биотопов, требующих специальных мер охраны [10], а в 1998 г. – Резолюцию №5, в которой определялась процедура создания ТОПЗ [11], и Резолюция №5 – список видов, требующих специальных мер охраны [12]. В 2010 г. Постоянный комитет принял критерии оценки национальных списков предлагаемых ТОПЗ и процедуру оценки и утверждения территорий-кандидатов для включения их в Изумрудную сеть. Документ был пересмотрен в 2013 г., чтобы включить дополнительные критерии для оценки территорий, выделяемых для охраны птиц. Этот документ является основой для выделения и научной оценки достаточности территорий, предлагаемых договаривающимися сторонами для включения в ИС [13].

2.2. Критерии и принципы создания Изумрудной сети, проблемы формирования Изумрудной сети в Беларуси

Общие принципы создания Изумрудной сети определяются Резолюцией №5 [11], а также рядом Рекомендаций Постоянного комитета. В соответствии с Рекомендацией №16 к ТОПЗ относятся территории, соответствующие хотя бы одному из следующих критериев:

- вносят существенный вклад в сохранение находящихся под угрозой видов, эндемичных или любых других, перечисленных в Приложениях I и II Конвенции;
- поддерживают значительное число видов на территории с высоким видовым разнообразием или поддерживают важные популяции одного или более видов;
- представляют собой территории, значимые для одного или более мигрирующих видов;
- содержат важные и/или репрезентативные участки, находящихся под угрозой типов биотопов;
- содержат выдающийся образец того или иного типа биотопа или мозаики различных биотопов;
- вносят иной существенный вклад в достижение целей Бернской конвенции [8].

Следует уточнить, что в первом и последующих критериях речь идет не о всех видах и биотопах из Приложения I и II Конвенции, а о так называемых видах и биотопах «требующих специальных мер охраны», указанных в резолюциях №6 и №4 соответственно [13]. Критерием выделения ТОПЗ для того или иного вида является процент численности популяционной группировки (от общей численности популяции данного вида в стране), обитающей на территории, квалифицирующейся как ТОПЗ. Данный подход касается всех видов. Однако для ряда видов беспозвоночных животных и растений, такие данные могут отсутствовать, либо данную оценку сделать затруднительно. В таком случае речь идет о наличии вида на территории и важности данной территории для сохранения вида в стране в целом. Кроме того, для птиц существуют дополнительные критерии для мигрирующих видов и территорий, важных для птиц (ТВП). В частности, в Изумрудную сеть должны быть включены все ТВП, а также территории, поддерживающие в период миграции водоплавающих птиц, и территории, соответствующие критериям ТВП: V1i и V1iii [11]. Что касается биотопов, то чаще всего речь идет о значимости той или иной территории для сохранения того или иного типа биотопа.

Следует отметить, что в соответствии с рекомендациями экспертов постоянного Комитета для эффективного функционирования сеть должно быть охвачено от 20 до 60 % популяций видов и площади биотопов, для которых выделяются ТОПЗ. В то же время в рекомендациях указывается, что в зависимости от редкости или обычности того или иного вида или биотопа в стране доля в пределах ТОПЗ может изменяться. Доля наиболее редких местообитаний и видов, представляющих общеевропейский интерес, в Изумрудной сети должна быть выше, в то время как доля тех видов и биотопов, которые являются более распространенными на территории страны, может быть меньше [13].

В процессе создания проводится оценка полноты предложенной сети. Данная оценка предварительно проводится экспертами Постоянного комитета Конвенции. Затем на биогеографических семинарах предварительные оценки рассматриваются повторно при участии всех заинтересованных сторон. Результаты утверждаются в виде обязательных для выполнения рекомендаций. Делегации стран участниц в обязательном порядке состоят из представителей трех сфер: государства (чаще всего это представители соответствующего министерства), представителей академических структур и представителей общественных экологических организаций. Кроме того, в биогеографических семинарах также участвуют независимые эксперты. Сама процедура оценки основана на видовом/ биотопическом принципе, т. е. на первое место ставится вид или биотоп, и все предложенные территории рассматриваются в контексте их достаточности для обеспечения сохранения каждого вида или биотопа. В ходе дискуссии эксперты Постоянного комитета представляют предварительную оценку. Затем каждая из трех сторон участников высказывает свое мнение, аргументированно соглашаясь либо не соглашаясь с предложенной оценкой. На основе анализа высказанных мнений и аргументов при участии независимого эксперта дается окончательная оценка в виде обязательной для выполнения рекомендации. В процессе создания и оценки достаточности Изумрудной сети учитываются только научные критерии (наличие, численность/площадь, видов и биотопов из соответствующих резолюций), на основании которых предлагаются те или иные территории. И только на этапе управления могут и должны учитываться иные аспекты, такие, например, как социально-экономические [14].

Процедура, принципы и критерии выделения ТОПЗ и создания Изумрудной сети во всех странах-участницах в целом одинаковы. И, безусловно, у каждой из стран-участниц возникают свои трудности и проблемы в ходе работы над созданием сети.

Ключевой проблемой при создании Изумрудной сети в Беларуси являлось, прежде всего, отсутствие необходимой информации по численности и распространению ряда видов и биотопов, для которых необходимо выделение ТОПЗ. Другой не менее существенной проблемой, особенно на начальной стадии работ, это непонимание сути Изумрудной сети. Восприятие Изумрудной сети ключевыми сторонами (как представителей профильного министерства и академических структур, так и НГО) как очередного природоохранного статуса для национальных ООПТ. И если в ходе прошедших биогеографических семинаров, а также благодаря информационной компании отношение к Изумрудной сети и понимание ее сути во многом удалось изменить, то первая проблема по ряду видов остается неразрешенной. И в ближайшем будущем потребует дополнительных целевых исследований и выделения новых ТОПЗ. Не менее важной проблемой была и остается проблема недостатка квалифицированных специалистов, как по отдельным группам видов, так и по биотопам.

2.3. Актуальное состояние Изумрудной сети в Беларуси

В настоящее время (август 2017 г.) общее утвержденных объектов Изумрудной сети в нашей стране – 155, общей площадью 2,3 млн га [15], что составляет 11,1 % от площади Беларуси. В состав Изумрудной сети включены практически все республиканские заказники (в разрезе площади – более 98 %) и более 75 % местных заказников. Кроме того, 7 ТОПЗ имеют статус кандидатов (Candidate sites) [16]. Утверждение данных территорий Советом Европы как полноценных ТОПЗ фактически является техническим вопросом. С учетом территорий – кандидатов число объектов Изумрудной сети в Беларуси увеличивается до 162, общей площадью более 2,4 млн га и охватывает около 11,6 % поверхности страны. Однако эти цифры также не являются окончательными, так как по ряду видов и биотопов либо не выделены ТОПЗ, либо выделенные ТОПЗ не охватывают наиболее значимые участки. Ожидается, что общая площадь ТОПЗ после завершения формирования Изумрудной сети в Беларуси составит, по предварительной оценке, 13–15 % поверхности страны.

3. Анализ проблем и возможностей взаимосвязанного развития национальной экологической и Изумрудной сети Беларуси

Несмотря на сходные цели и подобный набор ключевых территорий, образующих эти сети, в формировании национальной экологической и Изумрудной сетей применяются разные подходы.

Для включения территории в национальную экологическую сеть ключевым требованием, помимо природной ценности территории, является наличие специального режима природопользования. Также важнейшей целью национальной экологической сети является обеспечение возможности расселения и миграции видов, т.е. обязательное наличие территориальных связей с другими элементами экологической сети. В то же время в предложенной последней версии проекта схемы национальной экологической сети в полной мере достигнуть этого не удалось в связи с ограничениями, установленными действующим природоохранным законодательством, и отсутствием практики выделения некоторых природных территорий, подлежащих специальной охране.

Главной целью Изумрудной сети является обеспечение долгосрочного выживания видов и биотопов, включенных в Бернскую конвенцию, требующих специальных мер охраны. Таким образом, Изумрудная сеть (наряду с сетью «Natura 2000») предлагает интегральный подход к охране биологического разнообразия, обеспечивая сохранение видов (флоры и фауны), а также всего многообразия природных биотопов Европы. Биогеографический подход в значительной степени обеспечивает равномерность распределения ТОПЗ как по территории отдельных стран, так и в пределах Европы в целом. Однако задача обеспечения территориальной связности отдельных ТОПЗ в единую территориальную структуру, в отличие от экологической сети, не ставится.

Принципиально отличается законодательство в области формирования и функционирования Изумрудной и экологической сети. Экологическая сеть регламентируется национальным законодательством. Механизмом для реализации мероприятий по формированию экологической сети в части объявления и преобразования ООПТ являются Государственные программы развития системы особо охраняемых природных территорий. Кроме того, в соответствии с действующим законодательством и устоявшейся практикой схема национальной экологической сети интегрирована в документы территориального планирования (градостроительные проекты различного уровня), которые также утверждаются органами государственного управления. Всё это достаточно надежно гарантирует успешную реализацию мероприятий по формированию и устойчивому функционированию национальной экологической сети.

Национальное законодательство для Изумрудной сети пока не развито. Формирование и функционирование Изумрудной сети регламентируется прежде всего международным правом, в частности Бернской конвенцией, а также резолюциями и рекомендациями Постоянного комитета, которые являются неотъемлемой частью данной конвенции. В этих документах, помимо критериев и механизма создания ТОПЗ, четко прописаны принципы управления, включая необходимость обеспечения специального режима охраны, разработки планов управления, мониторинга и др. Одним из обязательств Республики Беларусь в рамках выполнения Бернской конвенции является включение требований Конвенции в национальное право. Кроме того, статья 105 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» указывает, что если международным договором Республики Беларусь установлены иные формы охраны окружающей среды, чем те, которые предусмотрены настоящим Законом, то применяются нормы международного договора. Такое же положение содержится и в Законе «Об особо охраняемых природных территориях», и в ряде других национальных правовых актов (Лесной кодекс, Водный кодекс и др.). Таким образом, как в соответствии с национальным законодательством, так и с международной правоприменительной практикой требования международного права являются не только обязательными, но и преимущественными для исполнения. Однако это положение, к сожалению, далеко не всегда применяется на практике.

