

Веснік

Брэсцкага ўніверсітэта

Рэдакцыйная калегія

галоўны рэдактар
А. М. Сендзер

намеснік галоўнага рэдактара
А. Я. Будзько

адказны рэдактар
Н. С. Ступень

І. В. Абрамава (Беларусь)
А. А. Афонін (Расія)
М. А. Багдасараў (Беларусь)
А. М. Вігчанка (Беларусь)
А. А. Волчак (Беларусь)
В. В. Грычык (Беларусь)
А. А. Махнач (Беларусь)
А. В. Мацвееў (Беларусь)
В. А. Несцяроўскі (Украіна)
У. У. Салтанаў (Беларусь)
Я. К. Яловічава (Беларусь)

Пасведчанне аб рэгістрацыі
ў Міністэрстве інфармацыі
Рэспублікі Беларусь
№ 1339 ад 28 красавіка 2010 г.

Адрас рэдакцыі:
224016, г. Брэст,
бульвар Касманаўтаў, 21
тэл.: +375-(162)-21-72-07
e-mail: vesnik@brsu.brest.by

Часопіс «Веснік Брэсцкага
ўніверсітэта» выдаецца
са снежня 1997 года

Серыя 5

БІЯЛОГІЯ

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

НАВУКОВА-ТЭАРЭТЫЧНЫ ЧАСОПІС

Выходзіць два разы ў год

Заснавальнік – установа адукацыі
«Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А. С. Пушкіна»

№ 2 / 2021

У адпаведнасці з Дадаткам да загада
Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь
ад 01.04.2014 № 94 у рэдакцыі загада Вышэйшай атэстацыйнай
камісіі Рэспублікі Беларусь ад 16.02.2021 № 36
(са змяненнямі, унесенымі загадамі ВАК ад 16.03.2021 № 65,
09.04.2021 № 105, 28.04.2021 № 121, 27.05.2021 № 147,
06.07.2021 № 204, 24.09.2021 № 237, 21.10.2021 № 263)
часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5.

Біялогія. Навукі аб зямлі» ўключаны ў Пералік навуковых выданняў
Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных
даследаванняў па біялагічных, географічных
і геолога-мінералагічных навуках

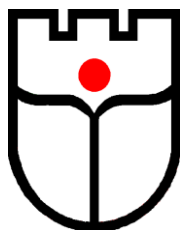
ЗМЕСТ

БІЯЛОГІЯ

Артемук Е. Г. Применение брассиностероидов для снижения токсического действия меди на бобовые культуры.....	5
Балаева-Тихомирова О. М., Кацнельсон Е. И., Латышева О. В. Динамика содержания глюкозы и гликогена в тканях легочных пресноводных моллюсков, обитающих в водоемах Витебской области	13
Калиниченко С. А., Ненашев Р. А., Никитин А. Н. Латеральная миграция радионуклидов чернобыльского происхождения в почве зоны отчуждения	21
Колбас А. П., Матусевич Н. М., Савина Н. В., Кубрак С. В., Левковская М. В., Токарчук С. М., Кильчевский А. В. Эколого-генетическая инвентаризация отдельных видов охраняемых растений Брестского региона	34
Островский О. А., Вечёрко Р. В., Дмитренко М. Г., Пакуль П. А. Экологические связи некоторых видов птиц и млекопитающих с гнёздами черных аистов в Белорусском Полесье.....	42
Терлецкая Н. Ф., Гапонюк А. Н., Антонюк А. С. Роль минерального питания в формировании урожайности малины ремонтантной на почвах юго-запада Беларуси	53

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

Галкин П. А., Черкасова О. А., Масалкова Ю. Ю., Галкин А. Н., Красовская И. А. Особенности техногенных воздействий на геоэкологическую обстановку Витебска (Часть 2. Химическое воздействие).....	60
Маевская А. Н., Шешко Н. Н., Богдасаров М. А. Структурное геологическое картирование четвертичных отложений Гродненской области с применением ГИС-технологий	70
Павловский А. И., Галкин А. Н., Андрушко С. В. Генетические типы и фациальный состав четвертичных отложений, их трансформация в районах добычи и переработки полезных ископаемых на территории Беларуси	78
Сидорович А. А., Сидорович Т. Н., Ильютчик А. И. Миграционный фактор региональной трансформации демографического пространства Беларуси в конце XX – начале XXI в.	87
Токарчук С. М., Трофимчук Д. А., Белюк А. О. Создание геоинформационных продуктов для отображения результатов научно-исследовательских работ (на примере изучения зеленой инфраструктуры Бреста для оценки ее влияния на формирование качества городской среды)	96
Шершнёв О. В. Региональные особенности водопользования в Республике Беларусь	106



Vesnik

of Brest University

Editorial Board

editor-in-chief
A. M. Sender

deputy editor-in-chief
A. Ya. Budzko

managing editor
N. S. Stupen

I. V. Abramava (Belarus)
A. A. Afonin (Russia)
M. A. Bahdasarau (Belarus)
A. M. Vitchanka (Belarus)
A. A. Volchak (Belarus)
V. V. Hrychyk (Belarus)
A. A. Makhnach (Belarus)
A. V. Matsveyeu (Belarus)
V. A. Nestsyaruski (Ukraine)
V. V. Saltanau (Belarus)
Ya. K. Yalovichava (Belarus)

Registration Certificate
by Ministry of Information
of the Republic of Belarus
nr 1339 from April 28, 2010

Editorial Office:
224016, Brest,
21, Kosmonavtov Boulevard
tel.: +375-(162)-21-72-07
e-mail: vesnik@brsu.brest.by

Published since December 1997

Series 5

BIOLOGY

SCIENCES ABOUT EARTH

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

Issued twice a year

Founder – Educational Establishment
«Brest State A. S. Pushkin University»

№ 2 / 2021

According to the Supplement to the order of Supreme Certification Commission of the Republic of Belarus from April 01, 2014 nr 94 as revised by the order of Supreme Certification Commission of the Republic of Belarus from February 16, 2021 nr 36 (with the amendments made by the orders of Supreme Certification Commission from March 16, 2021 nr 65, April 09, 2021 nr 105, April 28, 2021 nr 121, May 27, 2021 nr 147, July 06, 2021 nr 204, September 24, 2021 nr 237, October 21, 2021 nr 263) the journal «Vesnik of Brest University. Series 5. Biology. Sciences about Earth» has been included to the List of scientific editions of the Republic of Belarus for publication of the results of scientific research in biological, geographical and geological-mineralogical sciences

CONTENTS

BIOLOGY

Alena Artsiamuk The Use of Brassinosteroids to Reduce Toxic Copper Action on Legumes	5
Olga Balaeva-Tikhomirova, Ekaterina Katsnelson, Olga Latysheva Dynamics of Glucose and Glycogen Content in the Tissues of Lung Freshwater Mollusks Living in the Reservoirs of the Vitebsk Region	13
Sergey Kalinichenko, Roman Nenashev, Aleksander Nikitin Lateral Migration of Radionuclides of the Chernobyl Origin in the Soil of Exclusion Zone	21
Aliaksandr Kolbas, Nataliya Matusevich, Nataliya Savina, Svyatlana Kubrak, Maryna Levkovskaya, Svyatlana Tokarchuk, Aliaksandr Kilchevsky Ecological and Genetic Inventory of Certain Protected Plant Species in the Brest Region	34
Oleg Ostrovsky, Ruzhana Vecherko, Marina Dmitrenok, Pavel Pakul Ecological Relationships of Some Bird Species and Mammals with Black Stork Nests in the Belarusian Polesie	42
Natallia Tsjarletsckaya, Andrey Gaponiuk, Aleksandra Antoniuk The Role of Mineral Nutrition in the Formation of the Yield of Remontant Raspberry on the Soils of South-West Belarus	53

SCIENCES ABOUT EARTH

Pavel Galkin, Olga Cherkasova, Yulija Masalkova, Alexander Galkin, Irina Krasovskaya Specific Features of Technogenic Impacts on Geocological Situation of Vitebsk (Part 2. Chemical Impact)	60
Anna Maevsckaya, Nikolay Sheshko, Maksim Bogdasarov Structural Geological Mapping of Quaternary Deposits of the Grodno Region Using Gis Technologies	70
Alexander Pavlovsky, Alexander Galkin, Svetlana Andrushko Genetic Types and Facies Composition of Quaternary Deposits, their Transformation in the Regions of Extraction and Processing of Mineral Resources on the Territory of Belarus	78
Alexandr Sidorovich, Tatsiana Sidorovich, Anastasia Ilutchik Migration Factor of Regional Transformation of the Demographic Space in Belarus at the End of XX – Early XXI Centuries	87
S. Tokarchuk, D. Trofimchuk, A. Belyuk Development of Geoinformation Products to Display the Results of Scientific Research (on the Example of Studying the Green Infrastructure of Brest to Assess Its Impact on the Formation of the Quality of the Urban Environment)	96
Oleg Shershnyov Regional Features of Water Use in the Republic of Belarus	106

БІАЛОГІЯ

УДК 577.175.1:581.143

Елена Георгиевна Артемук

канд. биол. наук, доц., доц. каф. химии

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Alena Artsiamuk

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Chemistry

at the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: artsiamuk@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ МЕДИ НА БОБОВЫЕ КУЛЬТУРЫ*

Представлены результаты изучения влияния brassinosteroidов (гомобрассинолида и эпикастастерона) на рост люпина узколистного и гороха посевного в условиях воздействия ионов меди. Показано, что гомобрассинолид и эпикастастерон обладают антистрессовым действием в условиях токсического действия меди на бобовые культуры, что выражается в снижении активности фермента антиоксидантной защиты – каталазы. Предобработка семян растений люпина и гороха brassinosteroidами, вероятно, способствует снижению повреждающего действия меди на растения, что указывает на их участие в развитии реакций, способствующих преадаптации растений к действию ионов меди.

Ключевые слова: brassinosteroids, homobrassinolide, epicastasterone, legumes, copper.

The Use of Brassinosteroids to Reduce Toxic Copper Action on Legumes

The article presents the results of studying the effect of brassinosteroids (homobrassinolide and epicastasterone) on the growth of the lupine narrow-leaved and pea seed under the conditions of impact of copper ions. It is shown that homobrassinolide and epicastasterone have an anti-stress action under the conditions of the toxic copper effect on legume crops, which is expressed in reducing the activity of the antioxidant protection enzyme – catalase. The preprocessing of seeds of lupine and pea plants with brassinosteroids probably contributes to a decrease in the damaging effect of copper on plants, which indicates their participation in the development of reactions that contribute to pre-adaptation of plants to the action of copper ions.

Key words: brassinosteroids, homobrassinolide, epicastasterone, legumes, copper.

Введение

Проблема повышения продуктивности сельскохозяйственных культур остается одной из важнейших в растениеводстве, и ее решение позволит значительно повысить продовольственную безопасность Беларуси. Дестабилизирующими факторами, не позволяющими в полной мере раскрыть потенциал районированных сортов, являются погодные условия, болезни растений и загрязнение среды. Увеличение техногенной нагрузки на биосферу ухудшает качество природной среды и нарушает существующие в природе связи, что приводит к местным, а иногда и глобальным изменениям, имеющим зачастую необратимый характер [1].

В последние десятилетия интенсивное промышленное использование природных ресурсов вызвало существенные изменения распределения некоторых химических элементов в поверхностном слое зоны аэрации. Прежде всего это касается тяжелых металлов, накопление высоких концентраций которых в естественной среде связано с антропогенной деятельностью. Выбросы и сбросы техногенных объектов с высоким содержа-

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка морфофизиологической и генетической активности brassinosteroidов и стероидных гликозидов для расширения спектра действия биорегуляторов растений стероидной природы» подпрограммы 2.3 «Биорегуляторы растений» ГПНИ «Химические технологии и материалы» (№ ГР 20160577 от 01.04.2016 г.).

нием тяжелых металлов аккумулируются в почвах, которые в значительной степени подвержены влиянию, обусловленному промышленной деятельностью человека [2].

Многие из тяжелых металлов относятся к эссенциальным химическим элементам, которые в следовых количествах необходимы для метаболизма, роста и развития растений, являясь составной частью различных ферментов. Они активно участвуют в метаболизме, но при избытке в среде могут проявлять сильное токсическое действие [3]. В связи с этим изучение реакции растений на действие тяжелых металлов вызывает не только большой научный, но и практический интерес. В последнее время активно исследуются поглощение, транспорт и аккумуляция тяжелых металлов в тканях и органах растений, их влияние на основные физиологические процессы, а также механизмы стресс-устойчивости растений.

Установлено, что в присутствии тяжелых металлов не только тормозятся рост и развитие растений, но и происходят многочисленные структурно-функциональные изменения в фотосинтетическом аппарате, нарушаются процессы дыхания, транспирации, транспорта веществ и т. д. В результате этого снижается продуктивность отдельных растений и целых фитоценозов, а иногда даже полностью разрушаются растительные сообщества [4–6].

Растения весьма чувствительны к повышенным концентрациям меди. Поскольку медь является токсичным, но необходимым для жизнедеятельности микроэлементом, растения должны, с одной стороны, доставлять этот элемент к нуждающимся в нем частям растения, а с другой – предотвращать его токсическое действие. Медь в растениях входит в состав пластоцианина, участвующего в фотосинтезе, и некоторых других медь-содержащих белков и окислительных ферментов [7]. Однако интервал концентраций меди, при которых этот металл не проявляет своего токсического действия, очень небольшой. Даже двукратное превышение оптимальных концентраций меди может вызвать негативное воздействие.

Растения накапливают медь в основном в корнях и в меньшей степени в листьях. Токсическое действие меди в повышенных концентрациях проявляется в снижении накопления фитомассы, уменьшении оводненности тканей и содержания хлорофилла, ингибировании поглощения ионов некоторых других металлов и их транслокации по растению. Высокие концентрации этого металла приводят к развитию металлотоксикозов (хлорозы, некрозы, ингибирование роста корней и побегов) вплоть до полной гибели растений.

В последние годы появляется большое количество публикаций, в которых обсуждается возможность модификации действия тяжелых металлов на культурные растения при применении регуляторов роста, в частности brassinosteroidов. Известно, что обработка растений БС способствует снижению повреждающего действия неблагоприятных факторов различной природы, что указывает на их участие в развитии реакций, способствующих преадаптации растений к возможным стрессовым ситуациям [8; 9].

Однако вопрос о механизме действия brassinosteroidов остается до конца не решенным и требует дальнейших углубленных исследований их участия в защите растений от засухи, засоления, полегания, токсического влияния тяжелых металлов.

Целью данной работы является изучение влияния brassinosteroidов (гомобрассинолида и эпикастастерона) на рост и антистрессовую устойчивость растений бобовых культур в условиях воздействия ионов меди.

Материалы и методы исследования

Для изучения влияния brassinosteroidов (гомобрассинолида и эпикастастерона) на рост и антистрессовую устойчивость бобовых культур в условиях воздействия ионов меди в качестве объектов исследования были выбраны бобовые (люпин узколистный

сорта Жодинский, горох посевной сорта Starter) культуры. Предварительно были определены оптимальные концентрации гомобрассинолида и эпикастастерона, оказывающие максимальное стимулирующее влияние на рост растений люпина и гороха.

Для оценки влияния brassinosteroidов (эпикастастерона и гомобрассинолида) на рост растений и активность фермента каталазы у люпина узколистного сорта Жодинский в условиях пороговой токсической концентрации ионов меди были использованы следующие варианты опыта:

- 1) дистиллированная вода (контроль);
- 2) эпикастастерон с концентрацией 10^{-6} % (предварительная обработка);
- 3) гомобрассинолид с концентрацией 10^{-6} % (предварительная обработка);
- 4) CuSO_4 с пороговой концентрацией 10^{-4} М;
- 5) CuSO_4 с концентрацией 10^{-4} М + эпикастастерон с концентрацией 10^{-6} % (предварительная обработка);
- 6) CuSO_4 с концентрацией 10^{-4} + гомобрассинолид с концентрацией 10^{-6} % (предварительная обработка).

Для оценки влияния brassinosteroidов (эпикастастерона и гомобрассинолида) на рост и активность фермента каталазы у гороха посевного сорта Starter в условиях пороговой токсической концентрации ионов меди были использованы следующие варианты опыта:

- 1) дистиллированная вода (контроль);
- 2) эпикастастерон с концентрацией 10^{-7} % (предварительная обработка);
- 3) гомобрассинолид с концентрацией 10^{-7} % (предварительная обработка);
- 4) CuSO_4 с пороговой концентрацией 10^{-4} М;
- 5) CuSO_4 с концентрацией 10^{-4} М + эпикастастерон с концентрацией 10^{-7} % (предварительная обработка);
- 6) CuSO_4 с концентрацией 10^{-4} М + гомобрассинолид с концентрацией 10^{-7} % (предварительная обработка).

Семена бобовых культур предварительно замачивали 6 часов в растворах brassinosteroidов (гомобрассинолида и эпикастастерона). На 10-е сутки проращивания семян проводили измерение длины корней и побегов, а также определяли массу 20 корней и побегов и определяли активность фермента каталазы в корнях и побегах проростков люпина узколистного и гороха посевного использованных вариантов опыта.

Устойчивость бобовых культур к ионам меди была установлена на основе показателя индекса толерантности (RTI) [10], который представляет собой отношение средней длины корней (побегов), либо массы опытных растений к средней длине корней (побегов), либо массы в контроле. Показатель RTI позволяет объективно судить об отзывчивости растений на воздействие ионов меди.

Определение активности каталазы в корнях и побегах люпина узколистного и гороха посевного проводили по методу М. А. Королюк [11], основанному на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что при использовании ионов меди в концентрации 10^{-4} М наблюдалось ингибирование роста корней и побегов у растений люпина узколистного. Длина корней уменьшалась на 38,6, а побегов – на 80,4 % (таблица 1). Соответственно, наблюдалось и снижение средней массы 20 корней и побегов.

Предварительная обработка семян гомобрассинолидом в концентрации 10^{-6} % приводила к увеличению длины корней и побегов у растений люпина узколистного на 13,0 и 28,5 % соответственно. Предварительная обработка семян эпикастастероном

в концентрации 10^{-6} % также приводила к увеличению длины корней и побегов у растенной люпина узколистного (на 20,8 и 34,2 % соответственно).

Таблица 1. – Влияние гомобрасинолида (ГБ) и эпикастастерона (ЭК) на длину корней, побегов и массу люпина узколистного сорта Жодинский при воздействии ионов меди

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	масса (20 шт), г	длина, мм	масса (20 шт), г
Контроль	33,8 ± 0,93	3,33 ± 0,07	62,9 ± 1,50	4,96 ± 0,07
Cu ²⁺ , 10 ⁻⁴ М	20,8 ± 0,58**	1,20 ± 0,01***	12,3 ± 0,54***	1,40 ± 0,07***
ГБ, 10 ⁻⁶ %	35,1 ± 0,67	3,36 ± 0,13	64,2 ± 1,55	4,85 ± 0,04
Cu ²⁺ , 10 ⁻⁴ М + ГБ, 10 ⁻⁶ %	23,5 ± 0,52*	1,24 ± 0,03	15,8 ± 0,46*	1,60 ± 0,05
ЭК, 10 ⁻⁶ %	33,4 ± 0,64	3,71 ± 0,14	70,4 ± 1,36*	5,20 ± 0,02*
Cu ²⁺ , 10 ⁻⁴ М + ЭК, 10 ⁻⁶ %	25,1 ± 0,56*	1,34 ± 0,05	16,5 ± 0,55*	1,59 ± 0,04

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$

Более высокий индекс толерантности отмечался и по длине, и по массе корней и побегов при предобработке семян люпина узколистного эпикастастероном (таблица 2).

Таблица 2. – Индекс толерантности люпина узколистного сорта Жодинский к влиянию ионов меди при воздействии гомобрасинолида (ГБ) и эпикастастерона (ЭК)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина	масса (20 шт)	длина	масса (20 шт)
Cu ²⁺ , 10 ⁻⁴ М	0,61	0,36	0,20	0,28
ГБ, 10 ⁻⁶ %	1,04	1,01	1,02	0,98
Cu ²⁺ , 10 ⁻⁴ М + ГБ, 10 ⁻⁶ %	0,69	0,37	0,25	0,32
ЭК, 10 ⁻⁶ %	0,99	1,11	1,12	1,05
Cu ²⁺ , 10 ⁻⁴ М + ЭК, 10 ⁻⁶ %	0,74	0,40	0,26	0,32

Значительная роль в стрессовых ответных реакциях на воздействия неблагоприятных факторов среды (в частности, тяжелых металлов) принадлежит свободнорадикальным реакциям, связанным с участием кислородных радикалов. Клетки защищаются от активных форм кислорода с помощью антиоксидантов. К основным антиоксидантным ферментам относятся супероксиддисмутаза, каталаза и пероксидаза. Их синтез индуцируется в ответ на повышение уровня свободных радикалов [12; 13]. Основные функции в регуляторной деятельности клетки выполняют пероксидаза и каталаза, обеспечивающие нормальный ход окислительных процессов при различного рода неблагоприятных воздействиях [14; 15]. Одно из проявлений защитных реакций растений в условиях стресс-факторов – это возрастание активности пероксидазы и каталазы.

В опытах с люпином узколистным ионы меди в концентрации 10^{-4} М приводили к увеличению активности каталазы. Так, активность каталазы в корнях увеличивалась на 11,9, а в побегах – на 3,4 % (рисунок 1). Предварительная обработка семян люпина узколистного гомобрасинолидом приводила к понижению активности каталазы (в корнях – на 11,8, в побегах – на 3,3 %). Предобработка эпикастастероном также приводила к уменьшению активности каталазы в корнях на 18,7 %.

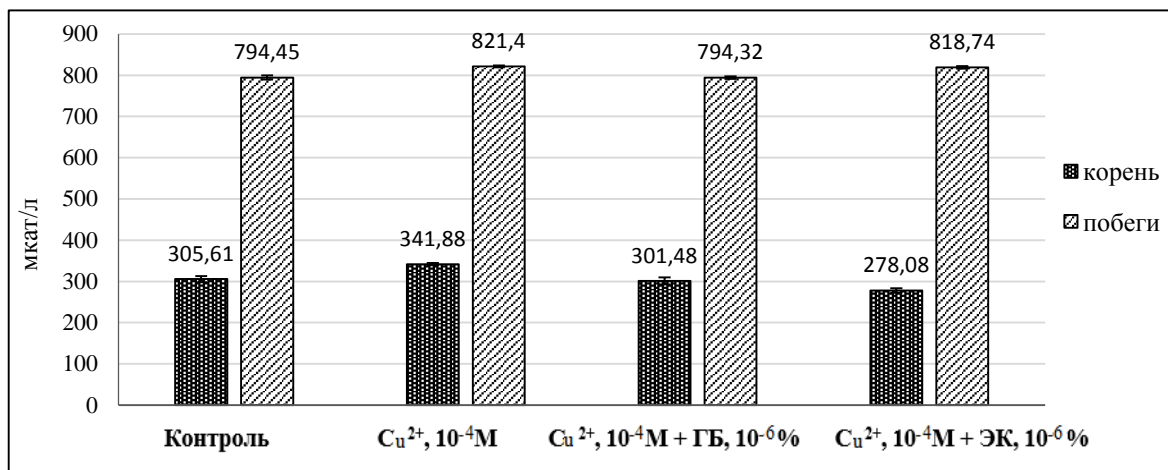


Рисунок 1. – Активность каталазы в проростках люпина узколистного сорта Жодинский в присутствии ионов меди

У гороха посевного при использовании меди в концентрациях 10^{-4} М также наблюдалось сильное ингибирование роста корней и побегов. Длина корней уменьшалась на 49,4, а побегов – на 82,3 % (таблица 3). Соответственно наблюдалось и снижение средней массы 20 корней и побегов. Предварительная обработка семян гомобрассинолидом в концентрации 10^{-7} % приводила к увеличению длины побегов на 32,4 %. При предварительной обработке семян эпикастастероном в концентрации 10^{-7} % длина корней и побегов у растений гороха посевного увеличивалась на 16,8 и 89,3 % соответственно (таблица 3).

Таблица 3. – Влияние гомобрассинолида (ГБ) и эпикастастерона (ЭК) на длину корней, побегов и массу гороха посевного сорта Стартер при воздействии ионов меди

Вариант опыта	Корни		Побеги	
	длина, мм	масса (20 шт), г	длина, мм	масса (20 шт), г
Контроль	59,8 ± 1,34	3,51 ± 0,07	59,7 ± 0,84	3,19 ± 0,09
$\text{Cu}^{2+}, 10^{-4} \text{ M}$	30,3 ± 0,79***	0,74 ± 0,04***	10,6 ± 0,29***	0,58 ± 0,01***
ГБ, 10^{-7} %	60,3 ± 0,89	3,59 ± 0,20	44,4 ± 0,83***	2,50 ± 0,18*
$\text{Cu}^{2+}, 10^{-4} \text{ M} + \text{ГБ}, 10^{-7} \%$	30,5 ± 0,58	1,03 ± 0,03*	13,9 ± 0,43**	0,67 ± 0,03
ЭК, 10^{-7} %	61,7 ± 1,16	3,67 ± 0,15	54,9 ± 1,12*	2,62 ± 0,14*
$\text{Cu}^{2+}, 10^{-4} \text{ M} + \text{ЭК}, 10^{-7} \%$	35,3 ± 0,70*	1,36 ± 0,05**	19,9 ± 0,55***	0,93 ± 0,07*

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$

У растений гороха посевного более высокий индекс толерантности по длине и массе корней и побегов наблюдался при предварительной обработке растений эпикастастероном (таблица 4).

Таким образом, эпикастастерон в большей степени повышал устойчивость растений гороха посевного сорта Стартер к воздействию ионов меди.

Таблица 4. – Индекс толерантности гороха посевного сорта Стартер к влиянию ионов меди при воздействии гомобрасинолида (ГБ) и эпикастастерона (ЭК)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина	масса (20 шт)	длина	масса (20 шт)
Cu^{2+} , 10^{-4} М	0,51	0,21	0,18	0,18
ГБ, 10^{-7} %	1,01	1,02	0,74	0,78
Cu^{2+} , 10^{-4} М + ГБ, 10^{-7} %	0,51	0,29	0,23	0,21
ЭК, 10^{-7} %	1,03	1,05	0,92	0,82
Cu^{2+} , 10^{-4} М + ЭК, 10^{-7} %	0,59	0,39	0,33	0,29

Установлено, что при воздействии ионов меди в концентрации 10^{-4} М наблюдалось увеличение активности каталазы в проростках гороха посевного (корни на 18,6, а побеги – на 5,1 %) (рисунок 2). Предварительная обработка семян гороха посевного гомобрасинолидом приводила к незначительному снижению активности каталазы лишь в побегах (на 2,2 %). Предобработка эпикастастероном приводила к снижению активности каталазы (в корнях на 15,1, в побегах – на 2,6 %).

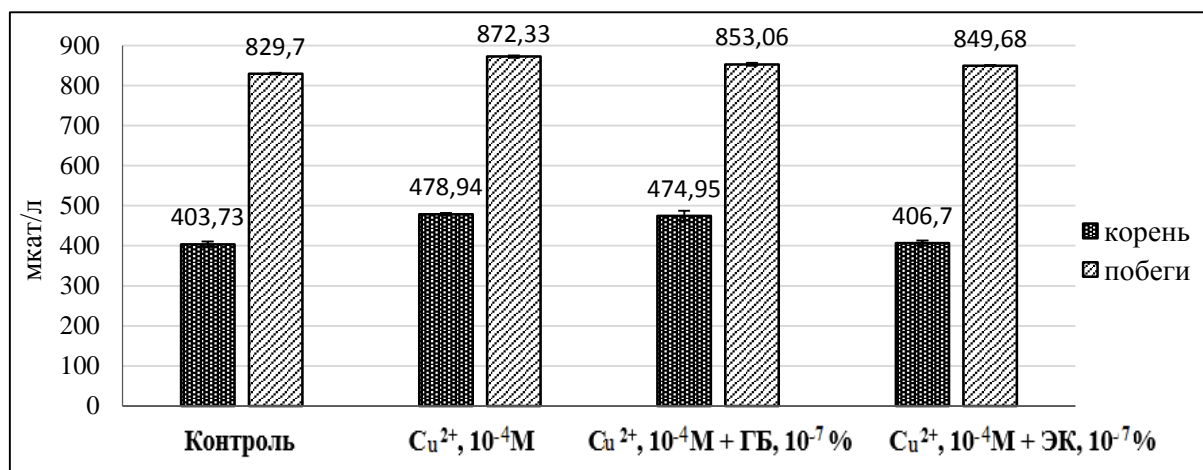


Рисунок 2. – Активность каталазы в проростках гороха посевного сорта Стартер в присутствии ионов меди

Заклучение

Высокая концентрация ионов меди (10^{-4} М) приводит к значительному уменьшению длины корней и побегов у люпина узколистного и гороха посевного, а также к морфологическим изменениям корней (скрюченности и пожелтению), т. к. корень выступает одним из первых барьеров на пути проникновения ионов тяжелых металлов в растения. Анализ индекса толерантности исследуемых культур показал, что использование брасиностероидов (гомобрасинолида и эпикастастерона) в оптимальных концентрациях (10^{-6} % для люпина и 10^{-7} % для гороха) позволяет повысить устойчивость бобовых культур к действию ионов меди.

В растениях бобовых культур (люпин и горох) под воздействием ионов меди увеличивается активность каталазы, которая является одним из важнейших механизмов защиты в условиях токсичного действия ионов тяжелых металлов. Гомобрасинолид и эпикастастерон обладает антистрессовым действием в условиях токсического действия

меди на бобовые культуры, что выражается в снижении активности фермента антиоксидантной системы – каталазы. Предобработка семян растений люпина и гороха брассиностероидами, вероятно, способствует снижению повреждающего действия меди на растения, что указывает на их участие в развитии реакций, способствующих преадаптации растений к действию ионов меди.

Таким образом, изменения биохимических процессов в клетках, происходящие под действием ионов меди, в определенной степени могут быть нивелированы действием брассиностероидов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романенко, А. А. Оценка и экологическое обоснование комплексных приемов коррекции поллютантов в системе «почва – растение – животное»: автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.08 / А. А. Романенко ; Брян. гос. с.-х. акад. – Брянск, 2010. – 21 с.
2. Сердюкова, А. Ф. Последствия загрязнения почвы тяжелыми металлами / А. Ф. Сердюкова, Д. А. Барабанщиков // Молодой ученый. – 2017. – № 51. – С. 131–135.
3. Титов, А. Ф. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам : учеб. пособие / А. Ф. Титов, Н. М. Казнина, В. В. Таланова. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2011. – 77 с.
4. Титов, А. Ф. Тяжелые металлы и растения / А. Ф. Титов, Н. М. Казнина, В. В. Таланова. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2014. – 194 с.
5. Ильин, В. Б. Влияние тяжелых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / В. Б. Ильин, Г. А. Гармаш, Н. Ю. Гармаш // Агрехимия. – 1985. – № 6. – С. 90–100.
6. Рубин, Б. А. Физиология и биохимия дыхания растений / Б. А. Рубин, М. Е. Ладыгина. – М. : Изд-во МГУ, 1974. – 512 с.
7. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 148 с.
8. Лахвич, Ф. А. Синтез брассиностероидов – нового класса гормонов растений / Ф. А. Лахвич, В. А. Хрипач, В. Н. Жабинский // Успехи химии. – 1991. – № 6. – С. 128–131.
9. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Навука і тэхніка. – 1993. – 287 с.
10. Antunes, A. M. Sczeening cultivars for aluminium tolerance / A. M. Antunes, J. Pereira, M. A. Nunes // *Triticale: Today and Tomozow*. – Kluwer Academic Publishers. – 1996. – P. 445–452.
11. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк [и др.] // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
12. Перекисное окисление и стресс / В. А. Барабой [и др.]. – СПб. : Наука, 1992. – 148 с.
13. Мерзляк, М. Н. Активированный кислород и жизнедеятельность растений / М. Н. Мерзляк // Сорос. образоват. журн. – 1999. – № 9. – С. 20–26.
14. Николаевский, В. С. Эколого-физиологические основы газовой устойчивости растений : учеб. пособие / В. С. Николаевский. – М. : МЛТИ, 1989. – 64 с.
15. Рахманкулова, З. Ф. Энергетический баланс целого растения в норме и при неблагоприятных внешних условиях среды / З. Ф. Рахманкулова // Журн. общ. биологии. – 2002. – Т. 63, № 3. – С. 239–248.

REFERENCES

1. Romanienko, A. A. Ocenka i ekologichieskoje obosnovanije kompleksnykh prijomov korriekcii polliutantov v sistiemie «pochva – rastienije – zhivotnoje»: avtorief. dis. ... d-ra biol. nauk : 03.02.08 / A. A. Romanienko ; Brian. gos. s.-kh. akad. – Briansk, 2010. – 21 s.
2. Sierdiukova, A. F. Posljedstvija zagriaznienija pochvy tiazholymi mietallami / A. F. Sierdiukova, D. A. Barabanshchikov // Molodoj uchionyj. – 2017. – № 51. – S. 131–135.
3. Titov, A. F. Fiziologichieskije osnovy ustojchivosti rastienij k tiazholym mietallam : uchieb. posobije / A. F. Titov, N. M. Kaznina, V. V. Talanova. – Pietrozavodsk : Kariel. nauch. centr RAN, 2011. – 77 s.
4. Titov, A. F. Tiazholyje mietally i rastienija / A. F. Titov, N. M. Kaznina, V. V. Talanova. – Pietrozavodsk : Kariel. nauch. centr RAN, 2014. – 194 s.
5. Il'in, V. B. Vlijanije tiazholyh mietallov na rost, razvitije i urozhajnost' siel'skohoziastviennykh kul'tur / V. B. Il'in, G. A. Garmash, N. Yu. Garmash // Agrokhimija. – 1985. – № 6. – S. 90–100.
6. Rubin, B. A. Fiziologija i biokhimija dykhanija rastienij / B. A. Rubin, M. Ye. Ladygina. – M. : Izd-vo MGU, 1974. – 512 s.
7. Il'in, V. B. Tiazholyje mietally v sistiemie pochva – rastienije / V. B. Il'in. – Novosibirsk : Nauka, 1991. – 148 s.
8. Lakhvich, F. A. Sintez brassinosteroidov – novogo klassa gormonov rastienij / F. A. Lakhvich, V. A. Khripach, V. N. Zhabinskij // Uspiekhii khimii. – 1991. – № 6. – S. 128–131.
9. Khripach, V. A. Brassinosteroidy / V. A. Khripach, F. A. Lahvich, V. N. Zhabinskij. – Minsk : Navuka i tekhnika. – 1993. – 287 s.
10. Antunes, A. M. Sczeening cultivars for aluminium tolerance / A. M. Antunes, J. Pereira, M. A. Nunes // Triticale: Today and Tomozzow. – Kluwer Academic Publishers. – 1996. – P. 445–452.
11. Mietod opriedielienija aktivnosti katalazy / M. A. Koroliuk [i dr.] // Lab. dielo. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
12. Pieriekisnoje okislienije i stress / V. A. Baraboj [i dr.]. – SPb. : Nauka, 1992. – 148 s.
13. Mierzliak, M. N. Aktivirovannyj kislorod i zhizniediejatel'nost' rastienij / M. N. Mierzliak // Soros. obrazovat. zhurn. – 1999. – № 9. – S. 20–26.
14. Nikolajevskij, V. S. Ekologo-fiziologichieskije osnovy gazovoj ustojchivosti rastienij : uchieb. posobije / V. S. Nikolajevskij. – M. : MLTI, 1989. – 64 s.
15. Rakhmankulova, Z. F. Energietichieskij balans celogo rastienija v normie i pri nieblagoprijatnykh vniesnikh uslovijakh sriedy / Z. F. Rakhmankulova // Zhurn. obshch. biologii. – 2002. – T. 63, № 3. – S. 239–248.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 14.06.2021

УДК 594.38:577.124 (476.5)

**Ольга Михайловна Балаева-Тихомирова¹,
Екатерина Иосифовна Кацнельсон², Ольга Викторовна Латышева³**
¹канд. биол. наук, доц., зав. каф. химии и естественнонаучного образования
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
²преподаватель каф. химии и естественнонаучного образования
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
³магистрант факультета химико-биологических и географических наук
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
Olga Balaeva-Tikhomirova¹, Yekaterina Katsnelson², Olga Latysheva³
¹PhD (Biology), Head of the Department of Chemistry and Natural Science Education
of Vitebsk State University named after P. M. Masherova
²Lecturer of the Department of Chemistry and Natural Science Education
of Vitebsk State University named after P. M. Masherova
³Master's Degree Student of the Faculty of Chemical, Biological and Geographical Sciences
of Vitebsk State University named after P. M. Masherova
e-mail: kate_kaznelson@tut.by

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ГЛЮКОЗЫ И ГЛИКОГЕНА В ТКАНЯХ ЛЕГОЧНЫХ ПРЭСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ, ОБИТАЮЩИХ В ВОДОЕМАХ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

*В ходе изучения и оценки динамики содержания глюкозы и гликогена в тканях пресноводных гидробионтов, обитающих в водоемах Витебской области, выполнен комплекс экспериментальных исследований, результаты которых позволяют сделать выводы о наличии в тканях моллюсков развитых физиологических систем поддержания углеводного гомеостаза. Предполагается, что сезонные изменения в содержании глюкозы и гликогена являются защитным механизмом в адаптации *L. stagnalis* и *Pl. corneus* к околонулевым температурам.*

Ключевые слова: легочные моллюски, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, содержание глюкозы и гликогена, углеводный обмен.

Dynamics of Glucose and Glycogen Content in the Tissues of Lung Freshwater Mollusks Living in the Reservoirs of the Vitebsk Region

*In the course of studying and evaluating the dynamics of glucose and glycogen content in the tissues of freshwater hydrobionts living in the reservoirs of the Vitebsk region, the authors performed a set of experimental studies, the results of which allow us to draw conclusions about the presence of developed physiological systems for maintaining carbohydrate homeostasis in the tissues of mollusks. It is assumed that seasonal changes in glucose and glycogen content are a protective mechanism in the adaptation of *L. stagnalis* and *Pl. corneus* to nearzero temperatures.*

Key words: lung mollusks, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, glucose and glycogen content, carbohydrate metabolism.

Введение

Углеводы относятся к основным структурным и метаболическим соединениям в живом организме. Основным резервным веществом у животных является гликоген, который откладывается в клетках печени и при необходимости может с высокой скоростью расщепляться до глюкозы [1]. Согласно физиологическим особенностям [2] гликоген накапливается в осенний сезон перед впадением моллюсков в анабиоз и расщепляется в весенний период, когда животные выходят из анабиоза и испытывают стресс из-за недостатка кормовой базы и перепада температур, что является важным механизмом реализации глюкостатической функции этим органом.

Устойчивость моллюсков к неблагоприятным условиям, связанным со сменой сезона года, объясняется спецификой протекания реакций углеводного обмена. Установлено, что в основе краткосрочных адаптаций лежат механизмы анаэробного использования гликогена тканями моллюсков, сопровождающиеся резким снижением интенсивности обменных процессов [2].

Основными показателями углеводного обмена является концентрация глюкозы и гликогена. Изменение содержания глюкозы в гемолимфе зависит от мощности и продолжительности воздействия неблагоприятных факторов на организм. Кратковременные воздействия максимальной интенсивности могут вызывать повышение содержания глюкозы в гемолимфе за счет усиленной мобилизации гликогена печени. Длительное воздействие неблагоприятных факторов приводит к снижению содержания глюкозы в гемолимфе [3].

Среди пресноводных моллюсков наиболее удобными объектами для биохимических и физиологических исследований являются обыкновенный прудовик и катушка роговая в связи с их доступностью, несложностью идентификации и наличием литературы для анализа полученных данных. Моллюски являются высокочувствительными к загрязнению вод тяжелыми металлами и играют ведущую роль в аккумуляции и переносе химических веществ в водоемах.

Цель работы – исследовать динамику ключевых показателей углеводного обмена тканей легочных пресноводных моллюсков в зависимости от сезона года и местообитания.

Материал и методы исследования

При проведении исследований использовались два вида легочных пресноводных моллюсков – прудовик обыкновенный (*Lymnaea stagnalis*) и катушка роговая (*Planorbarius corneus*). Исследования проводились на 216 легочных пресноводных моллюсках, разделенных на две группы: 108 особей *Lymnaea stagnalis* и 108 особей *Planorbarius corneus*. Моллюски собирались из водоемов четырех районов Витебской области (таблица 1). В каждой исследовательской подгруппе содержалось по 9 моллюсков. Сбор осуществлялся в осенний (октябрь), весенний (апрель) и летний (июль) сезоны. Особи собирались вручную.

Таблица 1. – Места сбора моллюсков

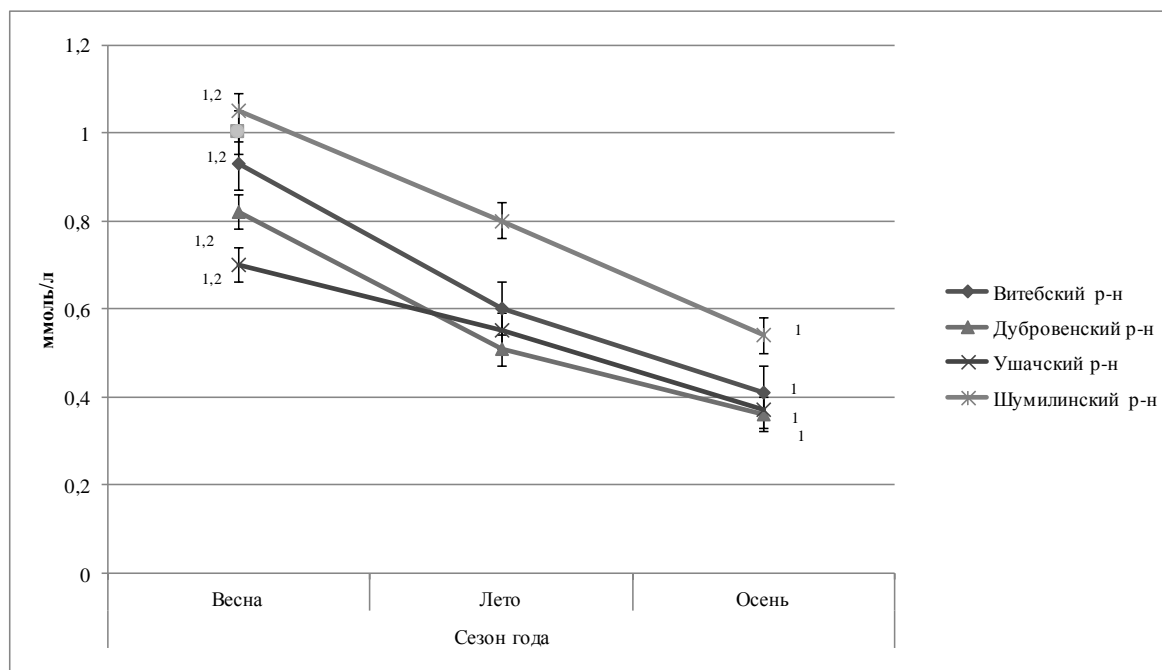
Место сбора
р. Витьба (г. Витебск)
оз. Афанасьевское (д. Шеки, Дубровенский р-н)
оз. Дубровское (д. Дубровка, Ушачский р-н)
оз. Будовесть (а/г Башни, Шумилинский р-н)

Определение глюкозы в гемолимфе проводили глюкозооксидазным методом с использованием набора реагентов НТПК «Анализ Х» [4]. Определение концентрации гликогена в гепатопанкреасе проводиле методом Krisman [5].

Результаты и их обсуждение

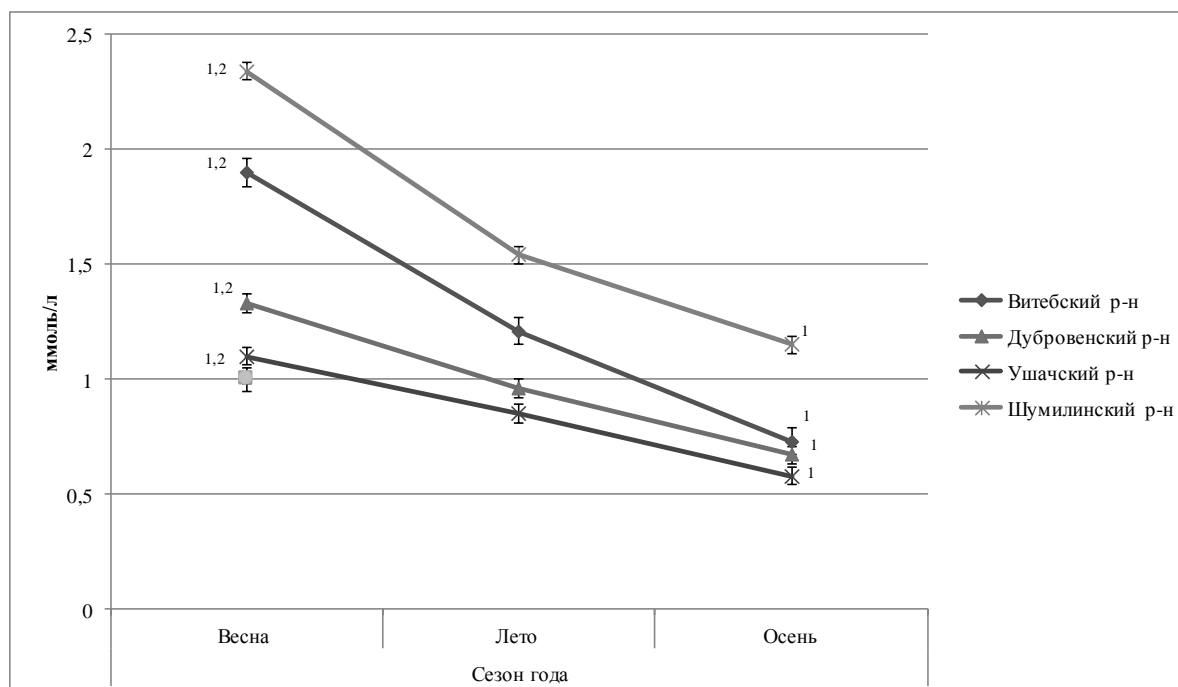
Для объективного биомониторинга с использованием живых объектов необходимо учитывать сезонные изменения в показателях метаболизма, поэтому актуальным является определение динамики ключевых показателей углеводного обмена у двух видов моллюсков, отличающихся типом транспорта кислорода, с последующей оценкой различий в антропогенном влиянии, обусловленных местом обитания. Моллюски, обитающие в водоемах Витебской области, характеризовались следующей динамикой содержания

глюкозы в гемолимфе и гликогена в гепатопанкреасе в зависимости от времени года, местообитания и молекулярных механизмов транспорта кислорода (рисунки 1–4).