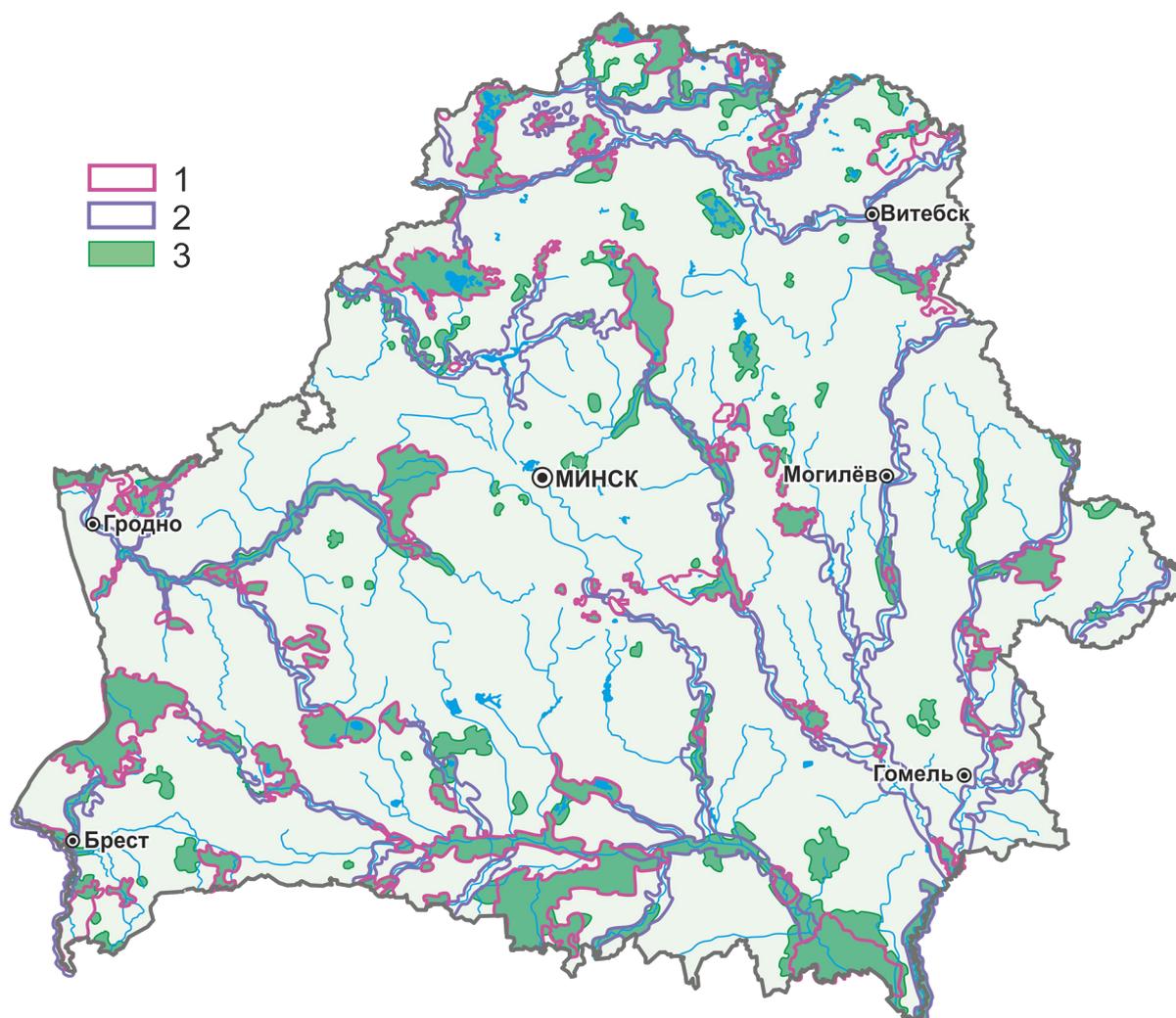
Тем не менее разработанный проект схемы национальной экологической сети и Изумрудной сети в значительной степени перекрываются (рисунок). В состав национальной экологической сети (включая экологические коридоры) вошло более 100 ТОПЗ (около 70 % территории объектов Изумрудной сети). Однако более 30 ТОПЗ остается за ее пределами.

В сложившихся условиях оптимальным решением является включение всех ТОПЗ в состав национальной экологической сети в качестве ядер, в отдельных случаях в качестве коридоров. Это, с одной стороны, обеспечит выполнение международных обязательств, в частности требований Бернской конвенции, с другой стороны, значительно повысит качество и ценность национальной экологической сети. Кроме того, интеграция национальной экологической и Изумрудной сети значительно улучшит целостность и эффективность функционирования последней благодаря созданию экологических коридоров между ее отдельными объектами. В случае интеграции оба подхода объединяются и усиливают друг друга, что формирует общее понимание проблемы и способствует поиску ее решения.

Отмечая сходства сетей, нужно отметить сходные проблемы, возникающие при формировании как национальной экологической, так и Изумрудной сети. Стороны, принимающие решения, часто воспринимают экологическую сеть как дополнительный природоохранный статус территории, тогда как экологическая сеть подразумевает определенный механизм реализации природоохранных задач.

Включение всех ТОПЗ в состав экологической сети затруднен следующими основными причинами:

- ТОПЗ часто не имеют статуса особо охраняемых природных территорий или территорий, подлежащих специальной охране;
- часть ТОПЗ (прежде всего упомянутые выше 30 % ТОПЗ, которые не вошли в состав экологической сети) не имеют территориальных связей с ее структурными элементами.



Национальная экологическая сеть и Изумрудная сеть в Беларуси: 1 – ядра национальной экологической сети, 2 – коридоры национальной экологической сети, 3 – ТОПЗ (объекты Изумрудной сети)

Для придания статуса ООПТ для ТОПЗ, такого статуса не имеющего, необходима политическая воля со стороны региональных органов управления для включения этих территорий в качестве перспективных заказников местного значения в региональные схемы размещения ООПТ местного значения, добровольное согласие землепользователей на введение ограничений хозяйственной деятельности, а также в оптимальном случае выделение специальных средств для компенсации землепользователям потерь в их хозяйственной деятельности (по примеру других стран), либо каких-нибудь иных преференций. При этом следует отметить, что все выделенные ТОПЗ отвечают критериям выделения особо охраняемых природных территорий в связи со значительным сходством этих критериев.

Предварительный анализ второй проблемы свидетельствует о том, что такие связи между ТОПЗ и другими природоохранными территориями существовали в прошлом, однако в процессе хозяйственной деятельности были утрачены. Следует отметить, что классическая концепция экологической сети наряду с ядрами, коридорами и охранными зонами предполагает выделение восстановительных элементов, прежде всего экологических коридоров. Для решения задачи взаимной интеграции экологической и Изумрудной экологической сети наиболее оптимальным путем было бы дополнение законодательства в области экологической сети возможностью (и необходимостью) выделения восстановительных элементов. Наиболее подходящим природоохранным статусом для таких элементов – перспективных, подлежащих восстановле-

нию, коридоров может стать статус подлежащих специальной охране природных территорий, имеющие значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных. В настоящее время эта категория территорий, подлежащих специальной охране в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», остается невостребованной. Для определения этой категории природных территорий необходимо разработать критерии их выделения, разработать технический нормативный документ, регламентирующий такое выделение, а также осуществить экспериментальный проект для «обкатки» такого норматива и получения практического опыта (например, на территории Припятского Полесья).

Список использованных источников

1. *Jongman, R. H. G.* Essential natural elements // *Natura*. European ecological networks. – 1998. – N 87. – p. 4–6.
2. *Bouwma, I. M.* Indicative Map of the Pan-European Ecological Network for Central and Eastern Europe / *I. M. Bouwma, R. H. G. Jongman & R. O. Butovsky (eds.)* // Technical report series, ECNC Technical report series. ECNC, Tilburg / Hungary. – 2002. – 101 pp + annexes
3. *Баранец, Г. Г.* Формирование национальной экологической сети как задача территориального планирования / *Г. Г. Баранец, Н. А. Юргенсон* // *Природные ресурсы*. – 1998. – № 3. – С. 67–76.
4. Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 12 янв. 2007 г., № 19 // *Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь*. – 2007. № 15. – 1/8258.
5. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-XII: в ред. Закона Респ. Беларусь от 31 дек. 2010 г., № 228-3 // *Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь*. – 2011 г. № 5. – 2/1780.
6. Об установлении требований к содержанию схемы национальной экологической сети и критериев выбора территорий для включения в национальную экологическую сеть: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 26 нояб. 2010 г. № 1733 в редакции Постановления Совета Министров Респ. Беларусь, 12 нояб. 2014 г., № 1066 // *Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь*. – 15.11.2014, 5/39697.
7. *Юргенсон, Н. А.* Особенности формирования национальной экологической сети в Беларуси / *Н. А. Юргенсон, Е. В. Шушкова, Е. А. Шляхтич* // *Природные ресурсы*. – 2015. – № 2. – С. 99–106.
8. Recommendation N 16 (1989) of the Standing Committee on areas of special conservation interest (Adopted by the Standing Committee on 9 June 1989).
9. Resolution N 3 (1996) of the Standing Committee concerning the setting up of a Pan-European Ecological Network (Adopted by the Standing Committee on 26 January 1996).
10. Resolution N 4 (1996) of the Standing Committee listing endangered natural habitat requiring specific conservation measures (Adopted by the Standing Committee on 6 December 1996).
11. Resolution N 5 (1998) of the Standing Committee concerning the rules for the Network of areas of special conservation interest (Emerald Network) (Adopted by the Standing Committee on 4 December 1998).
12. Resolution N 6 (1998) of the Standing Committee listing the species requiring specific habitat conservation measures (Adopted by the Standing Committee on 4 December 1998).
13. Revised Criteria for assessing the National Lists of proposed ASCIs at biogeographical level and procedure for examining and approving Emerald candidate sites, adopted in December 2013 by the Standing Committee to the Bern Convention.
14. Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats – Group of Experts on Protected Areas and Ecological Networks – Towards management of Emerald sites: guidance document. T-PVS/PA(2014)08E.02 September 2014.
15. Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats – 36th meeting of the Standing Committee – Strasbourg, 15–18 November 2016 – Updated list of officially adopted Emerald sites (anglais seulement) T-PVS/PA(2016)12E.24 November 2016.
16. Emerald Network – General Viewer European Environment Agency // <http://wab.discomap.eea.europa.eu/webappbuilder/apps/28/> – Date of access : 10.11.2017.

Поступила 18.12.2017

Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: n_klebanovich@inbox.ru, akindeev@tut.by*

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ

Проанализирована роль геостатистического анализа в изучении свойств почв на примере кислотности. Описана эволюция подходов в использовании геостатистики в географии и в почвоведении, показана актуальность дальнейшего использования геостатистического подхода для изучения гетерогенности почвенных свойств и повышения эффективности прикладного использования почв. На основании полученных опытным путем данных по кислотности почв на исследуемых ключевых участках лесных, луговых и пахотных земель было последовательно изложено применение геостатистического подхода. Показана целесообразность предварительной статистической обработки данных и анализа показателей асимметрии и эксцесса. Объяснена необходимость использования вариографии и важность правильного выбора математических моделей, которые используются при построении картограмм. Были определены наилучшие способы интерполяции, которыми стали простой и ординарный кригинг, с помощью которых были построены картограммы распределения кислотности на исследуемых участках. Это позволило определить степень неоднородности распределения кислотности почв на различных участках местности под разными видами земель, на разных гипсометрических уровнях и наличие пространственных закономерностей. На пойменном участке отмечается значительная пространственная автокорреляция данных по кислотности почв, так как отношение наггета к порогу составляет лишь 4 % и установлена значительная обратная корреляция значений pH с абсолютными высотами местности. Величина pH четко дифференцирована от степени увлажнения почв – она существенно возрастает от автоморфных почв к глеевым, что обусловлено близкой к нейтральной реакцией среды грунтовых вод в пойме.