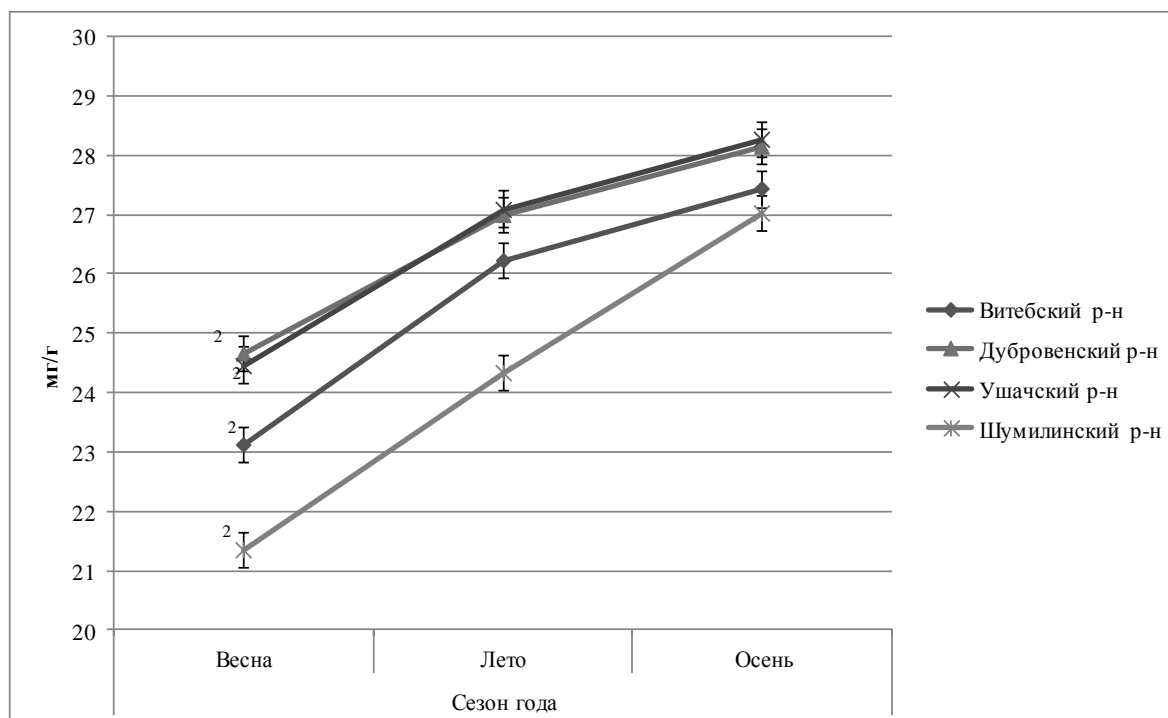
Примечание – 1 – $p < 0,05$ по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; 2 – $p < 0,05$ по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков

Рисунок 1. – Сезонная динамика содержания глюкозы в гемолимфе *L. stagnalis*, обитающих в водоемах Витебской области, ммоль/л



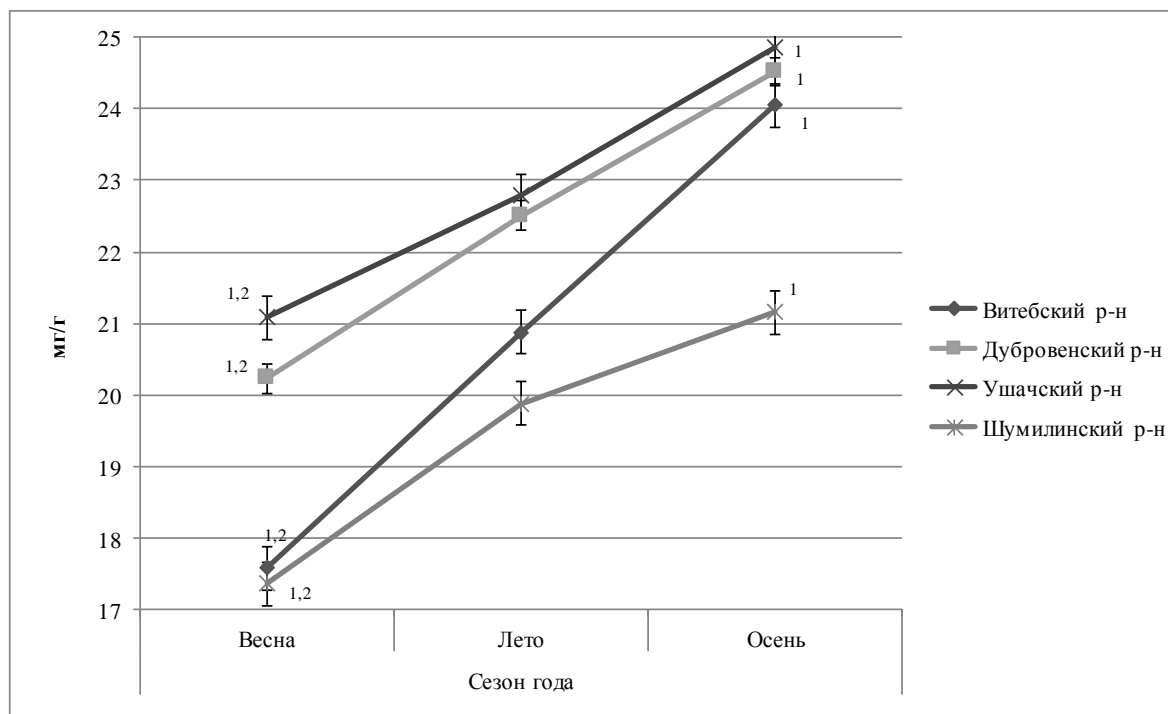
Примечание – 1 – $p < 0,05$ по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; 2 – $p < 0,05$ по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков

Рисунок 2. – Сезонная динамика содержания глюкозы в гемолимфе *Pl. corneus*, обитающих в водоемах Витебской области, ммоль/л



Примечание – 1 – $p < 0,05$ по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; 2 – $p < 0,05$ по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков

Рисунок 3. – Сезонная динамика содержания гликогена в гепатопанкреасе *L. stagnalis*, обитающих в водоемах Витебской области, мг/г



Примечание – 1 – $p < 0,05$ по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; 2 – $p < 0,05$ по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков

Рисунок 4. – Сезонная динамика содержания гликогена в гепатопанкреасе *Pl. corneus*, обитающих в водоемах Витебской области, мг/г

У моллюсков из р. Витьба (Витебский р-н) отмечается следующая динамика в содержании показателей углеводного обмена: по сравнению с летним периодом сбора в гемолимфе катушки роговой и прудовика обыкновенного содержание глюкозы в весенний период повышено в 1,5 и 1,6 раз соответственно. По сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* и *L. stagnalis* содержание глюкозы в осенний период снижено в 1,6 и 1,5 раза соответственно. По сравнению с осенним периодом концентрация глюкозы в гемолимфе катушки роговой и прудовика обыкновенного в весенний период повышена в 2,5 и 2,3 раза соответственно.

По сравнению с летним периодом сбора в гепатопанкреасе катушки роговой содержание гликогена в весенний период снижено в 1,2 раза. По сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* повышено содержание гликогена в осенний период в 1,2 раза.

По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в 1,4 раза. При сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* не обнаружено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза.

Особенности углеводного обмена легочных пресноводных моллюсков связаны с физиологическими особенностями, а также с экологическими характеристиками исследуемых водоемов и их прибрежных зон. Река Витьба имеет выраженные признаки антропогенного воздействия. Наличие на ее берегах зон отдыха усугубляет это воздействие. На берегах и в воде реки можно наблюдать много мусора. На дне реки обнаружен черный ил, что свидетельствует о большом количестве в воде органических веществ. Вода имеет желтоватый оттенок и легкий болотный запах, что является начальными признаками эвтрофикации водоема.

У моллюсков из оз. Афанасьевское (Дубровенский р-н) зафиксированы следующие сезонные изменения в содержании глюкозы: по сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* и *L. stagnalis* содержание глюкозы в весенний период в повышено 1,3 и 1,6 раза соответственно. По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой и прудовика обыкновенного содержание глюкозы в осенний период снижено в 1,4 и 1,5 раза соответственно. По сравнению с осенним периодом концентрация глюкозы в гемолимфе у катушки роговой и прудовика обыкновенного в весенний период повышена в 2 и 1,9 раза соответственно.

При сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* не обнаружено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза. По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой в содержании гликогена в весенний и осенний периоды статистически значимых отличий не установлено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в Дубровенском р-не (в 1,2 раза). В результате отмечена следующая динамика: концентрация глюкозы в гемолимфе уменьшается в последовательности весна > лето > осень, а гликогена – в обратной: осень > лето > весна.

Озеро Афанасьевское (Дубровенский р-н) подвергается сильной антропогенной нагрузке, так как используется для мелиорации земель, что приводит к загрязнению воды и береговой зоны водоема.

У моллюсков из оз. Дубровское (Ушачский р-н) отмечается следующая динамика содержания показателей углеводного обмена: по сравнению с летним периодом сбора

у прудовика обыкновенного и катушки содержание глюкозы в весенний период повышено в 1,3 раза. По сравнению с летним периодом сбора в гемолимфе двух видов моллюсков содержание глюкозы в осенний период понижено в 1,5 раза. По сравнению с осенним периодом содержание глюкозы у прудовика обыкновенного в весенний период получены статистически значимые отличия: в 1,9 и 2 раза соответственно.

При сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *L. stagnalis* не обнаружено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза. По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой в содержании гликогена в весенний и осенний периоды статистически значимых отличий не установлено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в Ушачском р-не в (1,2 раза).

Озеро Дубровское находится далеко от крупных промышленных центров и крупных автомагистралей, отличается чистой водой, лишенной вредных примесей.

У моллюсков из оз. Будовесь (Шумилинский р-н) зафиксированы следующие сезонные изменения в содержании глюкозы: по сравнению с летним периодом сбора у прудовика обыкновенного и катушки роговой содержание глюкозы в весенний период повышено в 1,3 и 1,5 раза соответственно.

По сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* и *L. stagnalis* содержание глюкозы в осенний период понижено в 1,4 и 1,5 раза соответственно. По сравнению с осенним периодом содержание глюкозы у прудовика обыкновенного и катушки роговой в весенний период получены статистически значимые отличия – в 1,9 и 2 раза соответственно.

По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой в содержании гликогена в весенний и осенний периоды статистически значимых отличий не установлено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в Шумилинском р-не (1,2 раза). При сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *L. stagnalis* не обнаружено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза.

Озеро Будовесь (Шумилинский р-н) подвергается слабой антропогенной нагрузке, так как не используется в промышленных и сельскохозяйственных целях и в него не осуществляется сброс сточных вод.

Наиболее высокое содержание глюкозы в гемолимфе легочных пресноводных моллюсков наблюдается в оз. Будовесь (Шумилинский р-н), наименьшее – в оз. Дубровское. Сходные закономерности сохраняются и на межвидовом уровне.

Содержание гликогена в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного повышено по сравнению с катушкой роговой; данная закономерность связана с более высокой скоростью накопления гликогена и более высокой степенью приспособления к неблагоприятным факторам среды.

При изучении сезонной динамики содержания глюкозы в гемолимфе двух видов моллюсков установлено, что максимальная концентрация глюкозы фиксируется в весенний период сбора из-за распада гликогена, после выхода из анабиоза, а минимальная – в осенний период в связи с его накоплением перед впадением в анабиоз.

При изучении сезонной динамики содержания гликогена в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного были выявлены следующие закономерности: весной наблюдается низкое содержание гликогена в связи с его использованием как энергетического ресурса, а затем (в осенний период) происходит его накопление перед входом в состояние анабиоза.

Заклучение

Устаноўлена, што змяненні канцэнтрацыі глюкозы в гемолимфе сопряжены с изменением содержания гликогена в гепатопанкреасе моллюсков. Наиболее высокое содержание глюкозы в гемолимфе легочных пресноводных моллюсков наблюдается в оз. Будовесть (Шумилинский р-н), наименьшее – в оз. Дубровское (Ушачский р-н). Содержание гликогена в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного по сравнению с катушкой роговой повышено; это может быть связано с более высокой скоростью накопления гликогена и более высокой степенью приспособления к факторам среды.

Содержание глюкозы в гемолимфе снижается к осеннему периоду из-за распада гликогена весной (после выхода из анабиоза) с последующим его накоплением осенью. Сезонная динамика содержания глюкозы в гемолимфе катушки роговой подвергается таким же закономерностям, как и у прудовика обыкновенного. При изучении сезонной динамики содержания гликогена в гепатопанкреасе двух видов моллюсков были выявлены следующие закономерности: весной наблюдается низкое содержание гликогена в связи с его использованием как энергетического ресурса, а затем происходит его накопление в осенний период перед входом в состояние анабиоза.

Сезонный характер изменения у моллюсков сохраняется во всех исследуемых водоемах; содержание глюкозы и гликогена не изменяется в зависимости от местообитания, что может быть связано с высокой устойчивостью моллюсков к внешним неблагоприятным факторам среды. Установлены различия в исследуемых показателях на межвидовом уровне: уровень глюкозы и гликогена у *Planorbarius corneus* по сравнению с *Lymnaea stagnalis* выше.

Таким образом, динамика содержания показателей углеводного обмена зависит особенностей физиологических процессов и местообитания, но не зависит от вида моллюсков и типа транспорта кислорода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Central regulation of glucose homeostasis / A. Tups [et al.] // *Comp. Physiol. C.* – 2017. – Vol. 7. – P. 741–764.
2. Каранова, М. В. Сезонные изменения содержания свободных редуцирующих углеводов жидкостей тела пресноводного моллюска *Lymnaea stagnalis* / М. В. Каранова // *Изв. Рос. акад. наук. Сер. биол.* – 2006. – № 4. – С. 470–475.
3. Шаденко, В. Н. Индукция экспериментальной гипергликемии у моллюска *Lymnaea stagnalis* при инкубации животных в высококонцентрированном растворе глюкозы / В. Н. Шаденко, А. В. Сидоров // *Журн. Белорус. гос. ун-та. Биология.* – 2019. – № 1. – С. 79–84.
4. Чикин, А. А. Липидный обмен / А. А. Чиркин, Э. А. Доценко, Г. И. Юпатов. – М.: Мед. лит., 2003. – 122 с.
5. Krisman, C. R. A method for the colometric estimation of glycogen with iodine / C. R. Krisman // *Anal. Biochem.* – 1962. – Vol. 4. – P. 17–23.

REFERENCES

1. Central regulation of glucose homeostasis / A. Tups [et al.] // *Comp. Physiol. C.* – 2017. – Vol. 7. – P. 741–764.
2. Karanova, M. V. Siezonnyje izmienienija sodierzhanija svobodnykh rieducirujushchikh uglievodov zhidkostej tiela priesnovodnogo molliuska *Lymnaea stagnalis* / M. V. Karanova // *Izv. Ros. akad. nauk. Sier. biol.* – 2006. – № 4. – S. 470–475.

3. Shadienko, V. N. Indukcija eksperymental'noj giperglikiemii u molliuska *Lymnaea stagnalis* pri inkubacii zhivotnykh v vysokokontsentririvannom rastvorie gliukozy / V. N. Shadienko, A. V. Sidorov // Zhurn. Bielorus. gos. un-ta. Biologija. – 2019. – № 1. – S. 79–84.

4. Chirkin, A. A. Lipidnyj obmien / A. A. Chirkin, E. A. Docenko, G. I. Yupatov. – M. : Mied. lit., 2003. – 122 s.

5. Krisman, C. R. A method for the colometric estimation of glycogen with iodine / C. R. Krisman // Anal. Biochem. – 1962. – Vol. 4. – P. 17–23.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 04.05.2021

УДК 574.4:539.163:51-76

**Сергей Александрович Калининко¹, Роман Алексеевич Ненашев²,
Александр Николаевич Никитин³**

¹канд. биол. наук, ведущий науч. сотрудник отдела радиационно-экологического мониторинга
Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

²ст. науч. сотрудник отдела радиационно-экологического мониторинга
Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

³канд. с.-х. наук, зав. лабораторией радиоэкологии, зам. директора по научной работе
Института радиобиологии Национальной академии наук Беларуси

Sergey Kalinichenko¹, Roman Nenashev², Aleksandr Nikitin³

¹PhD (Biology), Leading researcher of the Department of Radioecological monitoring of State Environmental Research Institution «Polesye State Radiation-Ecological Reserve»

²Senior researcher of the Department of Radioecological monitoring
of State Environmental Research Institution «Polesye State Radiation-Ecological Reserve»

³PhD (Agriculture), Deputy Director for scientific, Work head of the laboratory
of Radioecology of State Scientific Institution «Institute of Radiobiology
of the National Academy of Sciences of Belarus»

[e-mail: s-a-k@list.ru](mailto:s-a-k@list.ru)

ЛАТЕРАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ПОЧВЕ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ

Изучены особенности латерального распределения ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am в верхнем слое почвы различных биогеоценозов на территории зоны отчуждения ЧАЭС. Было установлено, что наименьшими коэффициентами вариации количества ¹³⁷Cs в верхнем слое почвы отличался сосновый лес (V = 25,7 %), а наибольшими – березняк (V = 27,4 %). Это связано с различиями лесорастительных условий и режимов увлажнения. Наиболее высокая изменчивость содержания в верхнем слое почвы в лесных биогеоценозах характерна для ⁹⁰Sr (V = 48,3–75,2 %). Промежуточное положение в варьировании содержания ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²⁴¹Am в почве наблюдается на залежном лугу, что зависит от структуры сформированного сообщества и отсутствия древесного яруса. В биогеоценозе со значительным для белорусского Полесья перепадом высот (15,1 м) больше всего в верхнем слое почвы также изменяется содержание ⁹⁰Sr (V = 51,9 %), меньше всего варьирует содержание ¹³⁷Cs (21,6 %). Обнаружено снижение значений коэффициента вариации (V) со временем, прошедшим после аварии. Подтверждается логнормальный характер распределения в почве радионуклидов чернобыльских выпадений.

Ключевые слова: латеральная миграция, почва, коэффициент вариации, радионуклиды.

Lateral Migration of Radionuclides of the Chernobyl Origin in the Soil of Exclusion Zone

The features of the lateral distribution of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am in the upper soil layer of various biogeocenoses in the territory of exclusion zone of the CNPP are studied. Established, that smallest coefficients of the variation of the quantity of the radionuclides ¹³⁷Cs in the soil differed the pine forest (V=25,7 %), and the greatest birch forest (V = 27,4 %). It is connected with distinctions of forest vegetation conditions and modes of moistening. The big variability of contents in the upper soil layer in forest biogeocenoses belongs ⁹⁰Sr (V = 48,3– 75,2 %). The intermediate position in change of quantity ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am in the soil is observed on former agricultural lands that depends on structure of the created community and lack of forest. In the biogeocenosis situated on the site with a significant for Belarusian Polesye difference in height (15,1 m) the activity of ⁹⁰Sr in the upper soil layer changes with a greater extent and has the coefficient of variation 51,9 %. Variability of ¹³⁷Cs activity in the soil is much less (V = 21,6 %).

Key words: lateral redistribution, soil, coefficient of variation, radionuclides.

Введение

Особенностью поставившейся ситуации, сложившейся на загрязненных территориях вследствие аварии на ЧАЭС, является высокая степень гетерогенности радиоактивных веществ, выброшенных из аварийного блока, по радионуклидному составу и физико-

химическим формам, миграционной среды и пространственного распределения радионуклидов на загрязненной территории. В настоящее время неоднородность распределения радионуклидов обусловлена вторичными процессами, связанными с горизонтальным переносом в пределах элементарных ландшафтов. Следовательно, радиоэкологическая обстановка загрязненных радионуклидами территорий определяется не только уровнем и количеством выпавших радиоактивных элементов с аэрозолями и частицами реакторного топлива, но также погоднo-климатическими и ландшафтными условиями, контролирующими биотическую и абиотическую миграцию радионуклидов. Формирование пространственного загрязнения поверхности почвы ближней зоны ЧАЭС является динамическим процессом, способным существенно изменить ситуацию с течением времени, прошедшего от момента выпадения радиоактивных осадков. Такие изменения зависят от ряда факторов как живой, так и неживой природы: погоднo-климатических воздействий, ландшафтной дифференциации, сукцессионных процессов, деятельности живых организмов [1–5]. В начальный период после аварии загрязнение почвы экосистем зоны отчуждения радионуклидами характеризовалось высоким коэффициентом вариации (V) (до 60 % и выше) [2; 3]. В настоящее время, по мнению многих авторов, значения V должны быть значительно ниже [6–10].

Изучение ландшафтной дифференциации техногенных радионуклидов остается актуальным при организации радиационного мониторинга и планировании реабилитационных мероприятий на загрязненных территориях. Ландшафтный анализ и оценка распределения радионуклидов являются важным элементом системы радиационной безопасности, направленной на оздоровление радиоэкологической обстановки [3; 4]. Немаловажным фактором при этом является тип и степень лесорастительного покрытия исследуемого биогеоценоза. Специфика перераспределения радионуклидов будет существенно различаться в зависимости от типа формирования верхнего органогенного слоя, где в качестве биологического материала может выступать как быстро разлагающаяся подстилка лиственного леса, так и мощная многолетняя и многослойная подстилка сосняка. Иначе происходит пространственное перераспределение радионуклидов на поверхности участков, лишенных лесорастительного покрытия (луга, залежи, суходолы) и участков, характеризующихся значительными колебаниями высот [6; 7].

В связи с этим основной целью наших исследований явился анализ степени варьирования распределения ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am в поверхностном слое почвы различных биогеоценозов зоны отчуждения ЧАЭС. В статье мы рассматриваем определяющие факторы как для начального периода выпадений, так и для отдаленного (восстановительного): тип лесопокровения или его отсутствие, степень увлажнения поверхностных слоев почвы и значительные перепады высот. Это в дальнейшем позволит выявить различия в процессах пространственной миграции и формирования гетерогенности распределения радионуклидов различных экосистем.

Материалы и методы исследований

Исследования были проведены в 2011–2019 гг. на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в белорусском секторе зоны отчуждения ЧАЭС. Были изучены особенности горизонтального распределения ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am в почве биогеоценозов с различными лесорастительными условиями и существенным для Белорусского Полесья перепадом высот. Исследования проведены на территории гидроморфного смешанного лиственного леса с преобладанием березы (березняка), бывшего сельхозугодия (залежи) с автоморфным типом почвы, соснового леса с низким УГВ и урочища Ясева Гора с диапазоном колебания высот 15,2 м.

Все экспериментальные полигоны расположены в ближней зоне отчуждения ЧАЭС, в районе исследовательской станции «Масаны» на расстоянии около 10–12 км

от эпицентра аварии. При изучении пространственной неоднородности радиоактивных выпадений был использован метод вложенных квадратов. Размер экспериментальных полигонов составил 100×100 м. Внутри основной экспериментальной площадки были выбраны малые (размером 10×10 м), с которых проводился отбор смешанных образцов почвы стандартным пробоотборником диаметром 4 см на глубину 20 см. При этом одновременно были проведены измерения мощности дозы γ -излучения (МД) на высоте 1 м и 3–4 см от поверхности почвы при помощи дозиметра-радиометра МКС-1117 (EL117A). Исследование особенностей содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am в подстилочном слое почвы экспериментальных полигонов было проведено по методу пересекающихся трансект. Полевые исследования были проведены в сухую погоду в весенний период до отрастания травянистой растительности.

В лабораторных условиях смешанные образцы почвы (5 уколов) высушивали при температуре 20–25 °С и гомогенизировали. Определение ^{137}Cs и ^{90}Sr проводили инструментальным методом на γ - β -спектрометре МКС-АТ1315 (Атомтех, Беларусь) с блоком детектирования для регистрации γ -излучения на основе сцинтилляционного кристалла NaI (Тl) размерами $\varnothing 63 \times 63$ мм. Для регистрации β -излучения использовался органический сцинтиллятор на основе полистирола, активированного паратерфинилом, размерами $\varnothing 128 \times 9$ мм. Определение ^{241}Am проводили на γ -спектрометре Canberra (Canberra Industries, Inc., USA) с детектором из особо чистого германия с композитным углеродным окном с регистрацией γ -излучения в диапазоне энергий 20–2000 кэВ. Ошибка измерений не менее 20 %. Анализ варьирования содержания радионуклидов в почве проводили при помощи коэффициента вариации К. Пирсона (V). Статистическая обработка результатов была проведена стандартными биометрическими методами (вариационная статистика и корреляционный анализ) [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные измерения МД на высоте 1 м в березняке показали невысокую вариабельность ($V = 11,9$ %). На высоте 3–4 см от поверхности почвы коэффициент вариации значений МД составил 18,7 %. При этом коэффициенты корреляции (r_{xy}) между МД на различной высоте и содержанием ^{137}Cs в почве значительно варьировали, что связано со сложным режимом увлажнения. Измерения МД на высоте 1 м на территории залежи показали $V = 8,5$ %, на высоте 3–4 см $V = 14,6$ %. Коэффициент корреляции (r_{xy}) с МД на высоте 1 м при этом составил 0,71. Среднее значение МД на высоте 1 м в сосновом лесу составило 3,27 мкЗв/ч, на поверхности почвы – 3,99 мкЗв/ч, коэффициент вариации при этом составил 5,5 %, на высоте 3–4 см от поверхности почвы $V = 9,5$ %. При этом r_{xy} с МД на высоте 1 м составляет 0,51. Коэффициент вариации значений МД на территории экспериментального полигона «Ясева гора» на высоте 3–4 см составил 12,3 %, на высоте 1 м от поверхности почвы вариабельность была еще несколько ниже ($V = 9,1$ %), что связано с нивелированием значений эманации от точечных источников с увеличением высоты. При этом коэффициент корреляции между значениями МД на высоте 1 м и на поверхности почвы составляет 0,79, что аналогично полученным нами данным для других экспериментальных полигонов.

Анализ МД на территории экспериментального полигона в березняке позволил судить о зависимости степени увлажнения поверхностных слоев почвы и лесопокрывания на формирование γ -фона в биогеоценозе. Наименьшие уровни МД характерны для сильно увлажненных или полностью покрытых водой залесенных почв. Заметное изменение радиационной обстановки происходило по мере выхода на сухие участки поверхности с травянистой растительностью и не имеющие высоких деревьев. На характер флуктуации МД влияют не только факторы обводнения и залесения территории, но и

процессы первоначального выпадения аэрозолей на поверхность с последующим перераспределением радионуклидов. Естественно предположить, что в начальный период аварии максимумом осадков характеризовались именно участки поверхности почвы, не покрытые лесом. Однако это не означает статический сценарий дальнейшего изменения радиоэкологической ситуации, когда наибольшее влияние оказывает исключительно физический распад. В ряде случаев в зависимости от гетерогенности микрорельефа, типа и свойств почвы, деятельности живых организмов латеральная миграция может существенно ускоряться и значительно изменять радиационную обстановку. В связи с этим имеет место большая вероятность, что в будущем гидроморфные участки лесной поверхности, покрытые древесной растительностью, могут содержать наибольший запас радиоактивности, никак себя не проявляющий, пока не изменится режим увлажнения.

Изменение значений МД на территории биогеоценоза залежного луга на поверхности почвы имеет высокую положительную корреляцию и схожую тенденцию проекционных следов с МД на высоте 1 м. Естественно, еще более высокая точность сходимости невозможна из-за увеличения интегральности формирования величины МД с высотой. На данном экспериментальном полигоне характер распределения уровней МД обусловлен в основном процессами первоначального выпадения аэрозолей на поверхность с последующим перераспределением радионуклидов с участием в нем биоты и климата. На момент радиоактивных выпадений данный участок представлял собой типичный агроценоз с минимальным набором травянистой растительности, вплоть до монокультуры. Это обстоятельство позволяет нам рассматривать данный полигон в качестве примера влияния естественных сукцессионных процессов на горизонтальное перераспределение радионуклидов за время, прошедшее с момента аварии, в отличие от участков, покрытых лесом. Гетерогенность микрорельефа и режим увлажнения в данном случае не могут оказывать существенного влияния на изменение радиационной обстановки, так как перепады высот незначительны и нивелируются роющей деятельностью копытных и других животных.

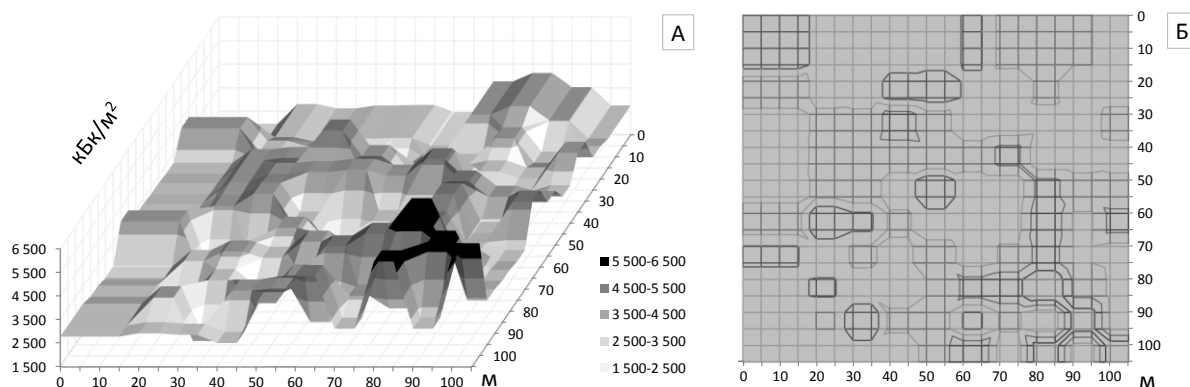
На экспериментальном полигоне в сосновом лесу с момента радиоактивных выпадений не происходило глобальных сукцессионных процессов, поэтому на горизонтальное перераспределение радионуклидов за время, прошедшее с момента аварии, влияли лишь естественные колебания в смене возрастной структуры леса, погодноклиматические условия и роющая деятельность животных. Гетерогенность микрорельефа и режим увлажнения сосняка также не могут в данном случае оказывать существенного влияния на изменение радиационной обстановки, т. к. перепады высот незначительны.

Формирование γ -фона на участке урочища Ясева Гора в значительной степени происходит под влиянием вторичного перераспределения радионуклидов в поверхностном слое почвы с течением времени, прошедшим с момента чернобыльских выпадений. Под действием ветров, атмосферных осадков, механического воздействия живых организмов и биогенной миграции на поверхности холма идет изменение микрорельефа поверхности, факторов биологической и химической трофности. Вместе с этим происходит вертикальное и горизонтальное перемещение радионуклидов, перераспределение их между различными типами смежных ландшафтов и образование градиентов концентраций при перепаде высот в понижениях и водоотводящих канавках. В результате этих процессов обычно наблюдается заметное снижение значений МД на вершине холма и увеличение на его склонах и в понижениях.

Оценка содержания радионуклидов в почве показала, что максимальные значения плотности загрязнения выбранного полигона на территории березняка составили: для ^{137}Cs – 6 315,2 кБк/м² (170,7 Ки/км²), для ^{90}Sr – 3 908,3 кБк/м² (105,6 Ки/км²), для ^{241}Am – 146,9 кБк/м² (4,0 Ки/км²). На территории залежи: для ^{137}Cs – 8 079,4 кБк/м² (212,4 Ки/км²), для ^{90}Sr – 4 550,9 кБк/м² (123,0 Ки/км²), для ^{241}Am – 148,9 кБк/м²

(4,0 Ки/км²). В почве соснового леса: для ¹³⁷Cs – 5 820,9 кБк/м² (157,3 Ки/км²), для ⁹⁰Sr – 2 109,9 кБк/м² (57,0 Ки/км²), для ²⁴¹Am – 133,0 кБк/м² (3,6 Ки/км²). Максимальные же значения содержания радионуклидов в поверхностном слое почвы полигона на территории урочища Ясева Гора составили: для ¹³⁷Cs – 6 342,7 кБк/м² (171,4 Ки/км²), для ⁹⁰Sr – 1 779,6 кБк/м² (48,1 Ки/км²), для ²⁴¹Am – 184,7 кБк/м² (5,0 Ки/км²).

Анализ латеральной дифференциации ¹³⁷Cs в верхнем 20-сантиметровом слое почвы березняка не выявил существенной неоднородности. Разница между минимальным и максимальным значениями составила 3,8 раза (рисунок 1).



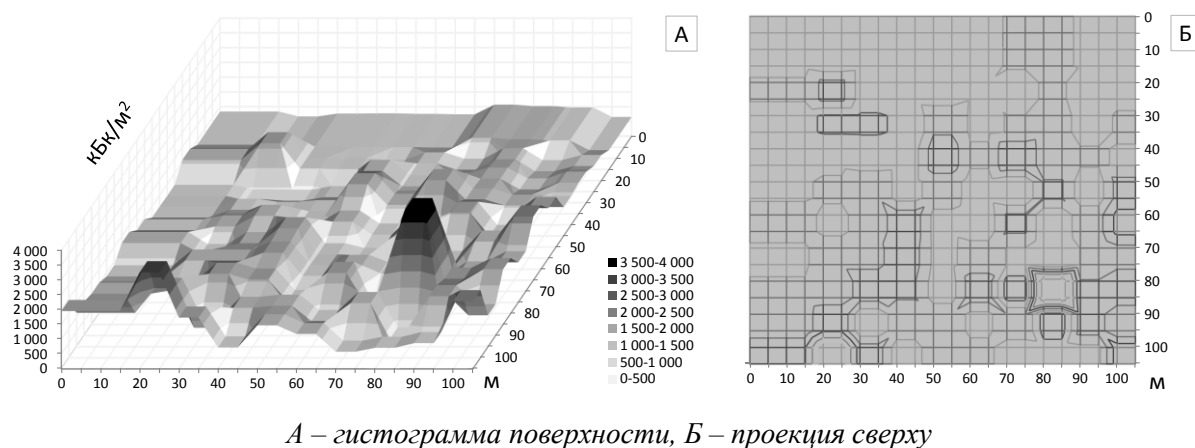
А – гистограмма поверхности, Б – проекция сверху

Рисунок 1. – Латеральное распределение ¹³⁷Cs в верхнем (20 см) слое почвы березняка, кБк/м²

Коэффициент вариации ¹³⁷Cs для экспериментального полигона в березняке составил 27,4 %, что является закономерным для отдаленного периода радиационной аварии и условий повышенной увлажненности. Представленные данные распределения ¹³⁷Cs указывают на определенное соответствие плотности загрязнения пробных площадей результатам γ -съемки. Участки с максимальными параметрами МД на высоте обнаруживают наиболее высокое содержание ¹³⁷Cs в почве. При этом эмпирический коэффициент корреляции между МД на высоте 1 м и содержанием ¹³⁷Cs в почве составил 0,21, для высоты 3–4 см $r_{xy} = 0,16$. Отклонения в формировании контурных следов связаны с особенностями микрорельефа, расположением зон повышенного увлажнения и геометрией измерения МД γ -излучения с высотой.

При исследовании перераспределения ⁹⁰Sr в пространстве наблюдается некоторая тенденция соотношения его содержания с ¹³⁷Cs, однако участки с повышенной концентрацией ⁹⁰Sr более локальны, а уровни их загрязнения имеют более существенную разницу по сравнению со средним значением, чем это обнаружено в отношении ¹³⁷Cs (рисунок 2).

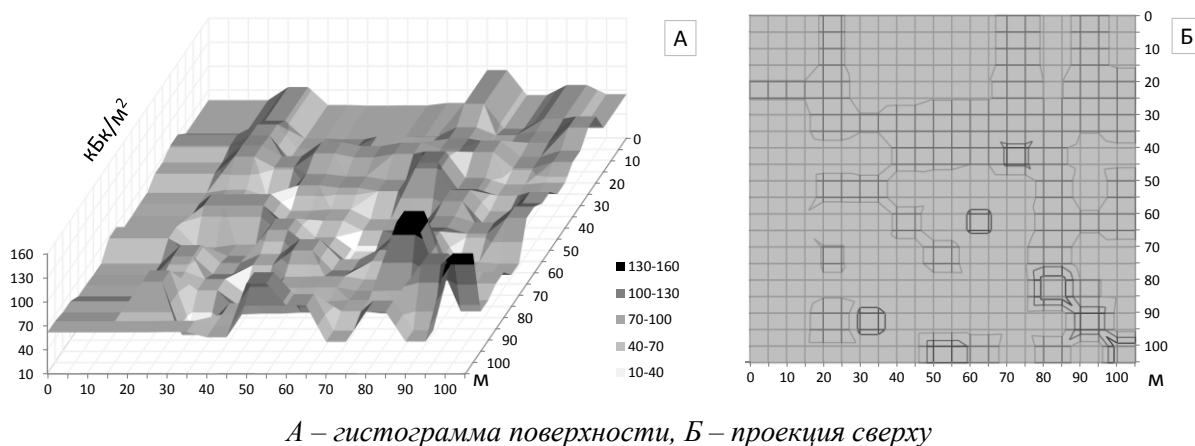
Для ⁹⁰Sr в березняке $V = 48,3$ %, что характеризует более локальный характер его пространственного распределения. Как видно из проекции плотности загрязнения ⁹⁰Sr данной территории, участок с наиболее высокими уровнями содержания соседствует с участками, где его содержание в 15 раз ниже. Данное обстоятельство, вероятнее всего, объясняется нахождением данного радионуклида в ближней зоне аварии на ЧАЭС в составе матрицы топливных частиц. Различия в генезисе ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr ближней зоны также подтверждаются очень низким коэффициентом положительной корреляции ($r_{xy} = 0,08$). Между плотностью загрязнения территории ⁹⁰Sr и МД γ -излучения $r_{xy} = 0,34$.



А – гистограмма поверхности, Б – проекция сверху

Рисунок 2. – Латеральное распределение ^{90}Sr в верхнем (20 см) слое почвы березняка, $\text{кБк}/\text{м}^2$

Аналогичный характер поведения при латеральной миграции ^{90}Sr был зафиксирован и для ^{241}Am . Однако дифференциация по плотности загрязнения в данном случае выражена несколько ниже, чем для ^{90}Sr (рисунок 3).



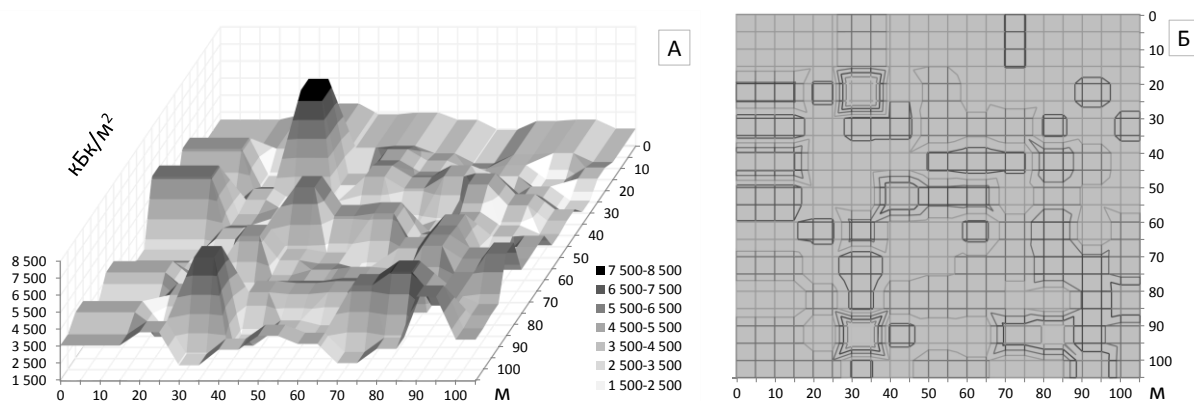
А – гистограмма поверхности, Б – проекция сверху

Рисунок 3. – Латеральное распределение ^{241}Am в верхнем (20 см) слое почвы березняка, $\text{кБк}/\text{м}^2$

Это объясняется более низкими мобильными свойствами ^{241}Am и способностью образовывать комплексы с тонкодисперсной фракцией почвы. В дальнейшем также необходимо учитывать постоянное увеличение со временем содержания ^{241}Am в почве вследствие физического распада ^{241}Pu , что может отразиться на характеристиках горизонтального распределения. По характеру варьирования содержания в почве ^{241}Am занимает промежуточное положение между ^{137}Cs и ^{90}Sr ($V = 28,7\%$). Наибольшая положительная корреляция для ^{241}Am наблюдается при сравнении с ^{137}Cs ($r_{xy} = 0,68$). При сравнении со ^{90}Sr $r_{xy} = 0,45$.

Анализ латеральной дифференциации ^{137}Cs в верхнем 20-сантиметровом слое почвы залежи обнаружил участки с различными уровнями загрязнения, причем разница между минимальным и максимальным значениями составила 5 раз (рисунок 4).

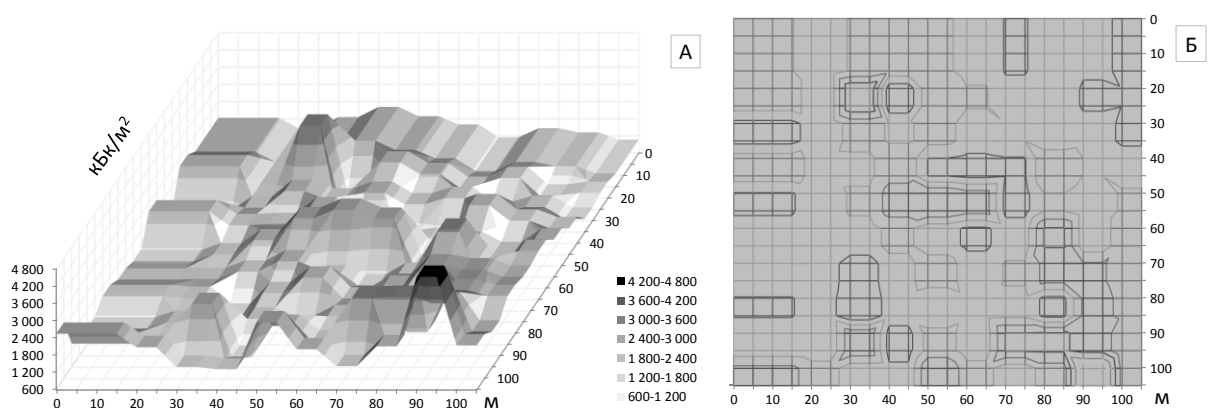
Коэффициент вариации ^{137}Cs для экспериментального полигона на залежи составил 34,0 %, что характерно для отдаленного периода радиационной аварии. Значение коэффициентов корреляции между МД и содержанием ^{137}Cs в почве приближается к 0. Только графическое сравнение проекционных следов указывает на явную тенденцию выделения участков с наиболее высокими и низкими уровнями радиоактивного загрязнения в границах нашего экспериментального полигона.



А – гистограмма поверхности, Б – проекция сверху

Рисунок 4. – Латеральное распределение ¹³⁷Cs в верхнем (20 см) слое почвы залежного луга, кБк/м²

При исследовании перераспределения ⁹⁰Sr на поверхности почвы залежного луга наблюдается тенденция соотношения его содержания с ¹³⁷Cs. Пробные площади с высокими и низкими плотностями загрязнения почвы радионуклидами чаще всего совпадали (рисунок 5).



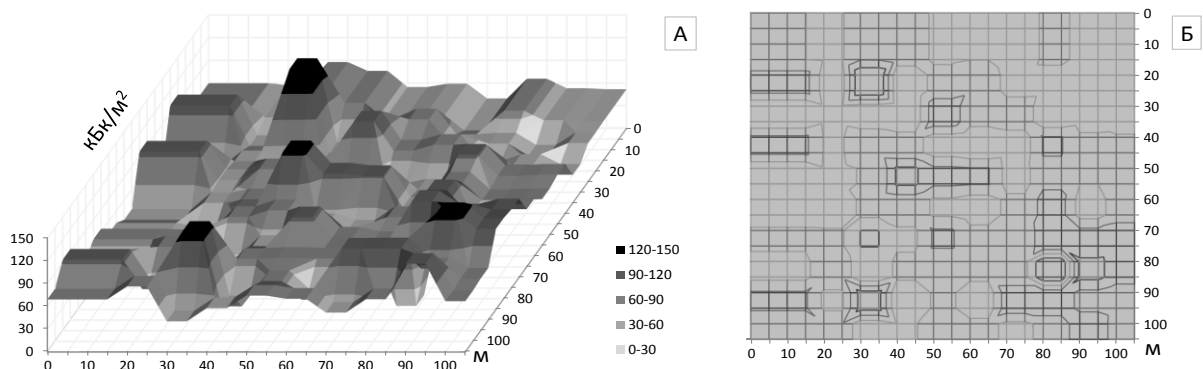
А – гистограмма поверхности, Б – проекция сверху

Рисунок 5. – Латеральное распределение ⁹⁰Sr в верхнем (20 см) слое почвы залежного луга, кБк/м²

Коэффициент вариации ⁹⁰Sr для экспериментального полигона на залежи составил 36,0 %, что в значительной степени согласуется с таковым для ¹³⁷Cs. Данное обстоятельство указывает на идентичный характер происхождения и весьма схожие процессы латеральной миграции ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr на данном полигоне. Это подтверждается и достаточно высоким коэффициентом положительной корреляции ($r_{xy} = 0,81$). Различие между минимальным и максимальным значением плотности загрязнения почвы ⁹⁰Sr в данном случае составило 6,5 раза, что выше по сравнению с таковым для ¹³⁷Cs. Корреляция же между плотностью загрязнения территории ⁹⁰Sr и МД γ -излучения так же, как и в случае с ¹³⁷Cs, незначительна и указывает лишь на общие тенденции перераспределения радионуклидов в пространстве.

В отношении ²⁴¹Am на залежи был обнаружен аналогичный характер поведения при латеральной миграции, как и для ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr (рисунок 6).

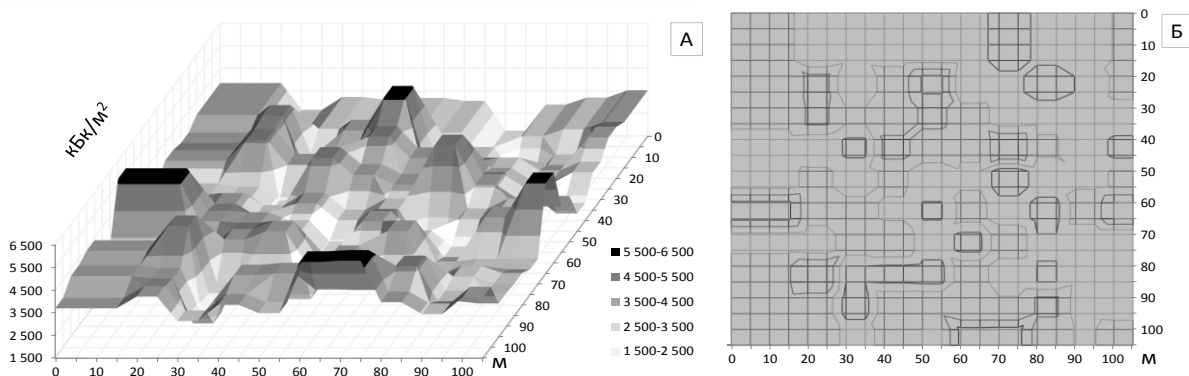
Размах варыравання мінімальнага і максымальнага значэнняў па шчыльнасці за-
 грязнення паверхні почвы в даным выпадку значна вышэй па сраўненні с тако-
 вым для ^{137}Cs і ^{90}Sr і складае 32,4 разоў. Гэта звязана с знаходжаннем ^{241}Am в почве
 в складзе матрыцы топлівных частіц і яго здольнасцю к комплексоўваўванню,
 што абмежаввае яго міграцыйныя ўласцівасці. Кэфэцыент варыацыі ($V = 37,5 \%$) со-
 держання ^{241}Am в почве залежы незначна вышэй таковых для ^{137}Cs і ^{90}Sr , што такжэ
 падтвэрждае ідэнтычную карціну распаўсюджвання ўсех трох ісьледуемых радёіонуклі-
 дов в почве ўчастка. На гэта жэ ўказывае і высокі кэфэцыент паложытаўнай кор-
 реляцыі ўрэньей радёіаактыўнага загрызнення почвы ^{241}Am пры сраўненні с таковымі
 для ^{137}Cs ($r_{xy} = 0,90$) і ^{90}Sr ($r_{xy} = 0,81$).



А – гістаграма паверхні, Б – праекцыя сьверху

Рисунок 6. – Латеральное распределение ^{241}Am в верхнем (20 см) слое почвы залежного луга, кБк/м^2

Аналіз латэральнай дыфэрэнцыацыі ^{137}Cs в верхнем 20-санціметровым слое
 почвы сосняка абнаружыў участкі с разлічнымі ўрэньямі загрызнення. Разніца між
 мінімальным і максымальным значэннямі склаўла 3,7 разоў (рысунок 7).



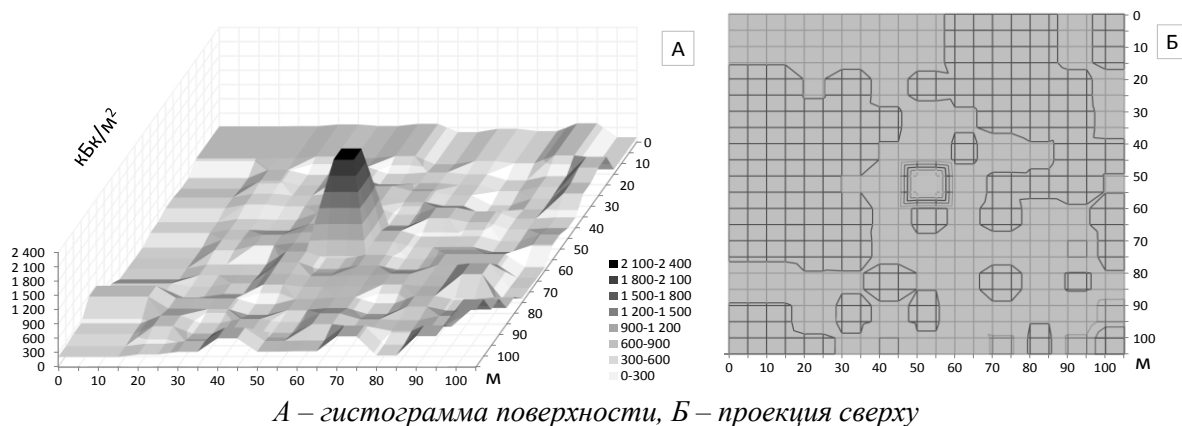
А – гістаграма паверхні, Б – праекцыя сьверху

Рисунок 7. – Латеральное распределение ^{137}Cs в верхнем (20 см) слое почвы соснового леса, кБк/м^2

Кэфэцыент варыацыі ^{137}Cs для почвы сосняка склаўла 25,7 %, што характэрна
 для аддаленага перыода радёіацыйнага аварыі. Значэньне кэфэцыента корреляцыі,
 как і в прэдыдушых выпадках, прыбліжаеця к 0.