Ключевые слова: почва, неоднородность свойств, геостатистика, вариация, вариография, кригинг, методы интерполяции, математические модели, корреляция, кислотность, картограмма

N. V. Klebanovich, A. L. Kindeev

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: n_klebanovich@inbox.ru, akindeev@tut.by

GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF SPATIAL HETEROGENEITY OF SOIL ACIDITY

The article analyzes the role of the geostatistical analysis in the study of soil properties using the example of acidity. The evolution of approaches to the use of geostatistics in geography and soil science is described, the urgency of further using the geostatistical approach to study the heterogeneity of soil properties and for increasing the efficiency of applied soil use is shown. Based on experimentally obtained data on the acidity of soils in the key sites of forest, meadow and arable land studied, the application of the geostatistical approach was consistently described. The expediency of preliminary statistical data processing and analysis of the asymmetry and kurtosis parameters is shown. The necessity of using the variography and the importance of the correct choice of mathematical models, which are used in constructing the charts, are explained. The best methods of interpolation were determined, which were simple and ordinary kriging, with the help of which the cartograms of the distribution of acidity were plotted in the investigated areas. This made it possible to determine the degree of heterogeneity in the distribution of the acidity of soils in different parts of the terrain to study the heterogeneity of soil properties under different types of land, at different hypsometric levels and the presence of spatial patterns. A significant spatial autocorrelation of soil acidity data is noted in the floodplain area, since the ratio of nugget to the threshold is only 4 % and a significant reverse correlation of pH values with absolute terrain heights is established. The pH value is clearly differentiated from the degree of moistening of the soils – it significantly increases from automorphic soils to gley soils, which is due to the nearneutral ground water reaction in the flood plain.

Keywords: soil, heterogeneity of properties, geostatistics, variation, variography, kriging, interpolation methods, mathematical models, correlation, acidity, cartogram

М. В. Клебановіч, А. Л. Кіндзяў

Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: n_klebanovich@inbox.ru, akindeev@tut.by

ГЕАСТАТЫСТЫЧНЫ АНАЛІЗ ПРАСТОРАВАЙ НЕАДНАРОДНАСЦІ КІСЛОТНАСЦІ ГЛЕБ

У артыкуле прааналізавана роля геастатычнага аналізу ў вывучэнні ўласцівасцяў глеб на прыкладзе кіслотнасці. Апісана эвалюцыя падыходаў у выкарыстанні геастатычкі ў географіі і ў глебазнаўстве, паказана актуальнасць далейшага выкарыстання геастатычнага падыходу для павышэння эфектыўнасці прыкладнога выкарыстання глеб, а таксама кірункі навуковага вывучэння геастатычкі як істотнага дапаўнення да класіфікацыі глеб. На падставе атрыма-

ных експериментальна дадзеных па кіслотнасці глеб на доследных ключавых участках лясных, лугавых і ворных зямель быў паслядоўна выкладзены шлях прымянення геастатыстычнага падыходу. Паказана мэтазгоднасць папярэдняй статыстычнай апрацоўкі дадзеных і аналізу паказчыкаў асіметрыі і эксцэсу. Растлумачана неабходнасць выкарыстання варыёграфіі і важнасць правільнага выбару матэматычных мадэляў, якія выкарыстоўваюцца пры пабудове картаў-схемаў. Былі вызначаны найлепшыя спосабы інтэрпаляцыі, якімі сталі просты і ардынарны крыгінг, з дапамогай якіх былі пабудаваны картаграмы размеркавання кіслотнасці глеб на доследных участках. Гэта дазволіла вызначыць ступень неаднастайнасці размеркавання кіслотнасці глеб на розных участках мясцовасці, а таксама ступень прасторавай залежнасці і выявіць прычыны яе геаграфічнага распаўсюджвання. На поймавым участку адзначаецца значная прасторавая аўтакарэляцыя дадзеных па кіслотнасці глеб, бо стаўленне наггета да парога складае толькі 4 % і ўстаноўлена значная зваротная карэляцыя значэнняў рН з абсалютнымі вышынямі мясцовасці. Велічыня рН выразна дыферэнцавана ад ступені ўвільгатнення глеб – яна істотна ўзрастае ад аўтаморфных глеб да глеявых, што абумоўлена блізкай да нейтральнай рэакцыяй асяроддзя грунтовых вод у пойме.

Ключавыя словы: глеба, неаднароднасць уласцівасцяў, геастатыстыка, варыяцыя, варыяграфія, крыгінг, метады інтэрпаляцыі, матэматычныя мадэлі, карэляцыя, кіслотнасць, картаграма

Введение

В последние десятилетия в мире вообще и на постсоветском пространстве в частности, активно начали внедряться исследовательские методы, основанные на геостатистическом анализе данных в таких науках, как геология, климатология, почвоведение и агрономия. Основным толчком развития таких методов послужила потребность общества в высокоточных данных, характеризующих различные природные явления, а также появление вычислительной техники и необходимого программного обеспечения, с помощью которых стала возможной их качественная обработка. Суть геостатистических методов заключается в интерполировании значений того или иного показателя и определения меры их неопределенности на территории, где не проводились наблюдения по имеющимся эмпирическим данным. При использовании геостатистики предполагается: непрерывность в пространстве, переменные как результат случайного процесса, нахождение процесса в неподвижном состоянии при движении от точки к точке и описание вариации этих процессов в терминах пространственной зависимости.

Первыми, кто применил геостатистику для анализа данных в 1951 г., были Danie Krige и Herbert Sichel, которые эмпирически разработали статистические методы для прогнозирования качества руды из пространственно коррелированных выборочных данных на золотом руднике Витватерсранд [1]. На основе их работ французский ученый Жорж Матерон разработал геостатистический подход для разведки и разработки месторождений с использованием геологостатистических методов в начале 1960-х годов. [2]. Независимо от Матерона и практически в то же время Л.С. Гандин сформулировал теорию оптимальной интерполяции для объективного анализа метеополей [3], причем в этой теории также приведены основы геостатистики. К сожалению, последующие работы других советских ученых в этой области не нашли в то время широкой поддержки в среде научной общественности [4, 5].

В почвоведении геостатистика начала применяться с начала 1980-х годов. В это время почвоведы выяснили, что методы, использовавшиеся ранее в геологии, можно успешно применять к почвам, рассматривая ее свойства не как устоявшиеся и закономерные значения на определенном участке местности, а как набор случайных переменных. Геостатистика явилась альтернативой классификации для представления пространственных изменений и активно применяется за рубежом в «точном земледелии», оценке загрязнения и восстановлении нарушенных земель [6]. В Австралии и Германии геостатистика позволяет использовать точечную стратегию известкования, которая в свою очередь приводит к улучшению условий выращивания сельскохозяйственных культур [7, 8]. Геостатистические методы широко используются для определения вариативности таких свойств почвы, как влажность и структура. Канадскими учеными было установлено, что для детального анализа вариативности почвы необходимо полное знание изменчивости всех свойств почвы на изучаемой территории [9]. В Европе большое значение уделяется изучению варьирования показателей кислотности почв, в частности, было установлено, что дальнейшая оценка чувствительности почв к подкислению должна учитывать не только рН, но и содержание органического вещества, структуру почвы и содержание Al и Fe [10].

Одним из возможных способов интерпретации геостатистических данных, по мнению некоторых ученых, является создание карты буферности почвы с использованием цифровых методов картирования почв, тем самым обеспечивая дополнительную информацию, наложенную на уже существующие карты кислотности [11]. Изучение вариабельности кислотности почв является определяющим для территориальной дифференциации доз внесения извести. Применение дифференцированных доз извести на внутриполевых микроучастках в США считается одним из наиболее экономически привлекательных методов точного земледелия [12].

С началом XXI века работы, связанные с применением геостатистического подхода, в большем объеме начали появляться и на постсоветском пространстве. Среди российских исследователей, которые использовали геостатистический подход для анализа свойств почвенной среды, можно выделить работы В.П. Самсоновой, Ю.Л. Мешалкиной с соавторами, П.В. Красильникова и В.А. Сидоровой [13]. Отдельно стоит упомянуть монографию В.В. Демьянова и Е.А. Савельевой, в которой подробно изложены методы геостатистики и смежных разделов пространственного моделирования, рассмотрены теоретические и практические основы использования статистических моделей в различных областях: экологии, геологии, почвоведении, гидрогеологии, нефтедобыче, энергетике и т. п., а также очерчены основные направления развития современной геостатистической теории [14].

Актуальность изучения геостатистических методов и применение их на практике в почвенно-географических изысканиях в первую очередь обусловлено экономической составляющей. Без детального учета неоднородности почвы, который может предоставить геостатистика, хозяйства теряют огромное количество материальных и финансовых ресурсов. Так, в Германии, используя геостатистический подход в точном земледелии, при внесении минеральных удобрений и средств защиты урожая от сорняков, вредителей и болезней, добиваются повышения урожая на 30 % при одновременном снижении затрат на использование минеральных удобрений на 30 % и на пестициды на 50 % [8]. В то же время без почвенно-географической теории геостатистические методы не могут быть экстраполированы за пределы исследованного участка, что ограничивает их применение.

Геостатистический подход представляет интерес не только с практической, но и с научной точки зрения. Геостатистические методы находятся между представлением их как одним из математических инструментов и существенным дополнением к классической географии почв. До недавнего времени это вызывало бурные дискуссии между сторонниками этих точек зрения. Однако, определив место геостатистики в научном познании, так и не был разработан понятийный аппарат, позволяющий адекватно отражать как закономерности структуры почвенного покрова, так и внутриклассовую вариабельность почв, что и является одним из направлений исследований геостатистики в почвоведении.

Цель данного исследования – познание особенностей применения геостатистического подхода, обоснование актуальности применения геостатистических методов для определения степени неоднородности распределения кислотности почв на различных участках местности, определение степени пространственной зависимости и выявление следствий ее географического распространения.

Объекты и методы

Объектом исследований послужили почвы окрестностей геостанции «Западная Березина» БГУ в Воложинском районе под разными видами земель (лесными, луговыми, пахотными). На всех участках образцы отбирали с помощью случайной системы пробоотбора.

Почвы на лесном участке дерново-подзолистые рыхлосупесчаные разной степени гидроморфизма. Лесная растительность представлена сосняками орляковым, черничным и мертвopокровным; площадь лесного участка – 16,7 га, с которых было отобрано 80 образцов.

На пойменном участке были обнаружены преимущественно аллювиальные дерновые заболоченные почвы, на гривах (повышениях) – аллювиальные дерновые оподзоленные почвы. Растительность – пойменно-луговая на большей части территории, на гривах встречается сосняк; площадь участка – 14,5 га; количество отобранных образцов – 42.

С опытного участка на поле площадью 6,2 га с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на посевах многолетних трав было взято 59 образцов.