При исследовании горизонтального распределения ^{90}Sr в почве соснового леса ситуация была не так однозначна. При некотором наблюдаемом соотношении проекционных следов обнаруживается значительная дискретность в отношении полученных данных по плотности загрязнения почвы (рисунок 8).

Обращает на себя внимание несоответствие более низкого содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr в верхнем 20-сантиметровом слое почвы сосняка по сравнению с другими полигонами, но при этом более высокие значения мощности загрязнения. Это можно объяснить нахождением значительной части радионуклидов в мощной хвойной подстилке сосняка. Коэффициент вариации ^{90}Sr для сосняка составил 75,2 %, что не является характерной величиной для отдаленного периода аварии.

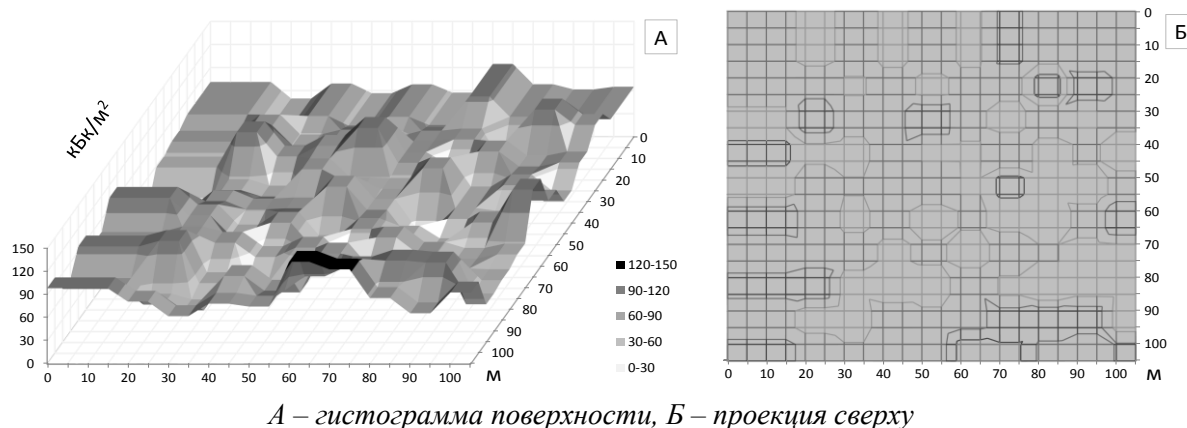


А – гистограмма поверхности, Б – проекция сверху

Рисунок 8. – Латеральное распределение ^{90}Sr в верхнем (20 см) слое почвы соснового леса, $\text{кБк}/\text{м}^2$

Возможно, несмотря, на идентичный характер происхождения и схожие процессы латеральной миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в других биогеоценозах, сосняки обладают своими особенностями, связанными со структурной организацией. Это подтверждается и низким коэффициентом корреляции ($r_{xy} = 0,06$) с распределением ^{137}Cs . Различие между минимальным и максимальным значением плотности загрязнения почвы ^{90}Sr в данном случае составило 115 раз. Корреляция же между плотностью загрязнения территории ^{90}Sr и МД γ -излучения так же как и в случае с ^{137}Cs , незначительна и указывает лишь на общие тенденции перераспределения радионуклидов в пространстве.

В отношении ^{241}Am в сосняке был обнаружен аналогичный характер поведения при латеральной миграции, как и для ^{137}Cs (рисунок 9).



А – гистограмма поверхности, Б – проекция сверху

Рисунок 9. – Латеральное распределение ^{241}Am в верхнем (20 см) слое почвы соснового леса, $\text{кБк}/\text{м}^2$

Разница между минимальным и максимальным значениями плотности загрязнения в данном случае несколько выше по сравнению с таковым для ^{137}Cs и гораздо ниже, чем для ^{90}Sr (в 6,7 раза). Соответственно, и коэффициент вариации содержания ^{241}Am в почве сосняка (31,9 %) выше такового для ^{137}Cs и значительно ниже, чем для ^{90}Sr . Естественны в данных обстоятельствах и различия в значениях коэффициентов корреляции уровней радиоактивного загрязнения почвы ^{241}Am , которые составили при сравнении с таковыми для ^{137}Cs ($r_{xy} = 0,68$) и ^{90}Sr ($r_{xy} = 0,20$).

При анализе латеральной дифференциации ^{137}Cs в верхнем 20-сантиметровом слое почвы на территории урочища Ясева Гора не обнаружено значительных перепадов значений плотности загрязнения. Разница между минимальным и максимальным значениями составила 3,4 раза. Коэффициент вариации содержания ^{137}Cs при этом для экспериментального полигона составил 21,6 %. Оценка совместимости содержания ^{137}Cs с высотными уровнями полигона обнаружила низкую положительную корреляцию ($r_{xy} = 0,27$). Большую роль при этом играют особенности микрорельефа с перераспределением областей повышенного увлажнения и формированием зон выноса и концентрирования химических элементов, в том числе и радионуклидов. В качестве зон выноса, чаще всего, выступают трансэлювиальные и трансэлювиально-аккумулятивные ландшафты, а зон концентрирования или геохимических барьеров элювиальные и аквальные ландшафты различного типа и генезиса. Распределение ^{90}Sr в верхнем 20-сантиметровом слое почвы Ясевой Горы, как и ^{137}Cs , также обнаруживает значительную мозаичность. Однако перепады его содержания в почве гораздо существеннее. Разница между минимальным и максимальным значениями составила 63,8 раза. Коэффициент вариации ^{90}Sr для экспериментального полигона составил 51,9 %, причем графический анализ указывает на несоответствие участков локализации максимального содержания с таковым для ^{137}Cs . Различия в генезисе ^{137}Cs и ^{90}Sr ближней зоны подтверждается низким коэффициентом корреляции ($r_{xy} = 0,06$). Оценка совместимости содержания ^{90}Sr с высотными уровнями полигона обнаружила еще более низкую корреляцию ($r_{xy} = 0,19$). Латеральная дифференциация ^{241}Am в пределах исследуемого полигона обнаружила значительное его сходство с локализацией наибольших количеств ^{137}Cs . При этом коэффициент корреляции ^{241}Am при сравнении с распределением ^{137}Cs составил 0,70. Самая низкая корреляционная взаимосвязь была обнаружена между распределением в почве ^{241}Am и ^{90}Sr ($r_{xy} = 0,10$). По характеру варьирования содержания в почве ^{241}Am занимает промежуточное положение между ^{137}Cs и ^{90}Sr ($V = 33,1$ %). Разница между минимальным и максимальным значениями составила 10,3 раза. Оценка совместимости содержания ^{241}Am с высотными уровнями полигона обнаружила такую же низкую положительную корреляцию, как и в отношении ^{137}Cs ($r_{xy} = 0,27$).

Расчет значений доверительного интервала в большинстве случаев показал значительное отклонение от величины средних значений при характерном для таких исследований уровне значимости ($P \leq 0,05$), что говорит о высокой достоверности проведенных исследований. Менее всего варьировал такой показатель, как МД, представляя собой производный результат измерения от нескольких источников. По всем исследуемым площадкам значения варьирования МД у поверхности почвы более чем на 30 % выше, чем на высоте 1 м, наименьшими V отличался сосновый лес, а наибольшими – березняк, что связано как с различиями в лесорастительных условиях, так и в режимах увлажнения. Анализ кривых распределения показал, что при заданных объемах выборок для значений содержания радионуклидов в почве расчеты критериев достоверности оценок (t_{As} , t_{Ex}) и полученные величины медианы и моды указывают на логнормальный характер распределения значений плотности загрязнения экспериментальных полигонов. Только в случае с анализом МД γ -излучения можно говорить о распределении эмпирических данных

по нормальному закону. Это подтверждает проверка по биометрическим таблицам и проверка распределения на соответствие нормальному закону при помощи теста Колмогорова – Смирнова. Анализ пространственного распределения радионуклидов обнаружил правостороннюю (положительную) асимметрию вариационных гистограмм, направленную в сторону образцов с наибольшими значениями, что подтверждает значительную неоднородность в мультифрактальной структуре чернобыльских выпадений. В отношении ^{241}Am наблюдаются выбросы с максимальными значениями, почти в 3 раза превышающими средние, что может быть связано с различными формами нахождения радионуклидов в почве экспериментального полигона. Данное обстоятельство также является одним из факторов, сдерживающих формирование окончательной квазиравновесной картины распределения радионуклидов в пространстве и, соответственно, приуроченность их содержания к различным ландшафтам и элементам микрорельефа.

Заключение

Различия в распределении исследуемых радионуклидов по поверхности экспериментальных полигонов обусловлены как особенностями их нахождения в составе чернобыльского выброса, так и различиями в миграционных свойствах. Проведенный анализ характера варьирования показал, что в лесных биогеоценозах в большей степени изменчивости содержания в верхнем слое почвы подлежит ^{90}Sr . Это подтверждается наибольшим коэффициентом вариации. Наименше различий в варьировании содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am в верхнем слое почвы наблюдается на залежном лугу, что в большей степени зависит от структуры сформированного сообщества и отсутствия древесного яруса. Полученные результаты указывают, с одной стороны, на более высокую мобильность ^{90}Sr в почвах зоны отчуждения, по сравнению с другими радионуклидами чернобыльского происхождения, с другой стороны, на способность биотических компонентов изучаемых лесных формаций в большей степени задействовать данный химический элемент в обменных процессах, происходящих в экосистеме, чем другие радионуклиды.

Исходя из проведенного статистического анализа, можно заключить, что так как распределение ^{137}Cs ближе всего по своим параметрам к нормальному закону, то в данном случае можно говорить об определенной стабилизации обстановки, на которую будет оказывать влияние в большей степени только физический распад. Снижение вариабельности содержания ^{137}Cs в почвенном горизонте свидетельствует об уменьшении темпов миграции из-за его фиксации на глинистых минералах почвы и выравнивании градиентов загрязнения на локальном уровне. В отношении же ^{90}Sr обстановка представляется наиболее сложной, что связано с выходом его из состава матрицы топливных частиц и увеличением количества подвижных форм. По всей видимости, эти процессы в настоящее время продолжают. Что касается ^{241}Am , то скорость процессов горизонтальной миграции данного радионуклида, несмотря на продолжающееся увеличение его количества в почве, ниже, чем для ^{90}Sr , что связано с более низкой биогенной миграцией и перераспределением его с биотой. При этом необходимо также учитывать и специфику радиоактивного загрязнения поверхности биогеоценоза (тип выпадений, радионуклидный состав и т. д.). Находясь в почве в определенных формах и обладая различными физико-химическими свойствами, каждый радионуклид будет в разной степени реагировать на влияние того или иного фактора среды, будь то влияние биоты или фактора неживой природы. Исследуемые показатели варьирования отражают процессы трансформации радионуклидов с учетом специфики свойств выбранного ландшафта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В. А. Ипатьев [и др.] ; под общ. ред. В. А. Ипатьева. – Гомель : Ин-т леса НАН Беларуси, 1999. – 454 с.
2. Линник, В. Г. Ландшафтно-географические исследования в связи с аварией на ЧАЭС / В. Г. Линник // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. – 1996. – № 1. – С. 38–44.
3. Линник, В. Г. Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов: геоинформационные системы и модели : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.23 / В. Г. Линник ; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2008. – 40 с.
4. Линник, В. Г. Принципы ландшафтно-геохимического и радиоэкологического картографирования территорий, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС (проект РАДЛАН) / В. Г. Линник, Л. М. Хитров, Е. М. Коробова. – М. : ГЕОХИ АН СССР, 1991. – 50 с.
5. Иванов, Ю. А. Анализ факторов, определяющих долговременную динамику миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове / Ю. А. Иванов // Проблемы чернобыльской зоны отчуждения : науч.-техн. сб. – Чернобыль, 2009. – Вып. 9. – С. 23–39.
6. Алексахин, Р. М. Ядерная энергия и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 216 с.
7. Soil contamination with ^{90}Sr in the near zone of the Chernobyl accident / V. A. Kashparov [et al.] // Journal of Environment Radioactivity. – 2001. – Vol. 56, nr 3. – P. 285–298.
8. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля : пер. с англ. / Л. Д. Апплби [и др.] ; под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона. – М. : Мир, 1999. – 512 с.
9. Калиниченко, С. А. Характеристика латерального распределения ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am в поверхностном слое почвы различных биогеоценозов белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / С. А. Калиниченко // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. Естеств. науки. – 2018. – № 3 (108). – С. 42–48.
10. Особенности латерального перераспределения ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am в поверхностном слое почвы геохимически сопряженных ландшафтов при значительном для белорусского Полесья перепаде высот / С. А. Калиниченко [и др.] // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. Естеств. науки. – 2019. – № 3 (114). – С. 29–35.
11. Лакин, Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие для биол. специальностей вузов / Г. Ф. Лакин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1980. – 293 с.

REFERENCES

1. Lies. Chieloviek. Chiernobyl'. Liesnyje ekosistemy poslie avarii na Chiernobyl'skoj AES: sostojanije, prognoz, rieakcija nasielienija, puti rieabilitacii / V. A. Ipat'jev [i dr.] ; pod obshch. ried. V. A. Ipat'jeva. – Gomial' : In-t liesa NAN Bielarusi, 1999. – 454 s.
2. Linnik, V. G. Landshaftno-geografichieskije issliedovanija v sviazi s avariej na ChAES / V. G. Linnik // Viestn. Mosk. un-ta. Sier. 5. Geografija. – 1996. – № 1. – S. 38–44.
3. Linnik, V. G. Landshaftnaja diffierenciacija tiekhnogiennykh radionuklidov: geoinformacionnyje sistemy i modeli : avtorief. dis. ...d-ra geogr. nauk : 25.00.23 / V. G. Linnik ; MGU im. M. V. Lomonosova. – M., 2008. – 40 s.
4. Linnik, V. G. Principy landshaftno-geohimichieskogo i radioekologichieskogo kartografirovanija tierritorij, zagriaznionnykh radionuklidami v riezul'tatie avarii na Chernobyl'skoj AES (projekt RADLAN) / V. G. Linnik, L. M. Khitrov, Ye. M. Korobova. – M. : GEOKhI AN SSSR, 1991. – 50 s.

5. Ivanov, Yu. A. Analiz faktorov, opriedieliajushchikh dolgoviemiennuju dinamiku migracii radionuklidov v pochvienno-rastitel'nom pokrove / Yu. A. Ivanov // Problemy chier-nobyl'skoj zony otchuzhdenija : nauch.-tiekhn. sb. – Chiernobyl', 2009. – Vyp. 9. – S. 23–39.
6. Alieksahin, R. M. Jadiernaja energija i biosfiera / R. M. Alieksahin. – M. : Energo-izdat, 1982. – 216 s.
7. Soil contamination with ^{90}Sr in the near zone of the Chernobyl accident / V. A. Kash-parov [et al.] // Journal of Environment Radioactivity. – 2001. – Vol. 56, nr 3. – P. 285–298.
8. Puti migracii iskusstviennykh radionuklidov v okruzhajushchiej sriedie. Radioeko-logija poslie Chiernobylia : pier. s angl. / L. D. Appllbi [i dr.] ; pod ried. F. Uornera i R. Khar-risona. – M. : Mir, 1999. – 512 s.
9. Kalinichienko, S. A. Kharakteristika lateral'nogo raspriedielienija ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am v povierkhnostnom sloje pochvy razlichnykh biogiecenezov bieloruskogo siektora zony otchuzhdenija Chiernobyl'skoj AES / S. A. Kalinichienko // Izv. Gomial. gos. un-ta im. F. Sko-riny. Jestiestv. nauki. – 2018. – № 3 (108). – S. 42–48.
10. Osobiennosti lateral'nogo pierieraspriedielienija ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am v povierkhnost-nom sloje pochvy gieohimichieski sopriazhonnykh landshaftov pri znachitel'nom dlia bieloruskogo Polies'ja pieriepadie vysot / S. A. Kalinichienko [i dr.] // Izv. Gomial. gos. un-ta im. F. Skoriny. Jestiestv. nauki. – 2019. – № 3 (114). – S. 29–35.
11. Lakin, G. F. Biometrija : uchieb. posobije dlia biol. spiecial'nostiej vuzov / G. F. Lakin. – 3-je izd., pierierab. i dop. – M. : Vyssh. shk., 1980. – 293 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 19.04.2021

УДК 575.1/2:574.2; 581.5

**Александр Петрович Колбас¹, Наталия Михайловна Матусевич²,
Наталия Викторовна Савина³, Светлана Владимировна Кубрак⁴,
Марина Викторовна Левковская⁵, Светлана Михайловна Токарчук⁶,
Александр Владимирович Кильчевский⁷**

¹канд. биол. наук, доц., нач. Центра экологии

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц., доц. каф. ботаники и экологии

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³научн. сотрудник лаборатории экологической генетики и биотехнологии

Института генетики и цитологии НАН Беларуси

⁴канд. биол. наук., ведущий науч. сотрудник лаборатории экологической генетики и биотехнологии

Института генетики и цитологии НАН Беларуси

⁵ст. преподаватель каф. ботаники и экологии

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

⁶канд. геогр. наук, доц., доц. каф. географии и природопользования

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

⁷д-р биол. наук, проф., действительный член НАН Беларуси,

науч. рук. лаборатории экологической генетики и биотехнологии

Института генетики и цитологии НАН Беларуси

Aliaksandr Kolbas¹, Nataliya Matusevich², Nataliya Savina³, Svyatlana Kubrak⁴,

Maryna Levkovskaya⁵, Svyatlana Tokarchuk⁶, Aliaksandr Kilchevsky⁷

¹PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Head of Ecology Center of Brest State A. S. Pushkin University

²PhD in Biological Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Botany and Ecology of Brest State A. S. Pushkin University

³Research Associate of the Laboratory of Environmental Genetics and Biotechnology

of Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus

⁴PhD in Biological Sciences, Leading Researcher of Laboratory of Environmental Genetics and Biotechnology

of Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus

⁵Senior Lecturer of the Department of Botany and Ecology of Brest State A. S. Pushkin University

⁶PhD in Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geography

and Environmental Management Ecology of Brest State A. S. Pushkin University

⁷Doctor of Biological Sciences, Professor, Full Member of the National Academy of Sciences of Belarus,

Scientific Director of the Laboratory of Environmental Genetics and Biotechnology

of the Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus

e-mail: ¹kolbas77@mail.ru

ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ОХРАНЯЕМЫХ РАСТЕНИЙ БРЕСТСКОГО РЕГИОНА*

Приводятся результаты работы по мониторингу 9 видов охраняемых растений в Брестском регионе с использованием современных экологических, картографических и генетических подходов. Генетическая информация, полученная в ходе проведения экологического мониторинга редких и охраняемых растений и представленная в виде QR-кодов была использована при разработке и составлении картографического веб-приложения для предоставления комплексной информации.

Ключевые слова: банк ДНК, баркодирование, Брестский регион, Красная книга, мониторинг, охраняемые растения, популяция, веб-приложение, QR-код.

Ecological and Genetic Inventory of Certain Protected Plant Species in the Brest Region

The paper presents the results of monitoring 9 species protected plants in the Brest region using modern ecological, cartographic and genetic approaches. Genetic information obtained in the course of environmental monitoring of rare and protected plants and presented in the form of QR codes was used in the development and compilation of a cartographic web-application to provide complex information.

Key words: DNA bank, barcoding, Brest region, Red Book monitoring, protected plants, population, web application, QR code.

*Работа выполнена в рамках проекта «Изучение биоэкологических особенностей популяций редких растений в Брестском регионе, мониторинг, отбор образцов и разработка картографических веб-приложений» (№ госрегистрации 20180768).

Введение

Биологическое разнообразие живых организмов – это важнейший фактор функционирования экосистем. Своевременное принятие соответствующих мер по инвентаризации и охране позволяет сохранить биологическое разнообразие флоры в Брестском регионе, который характеризуется древнейшим видовым составом природных сообществ, а также наибольшим разнообразием географического и генетического элементов флоры в Республике Беларусь. Охраняемые виды растений, вследствие сниженной адаптационной способности, требуют особого внимания, всестороннего изучения, регулярного мониторинга природных популяций. Вместе с тем именно редкие виды представляют собой наиболее ценную и разнообразную составляющую биологических ресурсов. Инвентаризация биологического разнообразия флоры представляет собой сложную задачу, учитывая большое количество видов дикорастущих растений. В этом случае получение и работа с информацией об изучаемых объектах, представленной в цифровом виде, является наиболее эффективным подходом. Веб-картографирование популяций редких растений и ДНК-штрихкодирование особенно полезны при инвентаризации редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений, так как позволяют проводить популяционный и генетический скрининг видового разнообразия флоры без изъятия растения из естественной среды обитания.

Оценка современного состояния популяций редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений создает основу для изучения динамики популяционных процессов, позволяет прогнозировать перспективы конкретных популяций и обосновывать меры по их сохранению [1].

Цель работы – произвести инвентаризацию отдельных видов охраняемых растений в Брестском регионе с использованием современных экологических, картографических и генетических подходов.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования данной работы являются представители 9 редких видов растений, которые внесены в основной список 4-го издания Красной книги Республики Беларусь [2]: пихта белая (*Abies alba* Mill.), зубянка клубненосная (*Dentaria bulbifera* L.), омела австрийская (*Viscum austriacum* Wiesb.), кадило сарматское (*Melittis sarmatica* Klok.), венерин башмачок настоящий (*Cypripedium calceolus* L.), тайник яйцевидный (*Listera ovata* (L.) R. Br.), любка зеленоцветковая (*Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb.), пальчатокоренник майский (*Dactylorhiza majalis* (Reichenb. F.) P. F. Hunt et Summerhayes), осока войлочная (*Carex tomentosa* L.) (таблица 1). Были определены координаты, численность популяций, занимаемая площадь, фенофаза, размеры. Сделаны ботанические и геоботанические описания популяций растений, получены фотографии объектов и окружения.

Собранный растительный материал (образцы листовых эксплантов) был передан в Республиканский банк ДНК (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси). Тотальная ДНК из растительного материала выделена коммерческим набором *DNeasy Plant Mini Kit* (Qiagen, Германия). ПЦР проведена в финальном объеме 8 мкл; смесь для амплификации включала готовый буфер для проведения ПЦР *Quick-load Taq 2X Master Mix* (ОДО «Праймтех», Беларусь), прямой и обратный праймеры в конечной концентрации 0,3 пмоль/мкл, воду, 1 мкл матрицы ДНК в концентрации 10 нг/мкл. Амплификацию проводили в термоциклере *C1000 Touch Thermal Cycler* (BioRad, США); продукты амплификации очищали с помощью ферментов *Exonuclease I* и *Shrimp Alkaline Phosphatase* (Thermo Fisher Scientific, США). Терминирующая реакция проведена с использованием коммерческого набора *Brilliant Dye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit* (Nimagen, Ни-

дерланды) с последующей очисткой продукта реакции этанолом. Определение нуклеотидной последовательности выполнено на автоматическом генетическом анализаторе *ABI 3500 DNA Analyzer* (Applied Biosystems, США). Хроматограммы сиквенсов проанализированы в программе *ChromasPro 13.3*; для одного вида анализировали по три индивидуальных растения, для каждого ДНК-штрихкода получено по четыре хроматограммы – три с прямым и одна с обратным праймером. Выравнивание последовательностей выполнено в программах *Vector NTI* (модуль *Contig Express Project*) и *MEGA 4* с целью получения общей (консенсусной) маркерной последовательности. Консенсусные последовательности сравнивали с последовательностями ДНК аналогичных видов, хранящимися в международных базах данных *NCBI BLAST* (*Basic Local Alignment Search Tool*) [3] и *BOLD* (*Barcode of Life Data Systems*) [4].