На всех участках потенциометрически получены данные об обменной кислотности почв (рН в КС), которые в дальнейшем прошли первичную статистическую обработку в программе Excel 2013, в процессе которой получен ряд параметров описательной статистики, представленный в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Статистические параметры опытных участков

Показатель	Лес			Пойма	Поле
	весь участок	автоморфные	полугидроморфные		
Количество	80 (78*)	45 (43*)	35	42	59
Среднее	4,98	5,17	4,73	5,87	5,93
Мода	4,41	5,12	5,08	5,83	5,76
Медиана	4,88	5,03	4,69	6,11	5,34
Среднее квадратическое отклонение	0,58	0,67	0,29	0,70	0,65
Дисперсия	0,34	0,47	0,09	0,49	0,43
Коэффициент вариации рН, %	11,6	13,0	6,3	11,9	11,0
Коэффициент вариации значений концентрации, %	82,2	87,9	66,2	120,3	88,0
Коэффициент корреляции с высотой местности (Кк)	0,44 (0,24*)	0,35 (0,11*)	-0,37	-0,55	0,05
Асимметрия (А)	0,96	0,08	-1,18	-1,27	-0,35
Эксцесс (Е)	8,16 (3,37*)	5,34 (2,92*)	-0,78	0,15	0,81
Критическое значение (А)	0,41	0,49	0,53	0,50	0,45
Критическое значение (Е)	0,76	0,84	0,87	0,85	0,81

* Значение показателей после выборки.

Обсуждение результатов

По основным показателям варьирования (среднеквадратическое отклонение, дисперсия, коэффициент вариации), представленным в табл. 1, все три участка различаются незначительно. По коэффициенту вариации, согласно шкале степени однородности, участки можно отнести к однородным (менее 30 %), что говорит о малой степени различия значений рН на исследуемых участках. Но наличие на первом участке 7 групп кислотности, а на втором и третьем – 5, говорит о существенной дифференциации значений данного показателя на участках. Данные расхождения объясняются тем, что показатель рН является отрицательным логарифмом концентрации ионов Н⁺. Для того чтобы убрать эти расхождения было решено рассчитать содержание ионов Н⁺ для всех значений рН в контрольных точках и затем, используя полученные значения, посчитать коэффициент вариации. Полученные значения варьируют от 82,2 до 120,3 %, что свидетельствует о высокой степени неоднородности (более 60 %) и больше соответствует реальности.

Прямая корреляция между рН и высотой на лесном участке объясняется двумя точками с нейтральной и слабощелочной реакцией, которая, как было установлено, является следствием антропогенного воздействия и не является типичной для данной местности. Это также характеризуется чрезмерно высоким эксцессом, равным 8,16, при его критическом значении, отражающим нормальное распределение, 0,76. Такое значительное превышение говорит об имеющемся «ядре» точек, выбивающихся из изучаемой массы явлений, которые не варьируют по данному признаку, что и было подтверждено эмпирически – нейтральная и слабощелочная среда в двух контрольных точках является следствием не природных процессов, а человеческого воздействия. Поэтому для более точного отражения распределения кислотности и ее взаимосвязи с другими природными компонентами (рельеф) было решено убрать эти точки из общей выборки. Кроме этого, коэффициент асимметрии, отражающий степень отклонения ряда данных от

нормального распределения, равный 0,96, также превышает свое предельное значение нормального распределения для данного числа наблюдений (0,41). Это говорит о сдвиге графика распределения в правую сторону, что также вызвано наличием этих точек.

На опытном участке 2 в пойме коэффициент асимметрии (-1,27) превышает свое критическое значение ($\pm 0,50$), показывая левостороннее отклонение, вызванное преобладанием значений рН ниже средних структурных величин (среднее, мода, медиана). Эксцесс, равный 0,15 и не превышающий свое предельное значение ($\pm 0,85$), говорит о отсутствии каких-либо «ядер», которые не соответствуют общему ряду данных. На третьем участке показатели не превышают свои пороговые значения, что говорит о нормальном распределении данных.

При пересчете коэффициента корреляции для участка 1 без учета точек, выпадающих из общего ряда значений, был получен показатель, в два раза меньше, чем изначальный (0,24). В свою очередь корреляция с высотой только на автоморфных почвах лесного участка, на которые приходится 43 контрольные точки, после пересчета фактически исчезает (0,11). Исходя из этого можно констатировать, что корреляционная связь величины рН с абсолютными высотами рельефа зафиксирована лишь на полугидроморфных дерново-подзолистых почвах, а на почвах нормального увлажнения практически исчезает.

В свою очередь на опытном участке 2 и на полугидроморфных почвах участка 1 корреляция рН с высотой составила -0,55 и -0,37 соответственно, что говорит о сильной обратной взаимосвязи между данными показателями. На пойменном участке это объясняется в первую очередь влиянием грунтовых вод на реакцию почвенной среды в понижениях, которые имеют в этих условиях реакцию, близкую к нейтральной. На лесном участке, в пониженной его половине с полугидроморфными почвами отмечена аналогичная, хотя и менее значимая закономерность увеличения значений рН в более низких местах.

Полученные статистические данные позволили определить степень нормальности распределения, убрать лишние контрольные точки, характеристики которых не соответствуют действительности, определить ряд следствий и причин взаимосвязи кислотности с относительной высотой рельефа. Дальнейшая обработка данных подразумевает применение геостатистических методов, которые позволят определить пространственную зависимость кислотности почв на опытных участках и определить лучший метод интерполяции для визуализации полученных данных с помощью картосхем. Одним из самых популярных геостатистических методов является вариография – анализ и описание пространственной корреляционной структуры данных на основе различных статистических моделей [1].

В рамках геостатистического подхода закономерности пространственной вариабельности исследуются путем расчета полудисперсии (semivariance) изучаемого фактора, которая зависит от расстояния между точками и рассчитывается по формуле:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2,$$

где z – варьирующая величина; $z(x_i) - z(x_i + h)$ – результаты измерений в точках x_i и $x_i + h$; $N(h)$ – количество пар точек, разделенных расстоянием h (которое обычно называется лагом).

Величина $\gamma(h)$ является средней мерой схождения значений признака в точках, разделенных расстоянием h . Таким образом, дисперсия для каждого h рассчитывается как половина среднего квадрата разности значений показателя, измеренных на расстоянии h друг от друга. Значения дисперсии не зависят от положения точек в пространстве, а зависят только от расстояния h между ними.

Основные параметры моделей вариограмм: наггет, порог и ранг. Наггет – это значение полудисперсии при шаге, равном 0. Порог – постоянное значение, к которому стремится полудисперсия с возрастанием шага. Ранг – расстояние, на котором значения переменной становятся независимыми от дистанции [12].

Поскольку перечень моделей при построении вариограмм достаточно широк, становится актуальным вопрос о наиболее репрезентативной из них. Сложность выбора обуславливается тем,

что, представляя свойства почвы как набор случайных переменных, подразумевается, что на каждой конкретной делянке и участке пространственное распределение данных будет различным. По этой причине и модель, с помощью которой они будут описаны, должна подходить к конкретному случаю. Уделение внимания этому этапу обусловлено чувствительностью вариограммы к описываемым ею данным и тем, что достоверность конечного результата анализа, которым в нашем случае является картосхема распределения кислотности, зависит от выбранной модели.

Для упрощения подбора Р.Г.Г. Джонгман (1999) определил, что, например, сглаженное варьирование отражается лучше гауссовой моделью, а резкие колебания данных на нерегулярных расстояниях – сферической и экспоненциальной. Экспоненциальная модель при этом применима для измерений на всех расстояниях, а не по строго установленным направлениям, т.е. для наиболее случайного распределения [15]. Кроме достаточно усредненных рекомендаций Джонгмана, при оценке качества вариограммы обращают внимание на визуальное сходство между эмпирической и экспериментальной вариограммой. В этом случае многое зависит от опыта эксперта, проводящего моделирование, который для подтверждения правильности выбора использует ряд математических критериев, таких как индекс взвешенных наименьших квадратов, индекс Кресси, индекс качества подбора и информационный критерий Акайк [16–18]. Кроме этого, программа ArcMap ArcGIS, в которой проводилась геостатистическая обработка данных с опытных участков при помощи инструментов Geostatistical Analyst, предоставляет возможность проведения перекрестной проверки, с помощью которой определяется правдоподобность и репрезентативность модели. Данная проверка предоставляет количественные оценки ошибок прогнозирования для каждой из моделей.

Для выбора лучшей модели принимается во внимание величина средней ошибки прогноза, которая должна быть наиболее приближена к 0, среднеквадратическая нормированная погрешность прогнозирования должна стремиться к 1, что указывает на точность стандартных погрешностей. Среднеквадратичная погрешность прогнозирования и средняя стандартная ошибка также должны быть наименьшими, что отражает силу отклонения прогноза от измеренных значений.

При определении наилучшей модели вариограммы для опытных участков было решено сравнить 3 наиболее часто применяемые модели – гауссову, экспоненциальную и сферическую. Полученные ошибки прогнозирования для всех 3 участков представлены в табл. 2.

Данные (табл. 2) показывают, что для дальнейшего построения картограммы лесного участка наилучшим вариантом является сферическая модель, поскольку у нее средняя ошибка прогнозирования наиболее приближена к 0.

Для участка на пойме наиболее приемлема экспоненциальная, а для поля – гауссова. Стоит отметить, что для участков 1 и 2 выбор между этими тремя моделями не критичен и не несет сильных погрешностей, что нельзя сказать о участке 3, где явно выделяется гауссова модель. Кроме этого, выбранные с помощью перекрестной проверки модели вариограмм совпали с на-

Т а б л и ц а 2. Параметры перекрестной проверки моделей вариограмм исследуемых участков

Участок	Модель	Ошибка прогнозирования					
		образец	средняя	среднеквадратическая	средняя нормированная	среднеквадратичная нормированная	средняя стандартная
Лес	Гауссова	78	0,0038	0,411	0,019	0,938	0,433
	Экспоненциальная	78	0,005	0,411	0,022	0,926	0,438
	Сферическая	78	0,0037	0,412	0,018	0,940	0,433
Пойма	Гауссова	42	-0,011	0,523	-0,025	0,975	0,526
	Экспоненциальная	42	-0,0001	0,530	-0,001	0,998	0,532
	Сферическая	42	-0,005	0,527	-0,012	0,966	0,538
Поле	Гауссова	59	0,012	0,430	0,040	0,902	0,441
	Экспоненциальная	59	0,027	0,415	0,054	0,955	0,423
	Сферическая	59	0,018	0,422	0,049	0,901	0,435

блюдениями Р.Г.Г. Джонгмана – сглаженное варьирование отражается лучше гауссовой моделью, что соответствует опытному участку 3. Резкие колебания данных на нерегулярных расстояниях, которые присущи участкам 1 и 2 – сферической и экспоненциальной моделью, при этом экспоненциальная применима для измерений на всех расстояниях, а не по строго установленным направлениям, т.е. для наиболее случайного распределения, которое выражено в большей степени на участке 2.

Для каждой из выбранных моделей были определены основные параметры вариограммы (табл. 3). Чтобы объяснить эти параметры в терминах географии почв, используется эмпирический критерий, предложенный К.А. Камбарделлой с соавторами: если процентное отношение наггета к порогу составляет менее 25 %, то пространственная корреляция оценивается как высокая, если от 25 до 75 % – как средняя, если же более 75 % – как низкая [19].

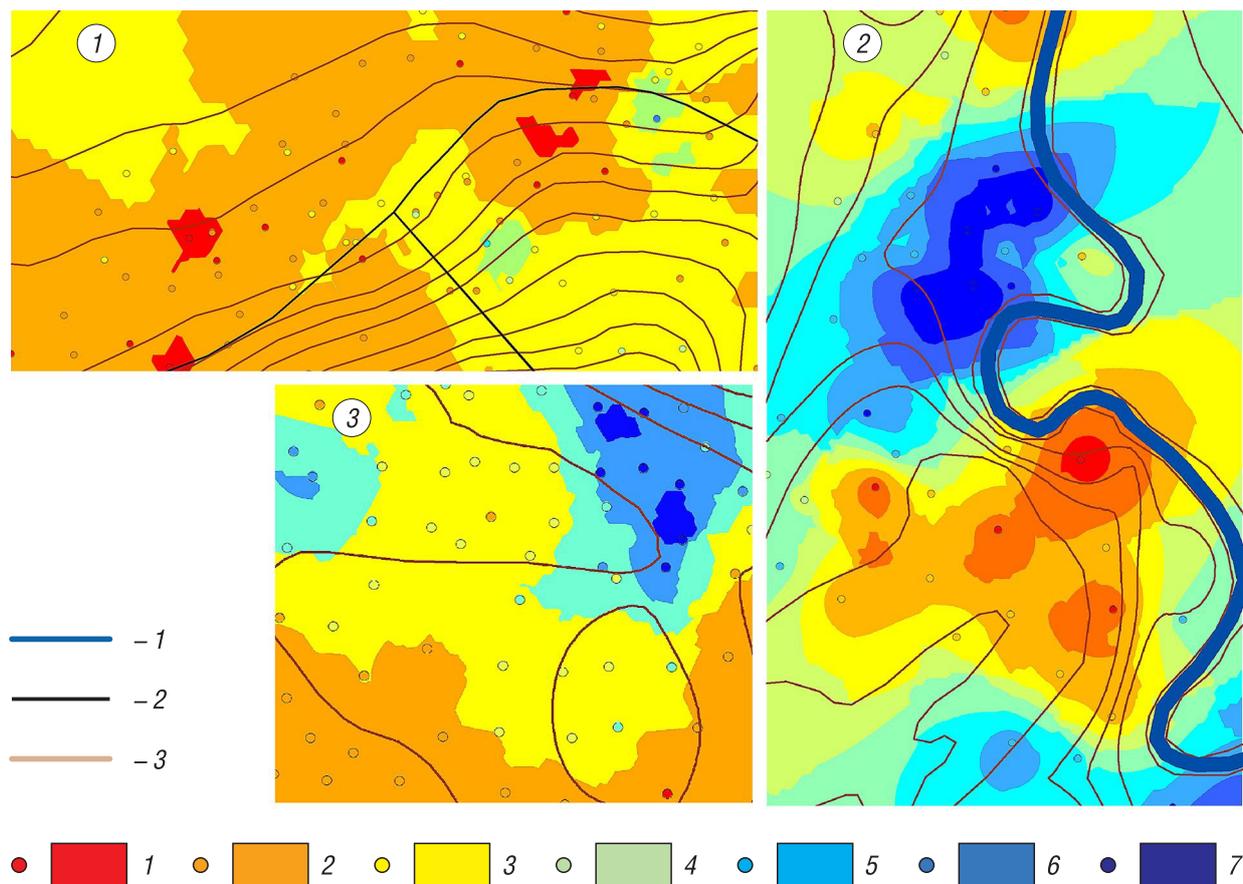
Т а б л и ц а 3. Параметры моделей вариограмм опытных участков.

Участок	Модель	Лag, м	Нагет, C_0	Порог, $C_0 + C$	Ранг, м.	Остаточная дисперсия $C_0/(C_0 + C)$, %
Лес	Сферическая	23	0,17	0,18	276	94
Пойма	Экспоненциальная	31	0,06	1,48	333	4
Поле	Гауссова	15	0,30	0,98	143	30

Анализируя пространственную корреляцию на опытных участках, можно заметить значительные различия между ними. Кислотность исследуемого участка под лесом имеет слабую пространственную зависимость (остаточная дисперсия – 94 %), в свою очередь на пойме ярко выражена высокая пространственная корреляция (4 %), а участок на поле можно отнести к средней группе по данному критерию (30 %). Ранг у участков 1 и 3 составляет 276 и 143 м соответственно, это говорит об отсутствии пространственной автокорреляции между контрольными точками, находящимися на большом расстоянии. На пойменном участке это значение составляет 333 м, отражая сильную взаимосвязь между контрольными точками на всем участке.

Конечной целью этапа вариографии является построение аналитической функции, описывающей пространственную корреляционную структуру данных для использования в геостатистических моделях интерполяции. Для построения таких моделей модуль ArcMap программы ArcGIS предоставляет инструмент Geostatistical Analyst который содержит набор интерполяторов, наилучшими из которых при геостатистическом подходе являются разные методы кригинга. Каждый из них подходит для определенного набора данных с разными допущениями. Наиболее популярными в применении являются: ординарный, простой и универсальный кригинг [20]. Для построения картосхем распределения кислотности на опытных участках (рисунок), учитывая полученные ранее статистические параметры (табл. 1) и результаты определения наилучшей модели, были построены картограммы при помощи простого кригинга для участков 2 и 3 и ординарного кригинга для лесного участка (рисунок). Различия в способах интерполяции вызваны тем, что в связи со значительным отклонением от нормального распределения данных лесного участка простой кригинг сильно сглаживает значения и картограмма, полученная данным методом, не отражает всей вариабельности значений кислотности на данном участке. Это доказывает важность статистической обработки данных и их анализа, а также показывает, что каждый отдельно взятый микроучасток или делянка будет иметь уникальное пространственное распределение почвенных свойств.

На всех картограммах проведены горизонталы через 0,5 м, наибольшие колебания высот отмечаются на лесном участке – рельеф данной территории представлен плосковолнистой равниной, абсолютные отметки высот которой колеблются от 156 до 162 м. На большей части пойменного участка высота рельефа составляет 154,5 м, с повышением в районе грив – до 156,5 м. Наиболее плоской территорией является участок 3, где колебания высот составляют 0,5 м – от 157,5 до 158 м.



Картограммы кислотности почв: 1, 2, 3 – лесного, пойменного и полевого участков соответственно. Линии: 1 – р. Западная Березина; 2 – дороги; 3 – горизонтали. Контрольные точки и группы кислотности почвы: 1 – сильно-кислые почвы (рН менее 4,5); 2 – среднекислые (рН 4,5–5,0); 3 – кислые (рН 5,0–5,5); 4 – слабокислые (рН 5,5–6,0); 5 – нейтральные и близкие к нейтральным (рН 6,0–6,5); 6 – нейтральные и близкие к нейтральным (рН 6,5–7,0); 7 – нейтральные и слабощелочные (рН более 7,0)

Анализируя полученные картограммы распределения рН в KCl, можно увидеть, что на лесном участке преобладают среднекислые почвы (рН 4,5–5,0) с отдельными участками сильно-кислых почв (рН меньше 4,5) в северо-западной части исследуемой территории. В свою очередь юго-восточная и восточная части территории в основном заняты слабокислыми почвами (рН 5,5–6,0), однако встречаются места с почвами, реакция которых близка к нейтральной (рН 6,0–7,0). Участки с более кислыми почвами тяготеют к более низким абсолютным высотам. На пойменном участке доминируют слабокислые (рН 5,5–6,0) и близкие к нейтральным (рН 6,0–6,5) почвы, приуроченные к заболоченным территориям, а местность, где располагаются повышения с автоморфными почвами, которые четко вырисовываются горизонталями на картосхеме, относятся к кислой группе (рН 5,0–5,5). Кроме этого, с помощью кригинга было получено первичное представление о распределении значений рН в KCl на противоположном берегу реки, где отбор образцов не производился, и мы надеемся на высокий уровень достоверности полученной картограммы. Распределение кислотности на исследуемом участке 3 следующее: на северо-востоке доминируют близкие к нейтральным (рН 6,5–7,0) и слабощелочные (рН более 7,0) почвы, при продвижении на юго-запад кислотность увеличивается и рН достигает 5,0–5,5, что соответствует кислой группе. Предположительно это связано с тем, что на северо-востоке вверх по склону располагается участок под пашней, где периодически проводится известкование, что способствует снижению кислотности. Осадки сносят вниз по склону часть вносимого мелиоранта, где и расположен исследуемый участок, тем самым снижая уровень закисления почвы.

Заключение

В ходе выявления особенностей распределения кислотности почвы на различных микрополигонах были рассмотрены основные этапы геостатистического анализа, показана необходимость первичной статистической обработки данных, в ходе которой была определена и откорректирована нормальность распределения данных. Кроме этого, показатели описательной статистики дали первичное представление о пространственном распределении кислотности почвы. Были рассмотрены и интерпретированы в терминах географии почв основные параметры вариограммы, на основании которых можно говорить о степени пространственной корреляции на исследуемых участках. При проведении перекрестной проверки в программе ArcGIS ArcMap определены лучшие модели для исследуемых участков: для лесного наилучшим вариантом является сферическая модель; для участка на пойме наиболее приемлема экспоненциальная, а для пахотного участка – гауссова. Для построения картосхем для участков 2 и 3 использовали простой кригинг, а для лесного участка – ординарный. Выбор ординарного кригинга обусловлен значительным отклонением данных лесного участка от нормального распределения. Здесь простой кригинг сильно сглаживает значения и картосхема, полученная данным методом, не отражает всей варибельности значений кислотности. Это доказывает важность статистической обработки данных и их анализа, а также показывает, что каждый отдельно взятый микроучасток или делянка будет иметь уникальное пространственное распределение почвенных свойств.

В целом даже на этом ограниченном материале можно говорить о наличии существенной вариации кислотности почвы на микрополигонах лесных, пойменных и луговых земель. Актуальным для дальнейших исследований представляется установленный факт значительной корреляции значений pH с абсолютными высотами местности, дифференцированный от степени увлажнения почв. На пойменном участке это объясняется в первую очередь наличием воды в понижениях, которая имеет в этих условиях реакцию, близкую к нейтральной. На лесном участке, в связи с более высокими перепадами высот, распределение кислотности имеет более сложный механизм распределения.