Результаты исследований и их обсуждение

Были указаны и уточнены местонахождения 9 видов редких растений, произрастающих на территории Брестского региона (таблица 1). Максимальная численность особей среди изученных популяций охраняемых видов была отмечена для пихты белой (*Abies alba* Mill.), однако количество взрослых репродуктивных деревьев не превышало 20 единиц. Среди травянистых растений максимальным числом особей в популяции характеризовалось кадило сарматское (*Melittis sarmatica* Klok.), а минимальным – любка зеленоцветковая (*Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb.), однако в целом отмечается низкая численность большинства исследованных популяций. В таксономическом отношении наиболее представлено в исследовании семейство Орхидные (*Orchidaceae* Juss.) (4 вида). Анализ размеров растений показал, что практически все виды, достигшие дефинитивных форм, характеризуются значениями в рамках референсных [2]. Популяции охраняемых растений были зарегистрированы преимущественно в лиственных лесах, за исключением омелы австрийской (*Viscum austriacum* Wiesb.), произрастающей на сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), и осоки войлочной (*Carex tomentosa* L.) – в прибрежной полосе водоохранной зоны. Популяция тайника яйцевидного (*Listera ovata* (L.) R. Br.) описана в антропогенном биотопе – рудеральном месте обитания.

Отмечается слабая жизненность и высокая степень угрозы для популяций любки зеленоцветковой (*Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb.), тайника яйцевидного (*Listera ovata* (L.) R. Br.) и осоки войлочной (*Carex tomentosa* L.) как вследствие естественных сукцессионных процессов, так и антропогенного прессинга.

С целью повышения точности пространственной координации изучаемых мест произрастания были использованы современные методы наземной топографии и геоботаники: производилась маркировка на местности объектов привязки, далее происходила привязка исследуемых растений либо их популяций к объектам-маркерам, определялась площадь. Для реализации описанных выше топографических задач использовался GPS-навигатор Garmin eTrex 30 (определение азимута направления) и электронный тахеометр CST/berger Electronic Total Station CST305R.

При веб-картографировании популяций редких растений в Брестском регионе использовались шаблоны карт историй «Story map tour» облачной платформы картографирования ArcGIS Online. Особенностью данного приложения является использование сочетания интерактивной карты с информационной панелью, включающей фотографический материал, название и описание точки на карте, ботаническое и геоботаническое описание, QR-коды для предоставления генетической информации.

Таблица 1. – Виды охраняемых растений Брестского региона, включенные в исследование

№	Вид (рус./лат.)*	Категория охраны	Число особей, шт.	Средняя высота, см
Сосновые (<i>Pinaceae</i> Lindl.)				
1	пихта белая / <i>Abies alba</i> Mill.	I	Площадь 1,2 га	**
Крестоцветные (<i>Cruciferae</i> Juss.)				
2	зубянка клубненосная / <i>Dentaria bulbifera</i> L.	IV	23	45,7
Ремнецветные (<i>Loranthaceae</i> Juss.)				
3	омела австрийская / <i>Viscum austriacum</i> Wiesb.	II	12	**
Губоцветные (<i>Labiatae</i> Juss.)				
4	кадило сарматское / <i>Melittis sarmatica</i> Klok.	III	26	32,8
Орхидные (<i>Orchidaceae</i> Juss.)				
5	венерин башмачок настоящий / <i>Cypripedium calceolus</i> L.	III	10	20,7
6	Тайник яйцевидный <i>Listera ovata</i> (L.) R. Br.	IV	25	36,3
7	любка зеленоцветковая / <i>Platanthera chlorantha</i> (Cust.) Reichenb.	IV	7	25,8
8	пальчатокоренник майский / <i>Dactylorhiza majalis</i> (Reichenb. F.) P. F. Hunt et Summerhayes	III	10	21,8
Осоковые (<i>Cyperaceae</i> Juss.)				
9	осока войлочная / <i>Carex tomentosa</i> L.	I	18	42,0

Примечание – * – названия даны по [2; 5], ** – нет данных.

Для всех растений было выполнено двух-четырёхлокусное генотипирование по ядерному маркеру *ITS2* и хлоропластным маркерам *rbcL*, *psbA-trnH*, *matK* [4; 6; 7]. Для всех маркеров продемонстрирована хорошая воспроизводимость результатов амплификации; маркеры *ITS2* и *rbcL* лучше отвечали требованию «качество сиквенсов». Всего получена 31 консенсусная нуклеотидная последовательность, при этом их сходство с аналогичными последовательностями из международных баз данных составило 98–100 %. У четырех видов было выявлено сходство менее 100 % (пихта белая, зубянка клубненосная, кадило сарматское, осока войлочная).

Для ряда изучаемых нами редких видов растений в международных базах еще не депонированы интересующие нас видовые маркерные последовательности, что исключает проведение сравнительного анализа. Так, для омелы австрийской (*Viscum austriacum* Wiesb.) в базе *NCBI* из четырех последовательностей представлена лишь одна *ITS*. Именно отсутствие эталонных штрих-кодов, полученных от таксономически подтвержденных образцов из достоверных источников и подтвержденных, в свою очередь, доступными онлайн-хроматограммами, является одним из ограничений применения метода ДНК-штрихкодирования для видовой идентификации [8].

Результаты проделанной работы в целом подтверждают эффективность использования выбранных нами маркеров в качестве ДНК-штрихкодов. Дальнейшая работа по видоидентификации редких растений будет базироваться на комбинировании всех

маркеров, отдавая предпочтение при первичном скрининге маркерам *ITS2* и *rbcL*. Результатом таксономической идентификации растений будет являться собственная база референсных последовательностей ДНК-штрихкодов.

Стандартный формат представления последовательностей, полученных в результате секвенирования, – буквенный (в нашем исследовании для отдельных видов до 900 п. н.), что очень неудобно при хранении и передаче данных. С целью сжатия информации, полученной в ходе ДНК-баркодирования, предложено использовать двумерные штрихкоды – QR-код [9] (рисунок 1). Подобный формат представления данных может быть актуален при разработке картографических веб-приложений. Для 9 изученных растений нами сгенерированы QR-коды маркерной последовательности *ITS2* (таблица 2).

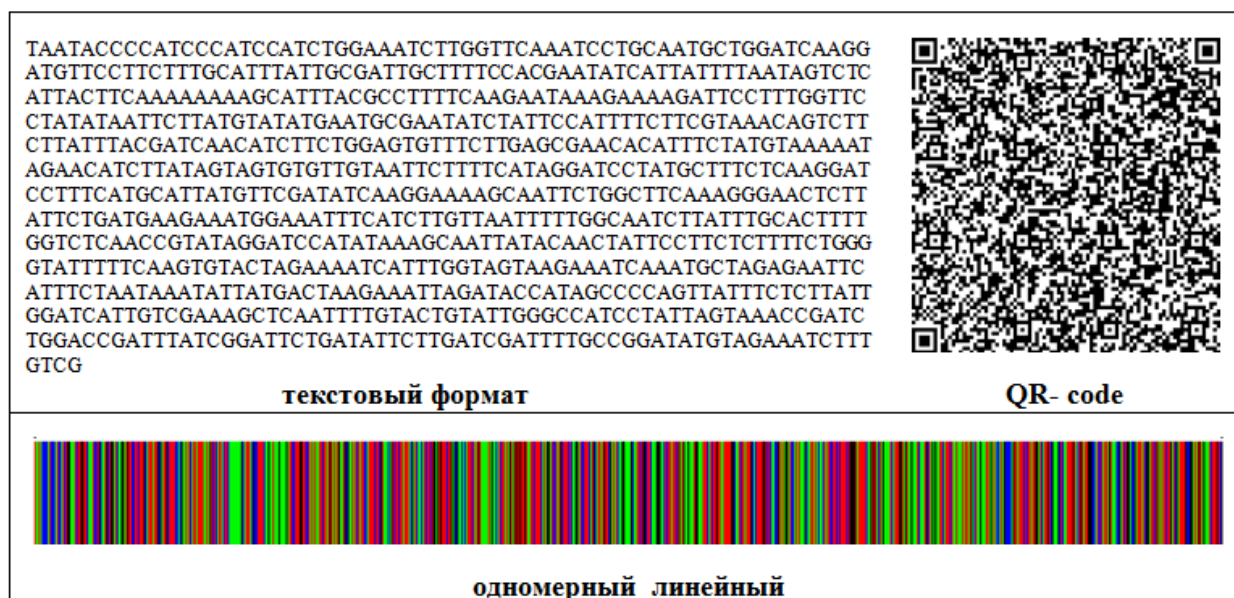






Рисунок 1. – Маркерная последовательность *matK* для вида венерин башмачок настоящий (*Cypripedium calceolus* L.)

Последовательности внутренних транскрибируемых спейсеров *ITS1* и *ITS2* в молекулярной филогенетике изучают достаточно часто, и область *ITS2* считается подходящим маркером для видоидентификации и таксономической классификации. Последовательность отличается короткой длиной, успешной амплификацией с универсальными праймерами, высоким качеством сиквенса и высокой межвидовой вариабельностью [10].

Генетическая информация, полученная в ходе проведения экологического мониторинга отдельных видов редких и охраняемых растений Брестского региона, была использована при разработке и составлении картографического веб-приложения для предоставления комплексной информации об охраняемых объектах: ботаническая, геоботаническая, топографическая, генетическая характеристики.

Было создано картографическое веб-приложение «Редкие растения Брестского региона», которое включает 9 видов растений, 10 мест произрастаний и 9 QR-кодов (рисунок 2).

Таблиця 2. – QR-коды маркерной последовательности *ITS2*

QR-код (for mobile applications)			
вид растения длина, п. н. сходство с NCBI, %	пихта белая 247 99	зубянка клубненосная 191 99	омела австрийская 238 100
QR-код (for mobile applications)			
вид растения длина, п. н. сходство с NCBI, %	кадило сарматское 222 98	венерин башмачок настоящий 272 100	тайник яйцевидный 255 100
QR-код (for mobile applications)			
вид растения длина, п. н. сходство с NCBI, %	любка зеленоцветковая 243 100	пальчатокоренник майский 245 100	осока войлочная 231 99

Результаты исследования подтверждены актами внедрения и паспортом коллекции образцов биологического материала. Веб-приложение может использоваться научными сотрудниками, специалистами лесоводческих и природоохранных организаций, преподавателями и студентами естественнонаучных специальностей.

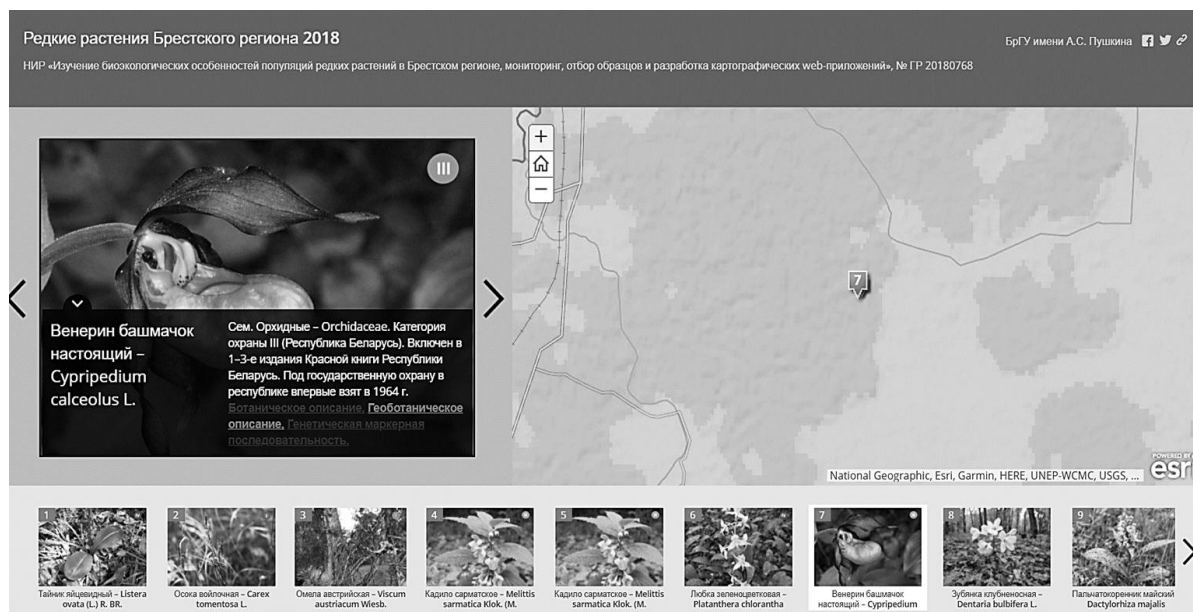


Рисунок 2. – Внешний вид картографического веб-приложения

Заклучение

Таким образом, эколого-генетическая инвентаризация 9 редких видов растений Брестского региона позволила уточнить их местонахождение, сделать точную топографическую привязку; провести экологический мониторинг состояния популяций; выполнить ДНК-штрихкодирование; уточнить таксономическую принадлежность с использованием международных ресурсов, визуализировать полученные результаты в веб-приложении. Одним из важных результатов проведенной нами таксономической идентификации растений будет создание региональной библиотеки референсных последовательностей ДНК с целью аккумуляции, структурирования и анализа генетической информации по охраняемым видам растений Беларуси.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознячук, И. П. Мониторинг охраняемых растений и грибов / И. П. Вознячук, Л. В. Семеренко // Мониторинг растительного мира в Республике Беларусь: результаты и перспективы / И. В. Бордок [и др.]; под общ. ред. А. В. Пугачевского, А. В. Судника. – Минск : Беларус. навука, 2019. – С. 100–140.
2. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол.: И. М. Качановский (пред.) [и др.]. – 4-е изд. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.
3. Basic Local Alignment Search Tool [Electronic resource] : The program compares nucleotide or protein sequences to sequence databases and calculates the statistical significance. – Mode of access: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi/>. – Date of access: 24.05.2021.
4. BOLD Systems [Electronic resource] : The Barcode of Life Data Systems / CCDB (The Canadian Centre for DNA Barcoding). – Mode of access: <https://www.boldsystems.org/>. – Date of access: 24.05.2021.
5. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
6. Hollingsworth, P. M. Choosing and using a plant DNA barcode / P. M. Hollingsworth, S. W. Graham, D. P. Little // PLoS ONE. – 2011. – Vol. 6, nr 5. – P. 1–28.

7. Use of *ITS2* Region as the Universal DNA Barcode for Plants and Animals [Electronic resource] / H. Yao [et al.] // PLoS One. – 2010. – Vol. 5, nr 10. – Mode of access: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0013102&type=printable>. – Date of access: 24.05.2021.

8. Purty, R. S. DNA Barcoding: An Effective Technique in Molecular Taxonomy / R. S. Purty, S. Chatterjee // Austin J Biotechnol Bioeng. – 2016. – Vol. 3, iss. 1. – P. 1059.

9. DNA Barcode Goes Two-Dimensions: DNA QR Code Web Server [Electronic resource] / C. Liu [et al.] // PLoS One. – 2012. – Vol. 7, nr 5. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/224934034_DNA_barcode_goes_two-dimensions_DNA_QR_code_web_server. – Date of access: 24.05.2021.

10. Internal Transcribed Spacer 2 Ribosomal RNA Database / B. Merget [et al.] // J. of Visualized Experiments. – 2012. – Vol. 61.

REFERENCES

1. Vozniachuk, I. P. Monitoring okhraniajemykh rastienij i gribov / I. P. Vozniachuk, L. V. Siemierenko // Monitoring rastitel'nogo mira v Rjespublikie Bielarus': riezul'taty i perspiektivy / I. V. Bordok [i dr.]; pod obshch. ried. A. V. Pugachievskogo, A. V. Sudnika. – Minsk : Bielarus. navuka, 2019. – S. 100–140.

2. Krasnaja kniga Rjespubliki Bielarus'. Rastienija: riedkije i nakhodiashchijesja pod ugrozaj ischieznovienija vidy dikorastushchikh rastienij / gl. riedkol.: I. M. Kachanovskij (pried.) [i dr.]. – 4-je izd. – Minsk : Bielarus. encykl. imia P. Brouki, 2015. – 448 s.

3. Basic Local Alignment Search Tool [Electronic resource] : The program compares nucleotide or protein sequences to sequence databases and calculates the statistical significance. – Mode of access: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi/>. – Date of access: 24.05.2021.

4. BOLD Systems [Electronic resource] : The Barcode of Life Data Systems / CCDB (The Canadian Centre for DNA Barcoding). – Mode of access: <https://www.boldsystems.org/>. – Date of access: 24.05.2021.

5. Opriedielitel' vysshikh rastienij Bielarusi / pod ried. V. I. Parfionova. – Minsk : Dizajn PRO, 1999. – 472 s.

6. Hollingsworth, P. M. Choosing and using a plant DNA barcode / P. M. Hollingsworth, S. W. Graham, D. P. Little // PLoS ONE. – 2011. – Vol. 6, nr 5. – P. 1–28.

7. Use of *ITS2* Region as the Universal DNA Barcode for Plants and Animals [Electronic resource] / H. Yao [et al.] // PLoS One. – 2010. – Vol. 5, nr 10. – Mode of access: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0013102&type=printable>. – Date of access: 24.05.2021.

8. Purty, R. S. DNA Barcoding: An Effective Technique in Molecular Taxonomy / R. S. Purty, S. Chatterjee // Austin J Biotechnol Bioeng. – 2016. – Vol. 3, iss. 1. – P. 1059.

9. DNA Barcode Goes Two-Dimensions: DNA QR Code Web Server [Electronic resource] / C. Liu [et al.] // PLoS One. – 2012. – Vol. 7, nr 5. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/224934034_DNA_barcode_goes_two-dimensions_DNA_QR_code_web_server. – Date of access: 24.05.2021.

10. Internal Transcribed Spacer 2 Ribosomal RNA Database / B. Merget [et al.] // J. of Visualized Experiments. – 2012. – Vol. 61.

УДК 591.5:59.087

**Олег Анатольевич Островский¹, Ружана Валентиновна Вечерко²,
Марина Григорьевна Дмитренко³, Павел Александрович Пакуль⁴**

¹науч. сотрудник лаборатории орнитологии

Научно-практического центра НАН Беларуси по биоресурсам

^{2,4}мл. науч. сотрудник лаборатории орнитологии

Научно-практического центра НАН Беларуси по биоресурсам

³канд. биол. наук, ведущий науч. сотрудник лаборатории орнитологии

Научно-практического центра НАН Беларуси по биоресурсам

Oleg Ostrovsky¹, Ruzhana Vecherko², Marina Dmitrenok³, Pavel Pakul²

¹Researcher of the Ornithology Laboratory

of the Scientific Research Center of the NAS of Belarus for Bioresources

^{2,4}Junior Researcher of the Ornithology Laboratory

of the Scientific Research Center of the NAS of Belarus for Bioresources

³PhD in Biology, Leading Researcher of the Ornithology Laboratory

of the Scientific Research Center of the NAS of Belarus for Bioresources

e-mail: ostrovsky@inbox.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВЯЗИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПТИЦ И МЛЕКОПИТАЮЩИХ С ГНЕЗДАМИ ЧЕРНЫХ АИСТОВ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

Приводятся результаты анализа фото- и видеоматериалов, собранных при помощи автоматических фотокамер-ловушек в Столинском районе Брестской области в 2015–2020 гг. Определены экологические связи посетителей с гнездами черных аистов, выявлен таксономический состав посетителей. Выявлены виды птиц, занесенные в Красную книгу Республики Беларусь, а также новый вид птиц для заказника республиканского значения «Средняя Припять». Проанализирована угроза для гнездования черных аистов со стороны хищных птиц и млекопитающих, определена роль гнезд черных аистов для других видов животных. Представлены данные по фенологии некоторых видов птиц.

Ключевые слова: экологические связи, птицы, черный аист, *Ciconia nigra*, млекопитающие, Белорусское Полесье.

Ecological Relationships of Some Bird Species and Mammals with Black Stork Nests in the Belarusian Polesie

The paper presents the results of the analysis of automatic camera-traps data in the Stolin district (Brest region) in 2015–2020. The taxonomic composition and ecological relationships of visitors to the Black Stork nests is revealed. The species of birds included in the Red Book of the Republic of Belarus, as well as a new species of birds for the reserve of republican significance «Middle Pripyat», have been identified. The threat to nesting of Black Storks from predators (birds and mammals) is analyzed, the role of Black Stork nests for other species is determined. Data on the phenology of some bird species are presented.

Key words: ecological relationships, birds, black stork, *Ciconia nigra*, mammals, Belarusian Polesie.

Введение

В последние годы технические средства полевых исследований становятся все более популярными и доступными, их использование делает изучение птиц более точным и достоверным.

С 2015 г. в Белорусском Полесье (Столинский р-н Брестской обл.) начато использование фотокамер-ловушек для сбора материала по успеху гнездования, фенологии и причинам гибели кладок и птенцов редкого, внесенного в Красную книгу Беларуси вида птиц – черного аиста (*Ciconia nigra*). Известно, что гнезда крупных птиц, таких как черный аист, привлекательны для других видов животных как трофически, так и топически [1]. Гнезда черных аистов нередко занимают дневные хищные птицы – обыкновенные канюки, черные коршуны и др. [2–4].

Первые результаты, полученные с помощью фотокамер-ловушек, о причинах неуспешного гнездования, а также о хоминге черного аиста, были опубликованы авторами ранее [5–7]. Однако помимо основного вида-хозяина на гнездах черных аистов попутно регистрировались и другие виды птиц и млекопитающих.

Целью нашего исследования является выявление и определение таксономического состава и экологических связей посетителей гнезд черных аистов.

Место исследования

Исследования проводились в Столинском р-не Брестской обл., на стационарах «Средняя Припять» и «Пойма Львы» (общая площадь 230 км²). Стационар «Средняя Припять» (рисунок) входит в состав ландшафтного заказника республиканского значения «Средняя Припять» и включает в себя два природных комплекса: пойма р. Припять с заливными лугами, лесами, и внепойменная терраса с широколиственными и хвойными лесами. В лесной формации доминируют черноольшаники (40–50 лет), грабово-дубовые леса (85–100 лет). Большая часть леса затопливается весенним половодьем. Стационар «Пойма Львы», расположенный в междуречье рек Горынь и Льва, представляет собой крупный лесной массив, в котором преобладают лиственные заболоченные леса, на пологих грядах они замещаются сосняками. С 2014 г. наблюдается сильная прогрессирующая год от года засуха, что повлияло как на черных аистов, так и на другие виды животных [8].