Список использованных источников

1. Krige, D. G. J. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand / Danie G. J. Krige. – Chem., Metal. and Mining Soc. : South Africa. – 1951. № 51(b). – P. 119–139.
2. Матерон, Ж. Основы прикладной геостатистики / Ж. Матерон. – Изд. 2-е. – М., 1996. – 460 с.
3. Гандин, Л. С. Статистические методы интерполяции метеорологических данных / Л. С. Гандин, Р. Л. Каган. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 359 с.
4. Вистелиус, А. Б. Математическая геология и ее вклад в фундаментальные геологические разработки / А. Б. Вистелиус. – Л., 1986. – 27 с.
5. Вистелиус, А. Б. Математическая геология: история, состояние, перспективы / А. Б. Вистелиус. – Л., 1984. – 53 с.
6. Heuvelink, G. B. M. Modelling soil variation: past, present, and future / G. B. M. Heuvelink, R. Webster // Geoderma. – 2001. – N 100. – P. 269–301.
7. Farming systems and soil acidity [Electronic resource] / Agricultural Bureau of South Australia – Mode of access: http://www.agbureau.com.au/projects/soil_acidity/ Date of access : 20.06.2017.
8. Olf, H. Q.-W. Soil pH maps derived from on-the-go pH-basis for variable lime application under German conditions: concept development and evaluation in field trials / H.-W. Olf, A. Borchert, D. Trautz. – Osnabruck: Nutrition University of Applied Sciences Osnabruck Am Kruempel, 2010. – 10 p.
9. Sreun'esr, W. J. Variability in soil moisture salting / W. J. Sreun'esr J. J. Lone. – Saskatchewan: Canada Department of Agriculture, 1961.
10. O'hellonen, I. P. Spatial variability of soil phosphorus as influenced by soil texture and management / I. P. O'hellonen, R. G. Kachanoski, J. W. B. Stewart // Can. J. Soil Sci. – 1985. – P. 65. – P. 475–487.
11. Sulphur behavior in forest soils near the largest SO₂ emitter in northern Europe [Electronic resource] – Applied Geochemistry, 2007 – Mode of access <http://edoc.unibas.ch/dok/A5251156>. – Date of access: 20.06.2017.
12. Managing Soil pH for Crop Production [Electronic resource] – Agronomy library – Mode of access: <https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy>. – Date of access: 20.02.2017.
13. Сахабиев, И. А. Исследование пространственной изменчивости свойств почв с использованием геостатистического подхода / И. А. Сахабиев, С. С. Рязонов // Рос. журн. прикл. экологии. – 2015 – № 2. – С. 32–37.
14. Демьянов, В. В. Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева ; под ред. Р. В. Арутюняна; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М. : Наука, 2010. – 327 с.
15. Джонгман, Р. Г. Г. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов / Р. Г. Г. Джонгман, С. Дж. Ф. Тер Браак, О. Ф. Р. Ван Тонгерен. – М. : РАСХН, 1999. – 306 с.

16. *Cressie, N.* Fitting models by weighted least squares / N. Cressie // *Mathematical Geology*. – 1985. – Vol. 17, №5. – P. 563–586.
17. *Pannatier, Y.* Variowin Software for Spatial Data Analysis / Y. Pannatier. – New York: Springer-Verl., 1996. – 91 p.
18. *Xiaodong, J.* Semivariogram modeling by weighted least squares / J. Xiaodong, R. A. Olea, Y.-S. Yu // *Computers and Geosciences*. – 1996. – Vol. 22, №4. – P. 387–397.
19. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils / C.A. Cambardella [et al.] // *Soil Science Society of America journal*. Sept/Oct. – 1994. – Vol. 58. – P. 1501–1511.
20. *Байков, В.* Математическая геология / В. Байков, Н. Бакиров, А. Яковлев. – Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2012. – Т. 1. – С. 227.
21. *Сидорова, В. А.* Изменение пространственной вариабельности почвенных свойств в результате антропогенного воздействия / В. А. Сидорова // – Петрозаводск : Ин-т биологии Карельского НЦ РАН, 2002. – 18 с.
22. Основные элементы и понятия геостатистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scienceproblems.ru/osnovnye-elementy-i-ponjatija-geostatistiki/2.html> – Дата доступа: 20.06.2017.

Поступила 24.01.2018

Е. В. Воробьева¹, И. В. Шестак¹, А. Д. Воробьев², Ю. В. Матрунчик¹

¹*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: evorobieva@igic.bas-net.by, Irishka.Shastak@gmail.com, Yuliya.M@tut.by*

²*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: avorobiov@belstu.by*

ПРИМЕНЕНИЕ ИНГИБИТОРОВ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В ВОДООБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Перспективными технологическими направлениями рационального использования водных ресурсов в промышленности является использование водооборотных систем с многократным использованием воды. При уменьшении количества природной воды, используемой для пополнения (подпитки) оборотной системы, концентрация солей увеличивается и образуется осадок. Для решения данных проблем в систему вводят специальные реагенты, ингибирующие кристаллизацию солей и стабилизирующие дисперсию с осадком. В работе предложены методы оценки эффективности ингибирующего и стабилизирующего осадок действия реагентов и рассчитаны основные метрологические характеристики. Методы основаны на определении индукционного периода осадкообразования, характеризующего начало формирования кристаллической фазы в растворе, и оптической плотности дисперсии. Сравнение данных параметров до и после введения реагентов в систему позволяет оценить их эффективность как ингибиторов осадкообразования. В работе исследованы ингибирующее и стабилизирующее действия полиакрилата натрия, полиэтиленгликоля, триполифосфата натрия, трилона Б, лигносульфоната магния, аминотриметиленовой фосфононовой кислоты, фосфонобутан-1,2,4-трикарбоновой кислоты, динатриевой соли 1-гидроксиэтилендифосфоновой кислоты. Установлено, что при использовании полиакрилата натрия индукционный период осадкообразования увеличивается почти в 7 раз по сравнению с системой без реагентов. Наиболее эффективным стабилизирующим действием из исследованных реагентов обладает полиэтиленгликоль. Использование в водооборотных системах реагентов, увеличивающих индукционный период осадкообразования и стабилизирующих дисперсию с осадком, позволяет ингибировать кристаллизацию солей при увеличении их концентрации и снижении количества воды, добавляемой в систему.

Ключевые слова: водопотребление, оборотные системы, ингибиторы осадкообразования, соли жесткости, индукционный период, стабилизирующее действие, кристаллическая фаза

E. V. Vorobiova¹, I. V. Shestak¹, A. D. Vorobiov², Y. V. Matruncik¹

¹*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: evorobieva@igic.bas-net.by, Irishka.Shastak@gmail.com, Yuliya.M@tut.by*

²*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus,
e-mail: avorobiov@belstu.by*

APPLICATION OF INHIBITORS OF SEDIMENTATION IN WATER-TURNING SYSTEMS FOR THE RATIONAL USE OF WATER RESOURCES

Possibility technological directions of rational use of water resources in industry is use of water circulation systems with repeated use of water. The concentration of salts increases and a precipitate forms when the quantity of natural water used for replenish (recharge) the circulating system decreases. Special reagents are introduced into the system to solve these problems, which inhibit salts crystallization and stabilize the dispersion with precipitate. Methods of an estimation of inhibiting efficiency and sediment stabilizing of reagents are developed and basic metrological characteristics are calculated in work. The methods are based on the determination of the induction period of precipitation characterizing the beginning of crystals formation in solution and the optical density of the dispersion. Comparison of these parameters before and after the introduction of reagents into the system makes it possible to evaluate their effectiveness as inhibitors of precipitation. The inhibitory and stabilizing effect of sodium polyacrylate, polyethylene glycol, sodium tripolyphosphate, trilon B, magnesium lignosulfonate, aminotrimethylenephosphonic acid, phosphono-butane-1,2,4-tricarboxylic acid, disodium salt of 1-hydroxyethylidenediphosphonic acid was investigated. It was found that when sodium polyacrylate is used, the induction period of precipitation increases almost by 7 times compared to the system without reagents. Polyethylene glycol is the most effective stabilizing action reagent of the reagents studied. The use of reagents in water circulation systems which increase the induction period of precipitation and stabilize the dispersion with the sediment makes it possible to inhibit the crystallization of salts with increasing their concentration and reducing the amount of water added to the system.

Keywords: water consumption, circulating systems, precipitation inhibitors, hardness salts, period of induction, stabilizing effect, crystalline phase

Е. В. Вараб'ёва¹, I. В. Шастак¹, А. Д. Вараб'ёў², Ю. В. Матрунчык²

¹Інстытут агульнай і неарганічнай хіміі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: evorobieva@igic.bas-net.by, Irishka.Shastak@gmail.com, Yuliya.M@tut.by

²Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,
e-mail: avorobiov@belstu.by

УЖЫВАННЕ ІНГІБІТАРАЎ АСАДКААТРЫМАННЯ Ў ВОДАЗВАРОТНЫХ СІСТЭМАХ ДЛЯ РАЦЫЯНАЛЬНАГА ВЫКАРЫСТАННЯ ВОДНЫХ РЭСУРСАЎ

Перспектыўнымі тэхналагічнымі напрамкамі рацыянальнага выкарыстання водных рэсурсаў у прамысловасці з'яўляецца выкарыстанне водазваротных сістэм са шматразовым выкарыстаннем вады. Пры памяншэнні колькасці прыроднай вады, якая выкарыстоўваецца для папаўнення (падсілкоўвання) зваротнай сістэмы, канцэнтрацыя солей павялічваецца і ўтвараецца асадок. Для вырашэння гэтых праблем у сістэму ўводзяць спецыяльныя рэагенты, якія інгібіруюць крышталізацыю солей і стабілізуюць дысперсію з асадкам. У працы прапанаваны метады ацэнкі эфектыўнасці інгібіруючага і стабілізуючага асадак дзеяння рэагентаў і разлічаны асноўныя метралагічныя характарыстыкі. Метады заснаваны на вызначэнні індукцыйнага перыяду асадкаатрымання, які характарызуе пачатак фарміравання крышталічнай фазы ў раствору, і аптычнай шчыльнасці дысперсіі. Параўнанне дадзеных параметраў да і пасля ўвядзення рэагентаў ў сістэму дазваляе ацаніць іх эфектыўнасць як інгібітараў асадкаатрымання. У працы даследавана інгібіруючае і стабілізуючае дзеянне поліакрылата натрыя, поліэтыленгліколя, трыполіфасфата натрыя, трылона Б, лігнасульфаната магна, амінатрыметыленавай фасфонавай кіслаты, фасфонабутан-1,2,4-трыкарбонавай кіслаты, двунатрыевай солі 1-гідраксіэтылідэндзіфасфонавай кіслаты. Устаноўлена, што пад час выкарыстання поліакрылату натрыя індукцыйны перыяд асадкаатрымання павялічваецца амаль у 7 разоў у параўнанні з сістэмай без рэагентаў. Найбольш эфектыўным стабілізуючым дзеяннем з даследаваных рэагентаў валодае поліэтыленгліколь. Выкарыстанне ў водазваротных сістэмах рэагентаў, якія павялічваюць індукцыйны перыяд асадкаатрымання і стабілізуюць дысперсію з асадкам, дазваляе інгібіраваць крышталізацыю солей пры павелічэнні іх канцэнтрацыі і зніжэнні колькасці вады, даданай ў сістэму.

Ключавыя словы: водаспажыванне, абаротныя сістэмы, інгібітары асадкаатрымання, солі жорсткасці, індукцыйны перыяд, стабілізуючае дзеянне, крышталічная фаза

Введение

В последние годы активно развиваются технологические направления, обеспечивающие существенное снижение водопотребления и загрязнения природных водоемов. К наиболее перспективным из них относятся разработка и внедрение водооборотных циклов. Объем циркулирующей воды в водооборотных циклах крупных промышленных предприятий составляет десятки и сотни тысяч метров кубических в час. Нагретая в теплообменниках вода поступает в охладительные установки (градирни, охладительные пруды), затем возвращается в водооборотный цикл. При циркуляции в системе часть воды испаряется в градирнях, с поверхности открытых прудов, в результате чего в ней увеличивается концентрация солей и накипеобразующих соединений. При многократном использовании в воде накапливаются механические взвеси, различные коррозионно-агрессивные соединения и микроорганизмы. Это вызывает интенсивное отложение накипи и коррозию теплообменного оборудования, ухудшает теплопередачу. Из-за увеличения содержания в воде солей, в том числе солей кальция и магния, и других примесей требуются вывод части воды и замена ее свежей. С этой целью осуществляют так называемую подпитку системы водой из природных источников.

Уменьшение объема подпиточной воды из природных источников с целью экономии водных ресурсов приводит к росту содержания растворенных солей, которые при определенном уровне концентрации начинают кристаллизоваться, образуется осадок, нарушающий теплообменные процессы, что приводит к снижению качества продуктов основной технологии и к увеличению риска аварийных ситуаций из-за нарушения температурного баланса основного технологического процесса [1–3].

В условиях экономного использования воды в водооборотных системах единственным способом предотвращения кристаллизации солей жесткости и образования осадка является введение реагентов, ингибирующих осадкообразование. Эффективность их ингибирующего действия зависит от условий в водооборотной системе, в первую очередь pH, и температуры [2, 4].

Оценка эффективности ингибирующего действия реагентов различных классов является сложной задачей. В литературе детально описаны результаты исследования структуры, фазового состава, размера частиц осадка карбоната кальция в зависимости от внешних факторов, в том числе в присутствии химических соединений различных классов [4, 5]. Предложен метод,

основанный на измерении остаточной концентрации ионов кальция, магния, карбонатов в надосадочной жидкости через определенные промежутки времени, позволяющий косвенно оценить интенсивность процессов кристаллизации [5]. Недостатком данного метода является его высокая трудоемкость, возможность значительных ошибок при аналитическом определении концентраций, связанных как со сложностью техники разделения растворов и осадка, так и с возможным образованием комплексов между ингибитором и ионами кальция и магния. Методы изучения процессов кристаллизации карбонатов путем высокоточного измерения pH или проводимости растворов [1, 2] ограничены высокими требованиями к условиям проведения эксперимента и чистоте используемых реагентов. Известны методы исследования кристаллизации карбонатов, основанные на определении массы осадка, образовавшегося в ходе эксперимента на специальной подложке [6].

Несмотря на многообразие описанных в литературе методов, практически нет сведений об оценке эффективности добавок, способных ингибировать кристаллизацию солей и стабилизировать образующийся осадок. В данной работе предлагается использовать методы определения индукционного периода осадкообразования, характеризующего начало формирования кристаллической фазы в растворе, и оптической плотности системы методом фотометрии. Сравнение данных параметров в системе с одинаковыми условиями (температура, pH, состав раствора) до и после введения реагентов позволит оценить их эффективность как ингибиторов осадкообразования.

Для использования методов определения индукционного периода осадкообразования и оптической плотности системы с целью оценки эффективности ингибиторов различных классов необходим расчет основных метрологических характеристик метода (точность, воспроизводимость), выполненный по экспериментальным данным.

В данной работе показана возможность экономии природной воды в водооборотных системах путем введения реагентов, увеличивающих индукционный период осадкообразования и стабилизирующих дисперсию с осадком.

Экспериментальная часть

Индукционный период осадкообразования определяли на лабораторной модельной установке с замкнутым контуром (рисунок). Преимуществом выбранного метода является моделирование динамических условий промышленных водооборотных систем, когда образование осадка и осаждение его на стенках теплообменников происходит при постоянной циркуляции растворов.

В соответствии с приведенной на рисунке схемой растворы солей (хлорид кальция и гидрокарбонат натрия) с концентрацией 0,466 и 0,234 г/л соответственно из емкостей (1, 2) подаются с помощью насосов (3, 4) с постоянной скоростью в капилляр (6) (материал капилляра – нержавеющая сталь, диаметр – 1,1 мм, длина – 1,0 м, скорость подачи растворов – 10 мл/мин), помещенный в термостат (7) с определенной температурой. В капилляре в динамических условиях

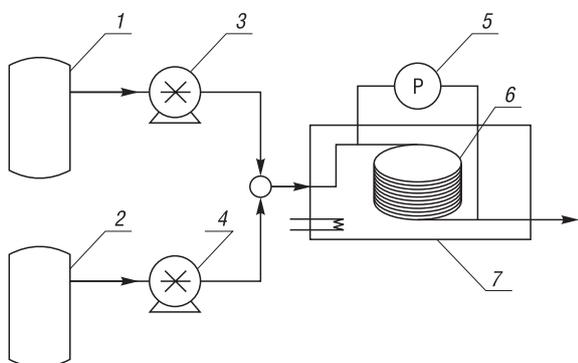


Схема установки, моделирующей осадкообразование в динамических условиях: 1, 2 – емкость; 3, 4 – насос; 5 – дифференциальный манометр; 6 – металлический капилляр; 7 – термостат

происходит образование и осаждение осадка. Увеличение толщины отложений на стенках капилляра приводит к росту гидродинамического сопротивления системы, что сопровождается увеличением давления в капилляре и фиксируется с помощью дифференциального манометра (5).

Индукционный период осадкообразования I измеряли как интервал времени, соответствующий увеличению дифференциального давления от нуля до определенной величины.

Водные растворы хлорида кальция и гидрокарбоната натрия готовили с использованием бидистиллированной воды и реагентов квалификации «ч.д.а.». Условия циркуляции раство-

ров в системе: 90 °С, рН 7,0, жесткость 10,7 мг-экв/дм³. Значение рН регулировали с использованием 0,1 н. раствора гидроксида натрия и 0,1 н. раствора соляной кислоты.

В работе использовали фотометрический метод определения оптической плотности модельной системы, содержащей дисперсию каолина с содержанием от 15 до 50 мг/л. Высушенный при (100±5 °С) в течение 1 ч каолин (ГОСТ 21285-75) измельчали до полного прохождения через сито с отверстиями 0,05 мм и сушили до постоянной массы при (150±5 °С). Приготовленный каолин хранили в эксикаторе. В мерную колбу вместимостью 100 см³ помещали определенное количество каолина, добавляли 20 см³ дистиллированной воды, закрывали пробкой, перемешивали и оставляли на 12 ч. Затем в колбу добавляли последовательно по 10 см³ растворов хлоридов кальция и магния и гидрокарбоната натрия, доводили объем до метки дистиллированной водой и перемешивали. Общая жесткость в системе 10,7 мг-экв/дм³. Раствор ингибитора в исследуемую систему вводили перед добавлением дистиллированной воды.

Приготовленную суспензию каолина фотометрировали относительно раствора сравнения (дистиллированная вода) при длине волны от 315 до 990 нм, выбирали длину волны, соответствующую максимальному поглощению исследуемой системы. Суспензию каолина помещали в кюветы, через 30 мин на протяжении 5 ч при выбранной длине волны проводили измерение оптической плотности.

По результатам измерений по формуле (1) рассчитывали относительную дисперсионную способность (ОДС) реагента. Диапазон измерения относительной дисперсионной способности от 3,0 до 100,0 % включительно.

$$\text{ОДС} = \frac{P_{\text{реаг}}}{P} \cdot 100, \quad (1)$$

где ОДС – относительная дисперсионная способность реагента, %; $P_{\text{реаг}}$ – значение оптической плотности дисперсии каолина после введения реагента; P – значение оптической плотности дисперсии каолина до введения реагента.

Для исследования использовали реагенты, в состав которых входят карбоксильные, гидроксильные, фосфатные, сульфатные функциональные группы: полиакрилат натрия (ПА), полиэтиленгликоль (ПЭГ), триполифосфат натрия (ТПФ), натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилон Б), лигносульфонат магния (ЛС) триполифосфат натрия, аминотриметиленовая фосфоновая кислота (АТМФ), фосфонобутан-1,2,4-трикарбоновая кислота (ФБТК), двунариевая соль 1-гидроксиэтилендифосфоновой кислоты (ОЭДФ) (Sigma-Aldrich).

Для объективного метрологического расчета изучали изменение I и ОДС при 30 концентрациях каждого из исследуемых реагентов. Полученные экспериментальные данные использовали для метрологического расчета показателей точности, воспроизводимости, повторяемости и других критериев метода. Расчет погрешностей измерения проводили, согласно работам [7–9].

Как показали метрологические расчеты экспериментально полученных данных, для параметров I и ОДС по критериям Граббса и Кохрена установлена однородность выборочных данных при оценке СКО (среднее квадратическое отклонение), характеризующих повторяемость результатов единичных анализов для всех исследуемых образцов.

Оценку точности измерения индукционного периода осадкообразования и относительной дисперсионной способности с доверительной вероятностью $P=0,95$ рассчитывали по формуле:

$$\Delta = 1,96\sqrt{\delta_R^2 + \delta_c^2} = 1,96\delta(\Delta), \quad (2)$$

где δ_R – СКО (среднее квадратическое отклонение), характеризующее воспроизводимость результатов для каждого из выбранных диапазонов; δ_c – СКО систематической погрешности для каждого из выбранных диапазонов.

Для расчета средней квадратичной ошибки многократно измеряли одну и ту же величину, например, индукционный период осадкообразования в системе с ПА с содержанием 0,4 мг/л.

Рассчитывали среднее значение измеряемой величины X_m (с) и для каждого измерения находили ошибку отдельного измерения – разность между полученным результатом и средним значением ($X_{mi} - X_m$). Рассчитывали среднюю квадратичную ошибку следующим образом:

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{mi} - X_m)^2}{n - 1}}, \quad (3)$$

где S_m – средняя квадратичная ошибка; n – число произведенных измерений; X_{mi} – полученный результат измеряемой величины (с); X_m – среднее значение измеряемой величины (с).

Наличием случайных погрешностей обусловлен разброс повторных результатов анализа относительно их среднего значения, который характеризуется воспроизводимостью. Как правило, значение воспроизводимости складывается из совокупности погрешностей подготовительных операций перед измерением (взятие навески ингибитора, колебания жесткости и pH воды) и погрешностей измерения (скорость подачи раствора, температура). Показатель воспроизводимости для каждого диапазона действия методики в виде среднего квадратического отклонения рассчитывали по формуле:

$$\sigma_R = k \cdot S_m, \quad (4)$$

где δ_R – СКО (среднее квадратическое отклонение); k – коэффициент, учитывающий условия проведения эксперимента (значение от 1,2 до 2,0); S_m – средняя квадратичная ошибка.

Анализ выполнен тем точнее, чем меньше результаты параллельных определений различаются между собой и чем выше воспроизводимость.

Условно индукционный период осадкообразования разделен на три диапазона: от 300 до 1800 с; от 1800 до 7200 с; от 7200 до 18000 с, для каждого из которых установлены значения показателей точности ($\pm \Delta$) и воспроизводимости (δ_R). Результаты метрологических расчетов, характеризующие точность (границы, в которых находится абсолютная погрешность метода) и воспроизводимость метода при доверительной вероятности $P = 0,95$, приведены в табл. 1.