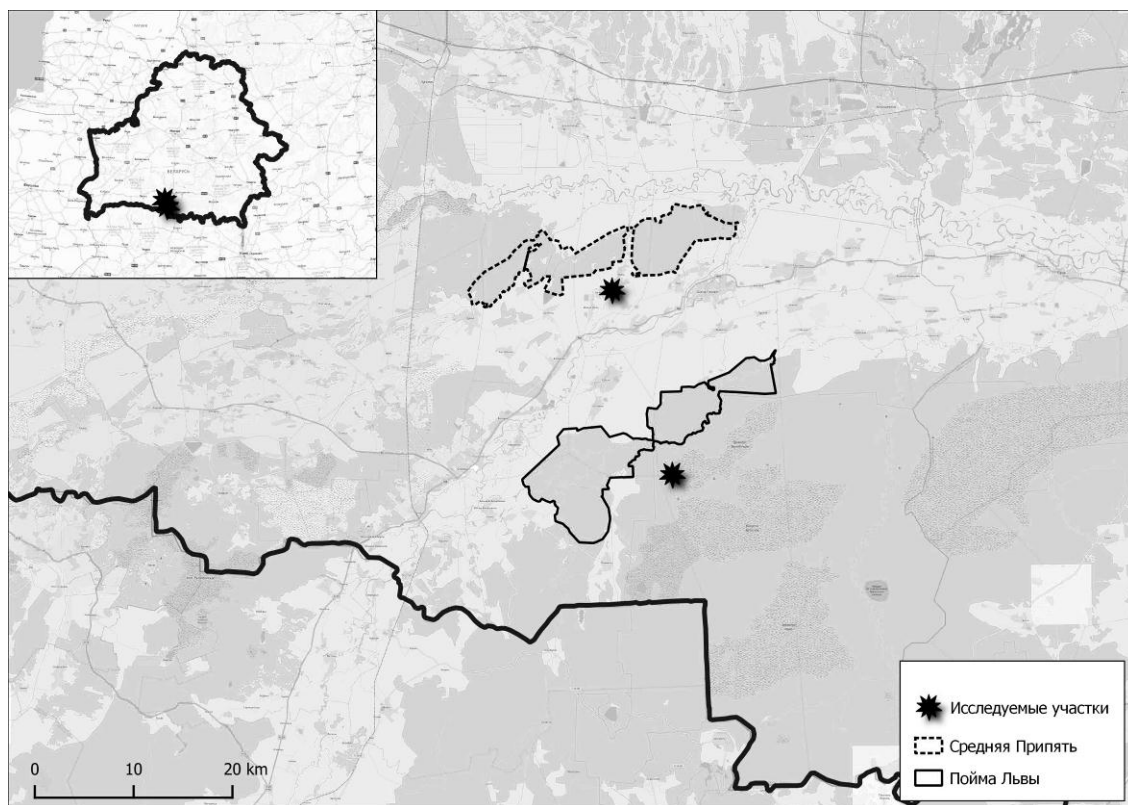


Рисунок. – Расположение мест исследований

Методика и объекты исследования

Материал собирался при помощи автоматических фотокамер-ловушек, установленных на известные гнезда черных аистов. Поиск гнезд осуществлялся с помощью ме-

тогда поиска гнезд хищных птиц, адаптированного для работы с черным аистом [9]. Выявление гнездовых территорий черных аистов осуществлялось с помощью бинокля и зрительной трубы из серии учетных точек, расположенных в 500–1000 м от опушки обследуемого лесного массива. Дальнейший поиск гнезд проводился на выявленных территориях путем прочесывания леса. Камеры устанавливались на расстоянии 2–3 м от гнезда в марте, незадолго до прилета черных аистов, и работали в автоматическом режиме. В конце июня – начале июля, при проверке гнезд и кольцевании птенцов, проводилась замена аккумуляторов и карт памяти. В случае неуспешного гнездования черных аистов камера снималась и устанавливалась на другое гнездо, где были птицы. Снятие камер проводилось осенью, после отлета черных аистов. В 2015–2020 гг. работало 5 фотокамер-ловушек марки Hunting Expert и 10 фотокамер-ловушек марки Bushnel, получены данные с 23 гнезд черных аистов, 6 из которых располагались на искусственных платформах, изготовленных нами для черных аистов. Общее количество исследованных гнезд составило 50 (включая одни и те же гнезда, посещаемые в разные годы).

В статью также включены визуальные наблюдения птиц во время посещений других гнезд черных аистов.

Все зарегистрированные на гнездах черных аистов позвоночные животные были разделены по типам связей по отношению к черным аистам и их гнездам на 4 группы: виды с трофическими, топическими, фабрическими связями и прочие посетители. Виды с трофическими связями – это хищники, которые посещают гнезда черных аистов в поисках добычи, съедая кладки яиц или птенцов либо нападая непосредственно на взрослых черных аистов. Виды с топическими связями используют гнезда черных аистов для гнездования. Виды с фабрическими связями используют для строительства своих гнезд (фабрикаций) материал из гнезд черных аистов (ветки, сухие травинки, мох, пуховые перья, пух). В группу прочих посетителей вошли все остальные виды, большинство из которых используют гнезда черных аистов для кратковременных остановок.

Авторы выражают искреннюю благодарность фонду *Ciconia* за финансовую поддержку исследования, преподавателям и учащимся Минского государственного туристско-экологического центра детей и молодежи, а также волонтерам за помощь в проведении полевых исследований.

Результаты и их обсуждение

По снимкам, полученным с помощью фотокамер-ловушек, установлено, что помимо хозяев – черных аистов их гнезда посещали еще 46 достоверно определенных видов птиц и 4 достоверно определенных вида млекопитающих (таблица). Невысокое качество снимков не позволило идентифицировать до вида некоторые особи куниц, сонь, сов, пеночек, гаичек.

Всего зарегистрировано 4 вида животных с трофическими связями (2 вида птиц и 2 вида млекопитающих), 9 видов птиц с топическими связями, 9 видов птиц с фабрическими связями (не считая не определенных до вида гаичек и пеночек). Наибольшее количество видов животных зарегистрировано среди прочих посетителей – 26 видов птиц и 2 вида млекопитающих (не считая не определенных до вида сонь).

Доминантами по количеству посещений гнезд черных аистов являются большие синицы: 454 посещения и 33 гнезда. Также частыми посетителями оказались обыкновенные лазоревки (179 посещений, 19 гнезд), обыкновенные канюки (134 посещения, 23 гнезда), поползни (125 посещений, 21 гнездо), скворцы (126 посещений, 17 гнезд), серые неясыти (107 посещений, 28 гнезд).

Таблица. – Систематический список видов – посетителей гнезд черных аистов

№ п/п	Систематическое положение	Количество посещенных гнезд*	Общее количество посещений	Тип отношения к гнезду
1	2	3	4	5
Класс Млекопитающие – Mammalia				
1	Лесная куница <i>Martes martes</i>	6	14	a
2	Каменная куница <i>Martes foina</i>	2	4	a
	Куница <i>Martes sp.</i>	15	36	a
3	Ласка <i>Mustela nivalis</i>	3	3	d
4	Обыкновенная белка <i>Sciurus vulgaris</i>	22	101	d
	Соня sp.	11	52	d
Класс Птицы – Aves				
5	Кряква <i>Anas platyrhynchos</i>	1	1	b
6	Орлан-белохвост <i>Haliaeetus albicilla</i>	4	18	a
7	Тетеревятник <i>Accipiter gentilis</i>	9	14	a
8	Перепелятник <i>Accipiter nisus</i>	1	1	b
9	Обыкновенный канюк <i>Buteo buteo</i>	23	134	b
10	Зимняк <i>Buteo lagopus</i>	1	1	b
11	Малый подорлик <i>Aquila pomarina</i>	4	4	b
12	Большой подорлик <i>Aquila clanga</i>	3	16	b
13	Черныш <i>Tringa ochropus</i>	1	1	d
14	Вяхирь <i>Columba palumbus</i>	8	17	d
15	Филин <i>Bubo bubo</i>	2	3	b
16	Серая неясыть <i>Strix aluco</i>	28	107	d
17	Бородатая неясыть <i>Strix nebulosa</i>	2	4	b
	Неясыть <i>Strix sp.</i>	1	1	
18	Ушастая сова <i>Asio otus</i>	3	6	d
	Сова sp.	2	2	
19	Седой дятел <i>Picus canus</i>	2	2	d
20	Средний дятел <i>Dendrocopos medius</i>	8	32	d
21	Желна <i>Dryocopus martius</i>	6	10	d
22	Пестрый дятел <i>Dendrocopos major</i>	14	24	d
23	Белоспинный дятел <i>Dendrocopos leucotos</i>	4	4	d
24	Сирийский дятел <i>Dendrocopos syriacus</i>	1	1	d
25	Лесной конек <i>Anthus trivialis</i>	3	6	c
26	Крапивник <i>Troglodytes troglodytes</i>	4	26	b
27	Лесная завирушка <i>Prunella modularis</i>	2	3	d
28	Зарянка <i>Erithacus rubecula</i>	7	12	d
29	Варакушка <i>Luscinia svecica</i>	1	1	d
30	Черный дрозд <i>Turdus merula</i>	23	81	d
31	Рябинник <i>Turdus pilaris</i>	4	4	d
32	Певчий дрозд <i>Turdus philomelos</i>	1	1	d
33	Белобровик <i>Turdus iliacus</i>	3	4	d
34	Деряба <i>Turdus viscivorus</i>	2	11	c
35	Зеленая пересмешка <i>Hippolais icterina</i>	1	5	d
36	Черноголовая славка <i>Sylvia atricapilla</i>	5	10	d
37	Пеночка-трещотка <i>Phylloscopus sibilatrix</i>	4	10	c
	Пеночка <i>Phylloscopus sp.</i>	4	32	c
38	Мухоловка-пеструшка <i>Ficedula hypoleuca</i>	2	2	d
39	Длиннохвостая синица <i>Aegithalos caudatus</i>	3	7	c
	Гаичка <i>Parus sp.</i>	10	34	c

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
40	Московка <i>Parus ater</i>	1	1	d
41	Обыкновенная лазоревка <i>Parus caeruleus</i>	19	179	c
42	Большая синица <i>Parus major</i>	33	454	c
43	Обыкновенный поползень <i>Sitta europaea</i>	21	125	d
44	Обыкновенная пищуха <i>Certhia familiaris</i>	7	19	c
45	Сойка <i>Garrulus glandarius</i>	21	49	d
46	Ворон <i>Corvus corax</i>	2	3	c
47	Обыкновенный скворец <i>Sturnus vulgaris</i>	17	126	c
48	Зяблик <i>Fringilla coelebs</i>	6	18	d
49	Чиж <i>Carduelis spinus</i>	5	9	d
50	Обыкновенный дубонос <i>Coccothraustes coccothraustes</i>	12	53	d

Примечание – * – включены одни и те же гнезда, обследуемые в разные годы; a – виды с трофическими связями; b – виды с топическими связями; c – виды с фабрическими связями; d – прочие посетители.

Данные, полученные с помощью современных средств исследований, позволили достоверно определить степень влияния некоторых видов хищных птиц и млекопитающих на успех гнездования черных аистов, значимость гнезд черных аистов для гнездования других видов птиц, а также выявить и другие экологические связи.

I. Виды с **трофическими** связями. В Латвии хищничество по отношению к кладкам и птенцам черных аистов со стороны как птиц, так и млекопитающих исследовал М. Страдс. Им отмечены случаи похищения и поедания птенцов черных аистов предположительно орланом-белохвостом, тетеревятником и куницей [10]. Эта группа животных оказывает существенное влияние на успех гнездования черных аистов, и более подробно данный вопрос будет рассмотрен в отдельной статье.

Орлан-белохвост. Хищничество орлана-белохвоста по отношению к черному аисту было известно и ранее. Так, В. В. Юрко пишет, что в середине 1990-х гг. численность орлана-белохвоста возросла и случаи атаки гнезд черных аистов участились [11]. В ходе наших исследований камерами зарегистрировано по одному случаю разорения гнезд черных аистов орланами-белохвостами в 2015, 2016, 2017 и 2018 гг. (всего 4 случая на четырех разных гнездах). Орлан убивал и съедал полуоперенных птенцов черных аистов, при этом погибали все птенцы из выводка.

Гибель взрослых, неполовозрелых черных аистов и птенцов в результате хищничества орлана-белохвоста зарегистрирована также на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника [12].

Тетеревятник. Зарегистрированы два случая нападения одиночных молодых тетеревятников на полуоперенных птенцов черных аистов. В каждом случае ястреб уносил из гнезда только одного птенца из 2–3 в выводке.

Лесная и каменная куницы. Куницы отнесены к этой группе видов условно, как потенциально опасные для черных аистов хищники. За весь период наблюдений куницы посещали 17 из 24-х гнезд черных аистов, при этом некоторые гнезда посещались неоднократно за сезон и в разные годы (всего 23 гнезда и 54 посещения). Однако фотокамерами-ловушками не зарегистрировано ни одного случая разорения куницей гнезда черных аистов. Гнезда посещались в отсутствие аистов до либо после гнездового сезона. В одном случае куницы сделали в гнезде нору, что, вероятно, послужило причиной разрушения гнезда. Достоверно определенные каменные куницы отмечены фотокамерами только на двух гнездах (естественном и искусственном) черных аистов. Случаи гибели

птенцов черных аистов в гнезде, предположительно, от лесных куниц известны в Полесском радиационно-экологическом заповеднике [13]. Однако выводы о хищничестве куниц сделаны по косвенным данным, и этому нет прямых доказательств. Единичные случаи разорения лесными куницами гнезд черных аистов известны в Латвии с 1985 г. [10].

Таким образом, в условиях Белорусского Полесья наиболее серьезный урон гнездам черных аистов наносят орланы-белохвосты, т. к. при нападении на гнезда они убивают всех птенцов в выводке. В отличие от орланов, тетеревятники в наших исследованиях добывали лишь по одному птенцу из выводка.

II. Виды с *топическими* связями.

Большой и малый подорлики. Зарегистрировано 3 случая гнездования подорликов (*Aquila pomarina*, *Aquila clanga* и гибриды *clanga* × *pomarina*) в гнездах черных аистов. Также фотокамерой-ловушкой зарегистрирован 26.04.2018 г. принос в пустое гнездо черных аистов большим подорликом добытой ласки, которую он спустя 5 часов забрал из гнезда.

Обыкновенный канюк. Отмечены 2 случая успешного гнездования канюков (при проверке гнезда черных аистов без фотокамеры-ловушки) и 3 случая неуспешного гнездования (с помощью фотокамер-ловушек). В случаях успешного гнездования были обнаружены полностью оперенные птенцы канюка. В двух случаях строительство лотка гнезда канюками прерывалось появлением черного аиста на гнезде. Еще одна неудачная попытка строительства гнезда канюками зарегистрирована на искусственной платформе для черных аистов. Однако птицы прекратили строительство по неизвестным причинам. Также дважды зарегистрировано спаривание канюков на другой искусственной платформе для черных аистов. Ранее факты гнездования канюков в пустующих гнездах черных аистов на территории Беларуси были описаны в литературе [14; 15].

Филин. Фотокамерой-ловушкой этот вид отмечен в пустом искусственном гнезде для черных аистов. Перья филина были найдены в обрушившемся гнезде черных аистов в окрестностях д. Лядец. Некоторые случаи обрушения гнезд черных аистов можно также связать с попытками гнездования филина по характерным пороям в центре гнезда. Также случаи гнездования филинов в гнездах черных аистов известны для стационара «Средняя Припять» (личное сообщение В. Ч. Домбровского) и для соседнего Житковичского р-на [16].

Бородатая неясыть. Случаи гнездования бородатых неясытей в пустующих гнездах черных аистов известны на территории соседнего республиканского ландшафтного заказника «Ольманские болота» [17]. Нами зарегистрировано лишь трехкратное посещение пустого искусственного гнезда для черных аистов (окрестности д. Старина) бородатой неясытью, недалеко от Ольманских болот, где численность бородатой неясыти значительна [18], и однократное посещение пустого гнезда черных аистов (окрестности д. Могильное – ландшафтный заказник «Средняя Припять»), где ранее бородатая неясыть не отмечалась.

Кряква однократно посещала пустое гнездо черных аистов 01.05.2016 г., вероятно, в поисках места для гнездования. Случай гнездования кряквы (кладка из 5-ти свежих яиц) в боковой нише жилого гнезда белых аистов (на дубе) отмечен 25.04.2000 г. в соседнем Житковичском р-не, в пойме р. Припять.

Крапивники посещали 4 пустых гнезда черных аистов (всего 26 посещений). При проверке гнезда черных аистов без фотокамеры-ловушки отмечено гнездование (гнездо с птенцами, 25.06.2012 г.) крапивников в жилом гнезде черных аистов на дубе, на высоте 9 м.

В группу с топическими связями условно включен также не гнездящийся в Беларуси зимняк. В 2017 г. зарегистрирован один случай посещения пустого искусственного

гнезда для черных аистов зимняком в середине марта. Фотокамера-ловушка в течение 7 мин снимала, как одиночная птица перекладывала клювом ольховые ветки в гнезде.

По литературным данным, тетеревятники также нередко занимают старые гнезда черных аистов [19]. Однако за период исследований нами не зарегистрировано ни одного подобного случая.

III. Виды с *фабрическими* связями.

Зеленый мох из гнезд черных аистов собирали деряба и большая синица; сухую траву – лесной конек, обыкновенный скворец, пеночки, длиннохвостая синица; пух и пуховые перья – пищухи, гаички. Обыкновенные лазоревки собирали и сухую траву, и пух, и пуховые перья.

Ворон также включен в группу с фабрическими связями. В 2017 г. сбор веток вороном в пустом гнезде черных аистов зарегистрирован фотокамерой-ловушкой в Воложинском р-не Минской обл. в начале марта. В Столинском р-не отмечены лишь 3 посещения воронами двух пустых гнезд черных аистов.

д) Прочие посетители. Частыми ночными посетителями (11 гнезд, 52 посещения) пустующих гнезд черных аистов являются сони, однако из-за низкого качества ночных снимков видовую принадлежность зверьков установить не удалось. Высота расположения гнезд черных аистов, на которых отмечались сони, составляла 4–13 метров.

Кроме того, в одном из пустующих гнезд черных аистов на клене зарегистрированы птенцы серой неясыти: 2 пуховых птенца – 26–27 мая и 8 июня 2019 г., пуховой птенец – 23.06.2020 г. На этом же гнезде 20.05.2020 г. зарегистрирована взрослая серая неясыть с добычей (перепелятник). И птенцы, и взрослая неясыть находились в гнезде непродолжительное время.

Получены данные по фенологии весеннего прилета (наиболее ранние регистрации) некоторых видов птиц – посетителей гнезд черных аистов:

Малый подорлик – 06.04.2016 г., 05.04.2017 г.

Обыкновенный канюк – 19.03.2016 г., 24.03.2017 г., 28.03.2018 г., 25.03.2020 г.

Черныш – 11.04.2017 г.

Вяхирь – 04.04.2020 г.

Черный дрозд – 26.03.2016 г., 21.03.2017 г., 21.03.2020 г.

Белобровик – 30.04.2017 г., 23.04.2018 г.

Деряба – 03.04.2017 г.

Рябинник – 05.04.2018 г.

Обыкновенный скворец – 31.03.2016 г., 23.03.2017 г., 10.04.2018 г., 29.03.2019 г.

Черноголовая славка – 21.04.2016 г., 11.05.2017 г.

Мухоловка-пеструшка – 25.04.2016 г.

Пеночка-трещотка – 15.04.2016 г., 30.04.2018 г.

Зарянка – 03.04.2016 г., 29.03.2017 г., 04.04.2018 г.

Варакушка – 05.04.2018 г.

Зяблик – 02.04.2017 г.

Заключение

Гнезда черных аистов являются важным экологическим ресурсом для большого количества видов животных. Использование фотокамер-ловушек является одним из надежных способов установить эти связи и выявить некоторые аспекты, недоступные при обычном наблюдении.

Результаты наблюдений показали, что не занятые черными аистами гнезда могут являться местами для гнездования таких видов хищных птиц, как обыкновенный канюк, большой и малый подорлики, тетеревятник, филин, бородатая неясыть.

Среди посетителей гнезд черных аистов 6 видов птиц (орлан-белохвост, малый и большой подорлики, филин, бородастая неясыть, белоспинный дятел) занесены в Красную книгу Республики Беларусь и один вид (средний дятел) внесен в дополнительный аннотированный список видов, требующих дополнительного изучения и внимания в целях профилактической охраны [20]. Особенно интересной является регистрация бородастой неясыти в пустом гнезде черных аистов в районе д. Могильное, на территории ландшафтного заказника республиканского значения «Средняя Припять». Ранее этот редкий вид на территории заказника не отмечался [21; 22].

Настоящая статья направлена на призыв других исследователей, использующих в своей работе фотокамеры-ловушки, к анализу получаемых и накапливаемых фото- и видеоматериалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nests of the white stork as suitable microsites for the colonisation and establishment of ruderal plants in the agricultural landscape / L. Dylewski [et al.] // Plant ecology. – 2021. – № 1. – P. 1–12.

2. Ивановский, В. В. Состояние популяции черного аиста в Витебской области в 1983–1989 гг. / В. В. Ивановский // Аисты: распространение, экология, охрана : материалы II и III Всесоюз. совещ. рабочей группы по аистам Всесоюз. орнитол. о-ва / редкол.: И. Э. Самусенко [и др.]. – Минск : Наука і тэхніка, 1992. – С. 206–211.

3. Никифоров, М. Е. Птицы Белоруссии : справ.-определитель гнезд и яиц / М. Е. Никифоров, Б. В. Яминский, Л. П. Шкляр. – Минск : Выш. шк., 1989. – 479 с.

4. Федюшин, А. В. Птицы Белоруссии / А. В. Федюшин, М. С. Долбик. – Минск : Наука и техника, 1967. – 519 с.

5. Дмитренко, М. Г. Причины неуспешного гнездования черных аистов (*Ciconia nigra*) в Полесье / М. Г. Дмитренко, О. А. Островский, П. А. Пакуль // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси : сб. ст. XI Зоол. междунар. науч.-практ. конф., приуроченной к десятилетию основания ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», Минск, 1–3 нояб. 2017 г. : в 2 т. / редкол.: О. И. Бородин [и др.]. – Минск : Изд. А. Н. Вараксин, 2017. – Т. 1. – С. 103–105.

6. Дмитренко, М. Г. К вопросу о хоминге у черного аиста *Ciconia nigra* / М. Г. Дмитренко, П. А. Пакуль, О. А. Островский // Актуальные проблемы охраны животного мира в Беларуси и сопредельных регионах : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–18 окт. 2018 г. / ред. кол.: А. В. Кулак [и др.]. – Минск : ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», 2018. – С. 136–138.

7. Дмитренко, М. Г. Современное состояние гнездовой группировки черного аиста в центральной части Белорусского Полесья / М. Г. Дмитренко, П. А. Пакуль // Орнитологические исследования в странах Северной Евразии : тез. XV Междунар. орнитол. конф. Сев. Евразии, посвящ. памяти акад. М. А. Мензбира (165-летию со дня рождения и 85-летию со дня смерти). – Минск : Беларус. навука, 2020. – С. 160–161.

8. Пакуль, П. А. О влиянии видового состава и обилия видов жертв малого подорлика на успешность его гнездования / П. А. Пакуль, М. Г. Дмитренко // Орнитологические исследования в странах Северной Евразии : тез. XV междунар. орнитол. конф. Сев. Евразии, посвящ. памяти акад. М. А. Мензбира. – Минск : Беларус. навука, 2020. – С. 360–361.

9. Dmitrenok, M. Méthode d'estimation des effectifs et de recherche de nids pour la Cigogne noire: les résultats d'une étude menée en Biélorussie / M. Dmitrenok, V. Dombrovski, P. Pakul // Ornithos. – 2016. – Vol. 1. – P. 142–147.

10. Strazds, M. Conservation Ecology of the Black Stork in Latvia. Dissertation for a PhD in biology / M. Strazds. – Riga : Univ. of Latvia, 2011. – 86 p.
11. Юрко, В. В. Гнездовая биология орлана-белохвоста в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике, Беларусь / В. В. Юрко // Пернатые хищники и их охрана. – 2015. – № 30. – С. 94–103.
12. Юрко, В. В. Питание орлана-белохвоста в гнездовой период в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике, Беларусь / В. В. Юрко // Пернатые хищники и их охрана / Raptors Conservation. – 2016. – № 32. – С. 21–31.
13. Юрко, В. В. Гнездовая биология черного аиста (*Ciconia nigra*) в Полесском радиационно-экологическом заповеднике (Беларусь) / В. В. Юрко // Беркут. – 2017. – Т. 26, вып. 1. – С. 43–48.
14. Ивановский, В. В. Хищные птицы Белорусского Поозерья : монография / В. В. Ивановский. – Витебск : УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2012. – 209 с.
15. Гричик, В. В. Орнитофауна верховий реки Щара (Брестская область) / В. В. Гричик, В. Н. Воробьев, Г. А. Миндлин // Subbuteo. Беларускі арніталагічны бюлетэнь. – 2014. – Т. 11. – С. 15–50.
16. Гричик, В. В. Филин (*Bubo bubo*) в Беларуси: распределение и биология гнездования / В. В. Гричик, А. К. Тишечкин // Subbuteo. Беларускі арніталагічны бюлетэнь. – 2002. – Т. 5. – С. 3–19.
17. Орнитофауна Ольманских болот / В. Ч. Домбровский [и др.] // Subbuteo. Беларускі арніталагічны бюлетэнь. – 2014. – Т. 11. – С. 51–73.
18. Дамброўскі, В. Ч. Альманскія балоты / В. Ч. Дамброўскі // Тэрыторыі, важныя для птушак у Беларусі / пад агул. рэд. С. В. Левага. – Мінск : РыфТУР ПРЫНТ, 2015. – С. 51–52.
19. Ивановский, В. В. Современный статус и экология размножения ястреба-тетеревятника в Белоруссии / В. В. Ивановский // Беркут. – 1996. – Т. 5, вып. 2. – С. 137–140.
20. Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / гл. редкол.: И. М. Качановский (пред.) [и др.]. – 4-е изд. – Минск : Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 320 с.
21. Скарбы прыроды Беларусі – Treasures of Belarusian Nature. Тэрыторыі, якія маюць міжнароднае значэнне для захавання біялагічнай разнастайнасці / аўт. тэксту і фота А. В. Казулін [і інш.]; уклад. А. В. Казулін, Л. А. Вяргейчык, С. В. Зуенак. – 2-е выд., перапрац., дап. – Мінск : Беларусь, 2005. – 215 с.
22. Левы, С. В. Сярэдняя Прыпяць / С. В. Левы // Тэрыторыі, важныя для птушак у Беларусі / пад агул. рэд. С. В. Левага. – Мінск : РыфТУР ПРЫНТ, 2015. – С. 48–50.