Условно выделены два диапазона значений относительной дисперсионной способности (ОДС) реагентов: от 3,0 до 40,0 % и от 40,0 до 100,0 %. Для каждого из выбранных диапазонов

Таблица 1. Основные метрологические характеристики метода определения индукционного периода осадкообразования (I)

I, c	Показатель точности ($\pm \Delta$), с	Показатель воспроизводимости (δ_R), с
От 300 до 1800 вкл.	125	65
Св.1800 до 7200 вкл.	230	100
Св. 7200 до 18000 вкл.	470	210

Примечание. Св. – свыше; вкл. – включительно (здесь и далее).

Таблица 2. Основные метрологические характеристики метода определения относительной дисперсионной способности реагентов (ОДС)

ОДС, %	Показатель точности ($\pm \Delta$), %	Показатель повторяемости (δ_r), %	Показатель воспроизводимости (δ_R), %
От 3,0 до 40,0 вкл.	8,0	2,0	3,0
Св. 40,0 до 100,0 вкл.	13,5	4,0	5,0

ОДС при доверительной вероятности $P = 0,95$ определены показатели повторяемости (δ_r) и воспроизводимости (δ_R). Результаты метрологических расчетов приведены в табл. 2.

Показатели воспроизводимости и точности, учитывающие случайные и систематические ошибки на стадии приготовления образцов для анализа и измерения I и ОДС, приведенные в табл. 1 и 2, соответствуют норме [6, 7].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что индукционный период осадкообразования и относительная дисперсионная способность реагентов определяются описанными выше методами для различных реагентов и концентраций с высокой степенью точности. Используемые в работе методы могут применяться для оценки эффективности реагентов различных классов в отношении осадкообразования в исследуемых системах. Увеличение индукционного периода осадкообразования и относительной дисперсионной способности по сравнению с системой без реагентов (контроль) свидетельствует о проявлении ингибирующего действия реагентов.

Результаты и их обсуждение

Индукционный период осадкообразования, как видно из табл. 3, увеличивается при введении исследуемых реагентов и повышении их содержания в системе. Определение индукционного периода *I* в одинаковых условиях (рН, температура, жесткость воды) при введении различных водорастворимых реагентов позволяет сравнить их по способности к замедлению процесса осадкообразования, то есть по эффективности ингибирующего (замедляющего осадкообразование) к действию.

При введении в систему ПА и увеличении содержания от 0,1 до 3,0 мг/л *I* возрастает от 42,1 до 158,3 мин, что выше в 1,8–6,9 раза по сравнению с системой без реагентов. В аналогичных условиях при введении в систему фосфонатов (АТМФ, ФБТК, ОЭДФ) и увеличении содержания от 0,1 до 3,0 мг/л *I* возрастает в среднем в 1,8–5,7 раза по сравнению с системой без реагентов. Таким образом, эффективность фосфонатов и полиакрилатов как ингибиторов осадкообразования приблизительно одинаковая. Эффективность триполифосфата, ПЭГ и комплексообразующего реагента Трилона Б ниже по сравнению с фосфонатами и ПА.

Введение в систему ЛС приводит к снижению *I* при относительно низком содержании реагента (0,1–0,3 мг/л). С увеличением расхода ЛС ингибирующая способность возрастает, однако до определенного предела. Как показали результаты исследования системы с ЛС, при введении в систему ЛС в количестве более 10–12 мг/л *I* резко уменьшается. Это может быть обусловлено образованием коллоидных частиц, коагулирующих при повышении температуры в динамических условиях [10].

Результаты сравнения индукционного периода осадкообразования показали, что в системе с рН 7,0–8,5 наиболее эффективными из исследованных реагентов являются карбоксилсодержащие полимеры (полиакрилаты) и фосфонаты. При увеличении рН до 9,5–10,5 индукционный период уменьшается для системы без реагентов и с ингибиторами (табл. 4). В щелочной среде гидроксид-ионы, образующиеся в результате диссоциации NaOH и гидролиза NaHCO₃, принимают участие в процессе роста кристаллов карбонатного осадка, адсорбируясь на его поверхности. По мере повышения рН с увеличением концентрации CO₃²⁻ вследствие диссоциации HCO₃⁻ соотношение Ca²⁺/CO₃²⁻ приближается к стехиометрическому, соответственно скорость зародышеобразования увеличивается, а скорость роста кристаллов снижается [4, 11]. Учитывая различный механизм ингибирующего действия фосфонатов, замедляющих зародышеобразование, и полиакрилатов, ингибирующих рост кристаллов, можно объяснить более высокие значения *I* при введении в систему ПА в щелочной среде. Как следует из табл. 4, в системе с рН 9,5–10,5 наиболее эффективными из исследованных реагентов является полиакрилат.

Эффективный реагент для обработки охлаждающей воды должен обладать диспергирующими свойствами по отношению к частицам различной природы. С одной стороны, необходимо диспергировать вещества,

Таблица 3. Индукционный период осадкообразования в зависимости от вида и содержания реагентов в водооборотной системе с рН 8,5 (*I* в системе без реагентов 23,1 мин)

Реагент	Индукционный период осадкообразования <i>I</i> , мин				
	содержание реагентов в системе, мг/л				
	0,1	0,3	0,5	1,0	3,0
ПА	42,1	48,8	98,1	104,6	158,3
ПЭГ	23,8	24,1	26,3	28,3	29,1
ТПФ	32,0	55,1	64,7	75,2	76,4
Трилон Б	27,8	35,2	40,6	43,2	45,9
ЛС	19,0	21,2	24,8	25,6	27,0
АТМФ	36,5	38,2	59,4	84,6	113,8
ФБТК	46,0	49,4	75,5	102,5	148,3
ОЭДФ	40,4	42,0	62,9	94,6	134,5

Таблица 4. Индукционный период осадкообразования в зависимости от вида реагентов и рН водооборотной системы

Реагент (содержание в системе 1,0 мг/л)	Индукционный период осадкообразования <i>I</i> , мин		
	Значение рН в водооборотной системе		
	9,5	10,0	10,5
Без реагентов	20	19,2	18,3
ПА 104,6	96,8	87	75,3
ТПФ 75,2	52,2	46,1	26,2
Трилон Б 43,2	34,3	28,4	23,5
АТМФ 84,6	78,3	71,8	56,8
ФБТК 102,5	95,6	83,7	72,7
ОЭДФ 94,6	88,9	86,9	73,2

Т а б л и ц а 5. Относительная дисперсионная способность реагентов (ОДС в системе без реагентов 100 %)

Реагент	ОДС, %		
	Содержание реагентов в системе, мг/л		
	0,1	0,3	0,5
ПА	126,15	149,62	177,23
ПЭГ	138,9	167,3	198,6
ТПФ	78,3	90,5	98,3
Трилон Б	72,1	89,3	94,6
ЛС	54,3	56,7	64,1
АТМФ	102,3	112,6	121,3
ФБТК	105,7	117,9	123,5
ОЭДФ	107,3	119,7	125,1

попадающие в систему, для предотвращения их осаждения и формирования отложений, которые могут привести к коррозии под отложениями и зародышеобразованию для дальнейших отложений. С другой стороны, также тщательно необходимо диспергировать вещества, образующиеся в системе – продукты коррозии, микрокристаллы и их агломераты. Диспергирующие свойства реагентов характеризуются относительной дисперсионной способностью. Чем лучше частицы дисперсии удерживаются во взвешенном состоянии, тем больше оптическая плотность и выше показатель ОДС.

Из табл. 5 следует, что наиболее высокой ОДС из исследованных полимеров обладает полиэтиленгликоль, что обусловлено специфическими взаимодействиями между гибкими полиэфирными цепочками данного соединения и поверхностью частиц карбоната кальция.

Известно, что полиэфирные цепочки являются аналогами краун-эфиров [12], но, в отличие от них, имеют незамкнутую линейную структуру. Обладая большой гибкостью, они способны взаимодействовать с катионами на поверхности частиц, что препятствует агрегации частиц и повышает агрегативную и седиментационную устойчивость дисперсии.

Таким образом, основными критериями выбора реагентов для обеспечения безосадочного функционирования водооборотных систем является их способность к увеличению индукционного периода осадкообразования и стабилизации системы. Сравнение данных показателей для разных реагентов позволяет оценить эффективность их ингибирующего и диспергирующего действия.

Заключение

В водооборотных циклах предприятий в условиях экономии воды, подаваемой из природных источников для пополнения (подпитки) оборотной системы, увеличивается концентрация солей и образуется осадок. Необходимым условием рационального использования водных ресурсов в водооборотных системах является снижение осадкообразования путем применения реагентов, ингибирующих данный процесс. Разработаны методы оценки эффективности ингибирующего действия реагентов, основанные на определении индукционного периода осадкообразования и оптической плотности системы, и рассчитаны основные метрологические характеристики методов (точность, воспроизводимость). Разработанными методами определены наиболее эффективные из исследованных ингибиторы осадкообразования: полиакрилат натрия и полиэтиленгликоль, увеличивающие соответственно индукционный период осадкообразования почти в 7 раз и оптическую плотность дисперсии в 2 раза по сравнению с системой без реагентов. Ингибирование осадкообразования позволяет экономить значительное количество (тысячи кубометров в час) природной воды в водооборотных системах предприятий.

Список использованных источников

1. Рябчиков, Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б. Е. Рябчиков. – М.: ДеЛипринт, 2004. – 328 с.
2. Методологические аспекты выбора реагентов для предотвращения минеральных отложений / Б. Н. Дрикер [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – №2. – С. 2–5.
3. Чаусов, Ф. Ф. Модель влияния адсорбции примесей на рост кристаллов малорастворимых солей из слабо пересыщенных растворов / Ф. Ф. Чаусов // Теоретические основы химической технологии. – 2008. – Т.42. – №2. – С. 189–197.
4. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 6. Использование значений точности на практике : СТБ ИСО5725-2-2002 . – Введ. 01.11.2002. - ВНИИстандарт Госстандарта России, 2002. – 161 с.

5. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 1. Общие принципы и определения : СТБ ИСО5725-1-2002. – Введ. 01.11.2002. - ВНИИСтандарт Госстандарта России, 2002. – 161 с.
6. Хираока, М. Краун-соединения / М. Хираока. – М.: Мир. 1986. – 363 с.
7. Беликов, С.Е. Водоподготовка: Справ. / С.Е. Беликов. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
8. Чаусов, Ф.Ф. Влияние кристаллической структуры солей на эффективность ингибирования их кристаллизации органофосфонатами / Ф.Ф. Чаусов // Журн. химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51, вып. 5. – С. 63–67.
9. Chena, T. Assessing the effect of Mg^{2+} on $CaCO_3$ scale formation – bulk precipitation and surface deposition / T. Chena, A. Neville, M. Yuan // J. Cryst. Growth. – 2005. – Vol. 275. – P. 1341–1347.
10. Особенности кристаллизации карбонатных осадков в щелочных растворах / И.В. Шестак [и др.] // Журн. неорг. химии. – 2012. – Т. 57, № 1, – С. 36–42.
11. Сапотницкий, С.А. Использование сульфитных щелоков / С.А. Сапотницкий. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 224 с.
12. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки : МИ 2336-2002 : утв. ФГУП «УНИИМ» Госстандарта России 24.10.2002 : введ. 2003.10.01. – ФГУП ВНИИМС, 2004. – 67 с.

Поступила 27.12.2017