REFERENCES

1. Nests of the white stork as suitable microsites for the colonisation and establishment of ruderal plants in the agricultural landscape / L. Dylewski [et al.] // Plant ecology. – 2021. – Nr 1. – P. 1–12.
2. Ivanovskij, V. V. Sostojanije populiacii chionnogo aista v Vitiebskoj oblasti v 1983–1989 godakh / V. V. Ivanovskij // Aisty: rasprostranienije, ekologija, okhrana : materialy II i III Vsiesojuz. sovieshch. rabochiej grupy po aistam Vsiesojuz. ornitol. o-va / riedkol.: I. Ye. Samusenko [i dr.]. – Minsk : Navuka i tekhnika, 1992. – S. 206–211.
3. Nikiforov, M. Ye. Pticy Bielorusii : sprav.-opriedielitel' gniozd i jaic / M. Ye. Nikiforov, B. V. Yaminskij, L. P. Shkliarov. – Minsk : Vysh. shk., 1989. – 479 s.
4. Fiediusin, A. V. Pticy Bielorusii / A. V. Fiediusin, M. S. Dolbik. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1967. – 519 s.

5. Dmitrienok, M. G. Prichiny nieuspieshnogo gniezdovaniya chiornykh aistov (*Ciconia nigra*) v Polies'je / M. G. Dmitrienok, O. A. Ostrovskij, P. A. Pakul' // Aktual'nyje problemy zoologichieskoj nauki v Bielarusi : sb. st. XI Zool. miezhdunar. nauch.-prakt. konf., priurochiennoj k diesiatilietiju osnovaniya GNPO «NPTS NAN Bielarusi po bioriesursam», Minsk, 1–3 nojab. 2017 g. : v 2 t. / riedkol.: O. I. Borodin [i dr.]. – Minsk : Izd. A. N. Varaksin, 2017. – T. 1. – S. 103–105.

6. Dmitrienok, M. G. K voprosu o khomingie u chiornogo aista *Ciconia nigra* / M. G. Dmitrienok, P. A. Pakul', O. A. Ostrovskij // Aktual'nyje problemy okhrany zhivotnogo mira v Bielarusi i sopriediel'nykh riegionakh : matierialy I Miezhhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 15–18 okt. 2018 g. / ried. kol. : A. V. Kulak [i dr.]. – Minsk : GNPO «NPTS NAN Bielarusi po bioriesursam», 2018. – S. 136–138.

7. Dmitrienok, M. G. Sovriemiennoje sostojaniye gniezdovoj gruppirovki chiornogo aista v cenral'noj chasti Bieloruskogo Polies'ja / M. G. Dmitrienok, P. A. Pakul' // Ornitologichieskije issliedovaniya v stranakh Sieviernoj Jevrazii : tez. XV Miezhhdunar. ornitol. konf. Sieviernoj Jevrazii, posviashch. pamiaty akad. M. A. Mienzbira (165-lietiju so dnia rozhdienija i 85-lietiju so dnia smierti). – Minsk : Bielarus. navuka, 2020. – S. 160–161.

8. Pakul', P. A. O vlijanii vidovogo sostava i obilija vidov zhertv malogo podorlika na uspieshnost' jego gniezdovaniya / P. A. Pakul', M. G. Dmitrienok // Ornitologichieskije issliedovaniya v stranakh Sieviernoj Jevrazii : tez. XV Miezhhdunar. ornitol. konf. Sieviernoj Jevrazii, posviashch. pamiaty akad. M. A. Mienzbira. – Minsk : Bielarus. navuka, 2020. – S. 360–361.

9. Dmitrenok, M. Méthode d'estimation des effectifs et de recherche de nids pour la Cigogne noire: les résultats d'une étude menée en Biélorussie / M. Dmitrenok, V. Dombrovski, P. Pakul' // Ornithos. – 2016. – Vol. 1. – P. 142–147.

10. Strazds, M. Conservation Ecology of the Black Stork in Latvia. Dissertation for a PhD in biology / M. Strazds. – Riga : Univ. of Latvia, 2011. – 86 p.

11. Yurko, V. V. Gniezdovaja biologija orlana-bielokhvosta v Poliesskom gosudarstviennom radiacionno-ekologichieskom zapovednike, Bielarus' / V. V. Yurko // Piernatyje khishchniki i ikh okhrana. – 2015. – № 30. – S. 94–103.

12. Yurko, V. V. Pitaniye orlana-bielokhvosta v gniezdovoj pieriod v Poliesskom gosudarstviennom radiacionno-ekologichieskom zapovednikie, Bielarus' / V. V. Yurko // Piernatyje khishchniki i ikh okhrana / Raptors Conservation. – 2016. – № 32. – S. 21–31.

13. Yurko, V. V. Gniezdovaja biologija chiornogo aista (*Ciconia nigra*) v Poliesskom radiacionno-ekologichieskom zapovednike (Bielarus') / V. V. Yurko // Bierkut. – 2017. – T. 26, vyp. 1. – S. 43–48.

14. Ivanovskij, V. V. Khishchnyje pticy Bieloruskogo Poozierja : monografija / V. V. Ivanovskij. – Vitiebsk : UO «VGU im. P. M. Masherova», 2012. – 209 s.

15. Grichik, V. V. Ornitofauna vierkhovij rieki Shchara (Briestskaja oblast') / V. V. Grichik, V. N. Vorobjov, G. A. Mindlin // Subbuteo. Bielaruski arnitalahichny biulieten'. – 2014. – T. 11. – S. 15–50.

16. Grichik, V. V. Filin (*Bubo bubo*) v Bielarusi: raspriedielienije i biologija gniezdovaniya / V. V. Grichik, A. K. Tishechkin // Subbuteo. Bielaruski arnitalahichny biulieten'. – 2002. – T. 5. – S. 3–19.

17. Dombrovskij, V. Ch. Ornitofauna Ol'manskikh bolot / V. Ch. Dombrovskij, D. V. Zhuravliov, M. G. Dmitrienok, O. A. Ostrovskij // Subbuteo. Bielaruski arnitalahichny biulieten'. – 2014. – T. 11. – S. 51–73.

18. Dambrouski, V. Ch. Al'manskija baloty / V. Ch. Dambrouski // Terytoryi, vazhnyja dlia ptushak u Bielarusi / pad agul. red. S. V. Lievaha. – Minsk : RyfTUR PRynT, 2015. – S. 51–52.

19. Ivanovskij, V. V. Sovriemiennyj status i ekologija razmnozhenija jastriebatietierieviatnika v Bielorusii / V. V. Ivanovskij // Bierkut. – 1996. – Т. 5, вып. 2. – S. 137–140.
20. Krasnaja kniga Riespubliki Bielarus'. Zhivotnyje: riedkije i nakhodiashchiesia pod ugrozoi ischieznovienija vidy dikikh zhivotnykh / gl. riedkol.: I. M. Kachanovskij (pred.) [i dr.]. – 4-je izd. – Minsk : Bielarus. Encykl. imia P. Brouki, 2015. – 320 s.
21. Skarby pryrody Bielarusi – Treasures of Belarusian Nature. Terytoryi, jakija majuc' mizhnarodnaje znachennie dla zachavannia bijalahichnaj raznastajnasci / aut. tekstu i fota A. V. Kazulin [i insh.] ; uklad. A. V. Kazulin, L. A. Viarhieychyk, S. V. Zujonak. – 2-je vyd., pieraprac., dap. – Minsk : Bielarus', 2005. – 215 s.
22. Lievy, S. V. Siaredniaja Prypiac' / S. V. Lievy // Terytoryi, vazhnyja dla ptushak u Bielarusi / pad ahul. red. S. V. Lievaha. – Minsk : RyfTUR PRynT, 2015. – S. 48–50.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 14.06.2021

УДК 634.711:631.81

**Наталья Федоровна Терлецкая¹,
Андрей Николаевич Гапонюк², Александра Степановна Антонюк³**

¹канд. биол. наук, науч. сотрудник лаборатории агробиологии
Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси

²магистр биол. наук, науч. сотрудник лаборатории агробиологии
Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси

³науч. сотрудник лаборатории агробиологии
Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси

Natallia Tsiarletskaia¹, Andrey Gaponiuk², Aleksandra Antoniuk³

¹Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Agrobiology
of the Polesie Agrarian Ecological Institute of the NAS of Belarus

²Master of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Agrobiology
of the Polesie Agrarian Ecological Institute of the NAS of Belarus

³Researcher of the Laboratory of Agrobiology
of the Polesie Agrarian Ecological Institute of the NAS of Belarus

e-mail: ¹klmvntsh@rambler.ru; ²andnik2017@yandex.ru; ³ant_sash@rambler.ru

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ МАЛИНЫ РЕМОНТАНТНОЙ НА ПОЧВАХ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ

Приведены результаты исследований по изучению влияния традиционных минеральных и комплексных водорастворимых удобрений на рост, развитие и урожайность малины ремонтантной. Установлено, что в условиях капельного орошения внесение минеральных удобрений способствует росту малины ремонтантной, увеличению количества плодоносящих побегов на кусте и повышению урожайности. На формирование урожая малины ремонтантной оказывают влияние дозы, способы и формы удобрений. Применение традиционных удобрений ($N_{135}P_{135}K_{135}$) обеспечило прибавку урожайности на уровне 2 т/га. При внесении комплексного водорастворимого удобрения Кристалон особый ($N_{135}P_{135}K_{135}$ + микроэлементы) прибавка урожайности малины составила 2,69 т/га. Максимальная прибавка урожайности (3,95 т/га) получена при внесении удобрений ($N_{150}P_{60}K_{200}$ + микроэлементы) путем фертигации.

Ключевые слова: малина ремонтантная, минеральное питание, урожайность, фертигация, водорастворимое удобрение, некорневая подкормка.

The Role of Mineral Nutrition in the Formation of the Yield of Remontant Raspberry on the Soils of South-West Belarus

The article presents the results of studies of the influence of traditional mineral and complex water-soluble fertilizers on the growth, development and yield of remontant raspberry. It was found that in conditions of drip irrigation, the application of mineral fertilizers promotes the growth of remontant raspberry, an increase in the number of fruiting shoots on the bush and an increase in yield. The formation of the yield of remontant raspberry is influenced by the dose, methods and forms of fertilizers. The use of traditional fertilizers ($N_{135}P_{135}K_{135}$) provided an increase in yield at the level of 2 t/ha. With the introduction of a complex water-soluble fertilizer Kristalon special ($N_{135}P_{135}K_{135}$ + trace elements), the increase in the yield of raspberries was 2,69 t/ha. The maximum yield increase (3,95 t/ha) was obtained with fertilization ($N_{150}P_{60}K_{200}$ + trace elements) by fertigation.

Key words: remontant raspberry, mineral nutrition, yield, fertigation, water soluble fertilizer, foliar feeding.

Введение

В последние годы с увеличением площадей насаждений малины ремонтантной возрастает роль данной культуры в ягодоводстве страны. Сорты малины ремонтантной предъявляют высокие требования к режиму питания, что связано с большим выносом питательных веществ из почвы с урожаем и ежегодно удаляемой надземной массой, а также высокими темпами роста и развития ежегодно обновляющихся плодоносящих побегов [1; 2]. В связи с этим для получения высококачественных урожаев необходимо

научно обоснованное применение удобрений с учетом обеспеченности почвы элементами питания и физиологических потребностей растений. В литературе отсутствуют конкретные рекомендации по вопросам питания малины ремонтантной. Некоторые авторы предлагают вносить увеличенные в 1,5–2 раза по сравнению с традиционной технологией дозы удобрений [3]. Другие авторы рекомендуют на плантациях малины ремонтантной фосфорно-калийные удобрения вносить с 2–3-летней периодичностью, азотные – ежегодно [4; 5].

В последние годы большое внимание при возделывании сельскохозяйственных культур, в т. ч. и плодово-ягодных, уделяется некорневым подкормкам микроудобрениями. Эффективность таких подкормок связана с многократным снижением норм расхода дорогостоящих микроэлементов вследствие более высокой их растворимости и лучшего усвоения поверхностью листьев, что способствует устранению дефицита микроэлементов в критические фазы роста и развития растений. Некорневые подкормки микроудобрениями применимы и при сравнительно высоком содержании микроэлементов в почве, так как они повышают их концентрацию в молодых листьях, что особенно важно на завершающих этапах роста и развития растений. Однако обеспечить культуру питательными веществами на длительный срок некорневой подкормкой невозможно, потому что внесение их в больших количествах может оказать губительное действие на растения. Следовательно, основными подкормками нужно считать корневые, некорневые же являются дополнительными [6–11].

По данным О. В. Емельяновой, некорневая подкормка растений малины ремонтантной водорастворимыми удобрениями марок Кристалон особый и Кристалон коричневый способствует увеличению урожайности на 62,5 и 79,2 % соответственно за счет стимулирования роста и развития плодоносящих побегов, латералов и ягод; также повышается рентабельность производства: на 40,6 и 48,1 % соответственно. Однако в настоящее время недостаточно конкретных данных о сроках и кратности некорневых обработок малины ремонтантной, концентрациях рабочих растворов, сочетаемости с системой почвенного внесения удобрений [1; 5].

Целью наших исследований явилось изучение влияния на рост, развитие и урожайность малины ремонтантной доступных и рекомендуемых для использования на ягодных культурах традиционных минеральных и комплексных водорастворимых удобрений, а также эффективности применения водорастворимых удобрений путем фертигации и некорневых подкормок.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований явилась малина ремонтантная сорта Херитидж. Полевые опыты проводились в фермерском хозяйстве «Беркли» (Брестский р-н). Почвенный покров в посадке малины представлен дерново-подзолистой глееватой связносупесчаной почвой, подстилаемой с глубины 0,8 м. рыхлым песком. Расположение делянок рендомизированное.

Схема опытов по внесению традиционных минеральных удобрений включала:

- 1) контроль (без внесения удобрений),
- 2) N₉₀P₉₀K₁₂₀, N₁₃₅P₁₃₅K₁₈₀,
- 3) N₂₀₀P₂₀₀K₂₆₀, N₃₀₀P₃₀₀K₃₉₀,
- 4) N₂₀₀P₂₀₀K₂₆₀ (кк), N₂₀₀P₂₀₀K₂₆₀ + доломитовая мука 6,5 т/га.

Внесение комплексного водорастворимого удобрения Кристалона особого (N (18 %), P₂O₅ (18 %), K₂O (18 %), MgO (3 %), SO₃ (5 %), B (0,025 %), Mo (0,004 %), Cu (0,01 %), Fe (0,07 %), Mn (0,04 %), Zn (0,025 %)) проводилось по следующей схеме:

- 1) контроль (без внесения удобрений),
- 2) Кристалон особый (N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅),

- 3) Кристалон особый (N₃₀₀P₃₀₀K₃₀₀),
- 4) Кристалон особый + сульфат калия (N₁₃₅P₁₃₅K₁₈₀),
- 5) Кристалон особый + сульфат калия (N₃₀₀P₃₀₀K₃₉₀).

В опыте по изучению внесения удобрений совместно с поливом (фертигация) применялся Кальцинит (N (15,5 %), CaO (26,5 %)), Кристалон красный (N (12 %), P₂O₅ (12 %), K₂O (36 %), MgO (1 %), SO₃ (2,5 %), B (0,025 %), Cu (0,01 %), Fe (0,07 %), Mn (0,04 %), Mo (0,004 %), Zn (0,025 %)), Кристалон голубой (N (19 %), P₂O₅ (6 %), K₂O (20 %), MgO (3 %), SO₃ (7,5 %), B (0,025 %), Cu (0,01 %), Fe (0,07 %), Mn (0,04 %), Zn (0,025 %), Mo (0,004 %)). Кристалон голубой и Кальцинит вносились с мая по конец июня один раз в неделю (всего 8 раз) в дозах 12 кг/га, 18 кг/га и 24 кг/га, Кристалон красный и Кальцинит – с июля до конца сбора ягод.

Для некорневой подкормки малины ремонтантной использовался Кристалон голубой и Кальцинит в дозе 24 кг/га при концентрации рабочего раствора 1 %. Внесение некорневых удобрений проводилось в основные фазы развития растений (отрастание прикорневых побегов на высоту 20–30 см, образование латералов, образование бутонов) с интервалом 14 дней. Кратность обработок – 3 [8].

Статистическая обработка полученных данных проводилась по Б. А. Доспехову [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Получить высокие и качественные урожаи ягод малины ремонтантной возможно при оптимальном содержании питательных элементов в почве. Однако, как показали наши исследования, на ягодных плантациях Брестской обл. содержание некоторых элементов в почве ниже оптимального уровня. Так, в СООО «ГермесЭкоГрупп» содержание гумуса и магния в почве под насаждениями малины ремонтантной было ниже оптимальных для супесчаной почвы показателей. На опытном стационаре в фермерском хозяйстве «Беркли» в почве под насаждениями малины ремонтантной содержание фосфора и калия находилось ниже оптимальных показателей (таблица 1).

Таблица 1. – Агрохимические показатели почвы под насаждениями малины ремонтантной

Почвы опытных участков	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
		мг/кг		
Рыхлосупесчаная ¹	1,57	206	177	69
Связносупесчаная ²	2,67	72	104	379
Оптимальные показатели для супесчаной почвы	2,0–2,5	200–250	170–250	120–150
Оптимальные показатели для торфяно-минеральной и торфяно-болотной почвы	–	700–1000	600–800	450–900

Примечание – ¹ – рыхлосупесчаная почва (СООО «ГермесЭкоГрупп»); ² – связносупесчаная почва (фермерское хозяйство «Беркли»).

Для создания высокопродуктивных насаждений ремонтантной малины необходимо научно обоснованное применение удобрений с учетом обеспеченности почвы элементами питания и биологических особенностей растений.

Результаты наших исследований показали, что внесение минеральных удобрений способствует росту малины ремонтантной. Наиболее высокие растения малины сформированы при внесении N₃₀₀P₃₀₀K₃₉₀, N₂₀₀P₂₀₀K₂₆₀, N₂₀₀P₂₀₀K₂₆₀ + доломитовая мука 6,5 т/га. Растения были выше контроля на 12,9–19,9 см и на 4,8–11,9 см относительно остальных вариантов опыта (таблица 2).

Таблица 2. – Влияние минеральных удобрений на рост малины ремонтантной сорта Херитидж

Вариант опыта	Высота растения, см	
	месяц	
	апрель	май
N ₀ P ₀ K ₀	36,7 ± 4,21	53,7 ± 5,53
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	40,6 ± 3,87	61,7 ± 3,53
N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₈₀	42,4 ± 4,12	61,8 ± 4,66
N ₂₀₀ P ₂₀₀ K ₂₆₀	46,7 ± 5,24	66,6 ± 4,97
N ₃₀₀ P ₃₀₀ K ₃₉₀	50,2 ± 5,23	69,3 ± 4,22
N ₂₀₀ P ₂₀₀ K ₂₆₀ (ксл)	40,3 ± 3,83	61,8 ± 2,89
N ₂₀₀ P ₂₀₀ K ₂₆₀ + доломитовая мука 6,5 т/га	56,4 ± 2,89	73,6 ± 4,39

Внесение Кристалона особого также благоприятно сказалось на росте малины ремонтантной. Растения в опытных вариантах были выше на 9,1–21,6 см по сравнению с контролем. Наиболее высокие растения были в вариантах с применением Кристалона особого (N₃₀₀P₃₀₀K₃₀₀), а также Кристалона особого с сульфатом калия (N₃₀₀P₃₀₀K₃₉₀) (таблица 3).

Таблица 3. – Влияние Кристалона особого на рост малины ремонтантной сорта Херитидж

Вариант опыта	Высота растений (фаза образования бутонов), см
Контроль	117,3 ± 5,53
Кристалон особый (N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅)	126,4 ± 2,15
Кристалон особый (N ₃₀₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀)	130,6 ± 2,71
Кристалон особый + сульфат калия (N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₈₀)	124,7 ± 4,27
Кристалон особый + сульфат калия (N ₃₀₀ P ₃₀₀ K ₃₉₀)	138,9 ± 4,35

Установлено, что внесение удобрений Кристалон особый и Кальцинит путем фертигации по вышеуказанной схеме способствует росту малины. В опыте с внесением удобрений в дозе 18 и 24 кг/га растения были выше в среднем на 10,3–13,0 см по сравнению с контрольным вариантом (таблица 4).

Таблица 4. – Влияние фертигации (Кристалон голубой, Кальцинит) на рост малины ремонтантной сорта Херитидж

Доза внесения, кг/га	Высота растений, см (фаза образования бутонов)
Контроль	111,6 ± 3,11
12	117,1 ± 4,23
18	121,9 ± 2,86
24	124,6 ± 4,15

Результаты исследований показали, что некорневая подкормка способствует росту и развитию малины ремонтантной. В мае растения были выше относительно контроля в среднем на 3,3 см, в июне – на 7,1 см. В опытных вариантах количество побегов на кусте было больше, чем в контроле (таблица 5).

Таблица 5. – Влияние некорневых подкормок на рост малины ремонтантной сорта Херитидж

Месяц	Высота растения, см		Количество побегов на куст, шт.	
	Некорневая подкормка	Контроль	Некорневая подкормка	Контроль
Апрель	42,6 ± 1,91	42,4 ± 2,84	1	1
Май	76,8 ± 4,12	73,5 ± 3,62	7	5
Июнь	125,4 ± 3,17	118,3 ± 4,15	7	5

Улучшение условий минерального питания на фоне капельного орошения оказало положительное влияние на формирование урожая малины ремонтантной. По результатам исследований нам удалось установить оптимальное сочетание факторов для получения высоких урожаев при капельном орошении. Урожайность малины в условиях капельного орошения зависела от доз, способов и форм удобрений. Внесение традиционных удобрений способствовало получению прибавки малины на уровне 2 т/га. Замена традиционных удобрений на комплексное водорастворимое удобрение Кристалон особый, в состав которого входили микроэлементы, обеспечивала прибавку урожая малины на 2,69 т/га (таблица 6).

Таблица 6. – Урожайность малины ремонтантной за весь период сбора

Вариант опыта	Урожайность в пересчете на 1 га	
	т	± к контролю
Контроль	4,98	–
Традиционные удобрения (N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅)	6,97	+1,99
Кристалон особый (N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅ + микроэлементы)	7,67	+2,69
Фертигация (N ₇₅ P ₃₀ K ₁₀₀ + микроэлементы)	6,63	+1,65
Фертигация (N ₁₂₀ P ₄₅ K ₁₅₀ + микроэлементы)	8,30	+3,32
Фертигация (N ₁₅₀ P ₆₀ K ₂₀₀ + микроэлементы)	8,93	+3,95

Применение фертигации в наших исследованиях способствовало наиболее эффективному использованию водорастворимых удобрений и повышению урожайности малины ремонтантной до 8,93 т/га.

Заключение

Внесение традиционных минеральных удобрений и комплексных водорастворимых удобрений способствует росту, развитию и повышению урожайности малины ремонтантной. При применении традиционных удобрений прибавка урожайности малины находилась на уровне 2 т/га.

При замене традиционных удобрений комплексным водорастворимым удобрением Кристалон особый урожайность малины увеличилась на 2,69 т/га. Применение фертигации способствовало наиболее эффективному использованию водорастворимых удобрений и повышению урожайности малины ремонтантной до 8,93 т/га.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянова, О. В. Оптимизация элементов технологии производства и хранения ягод малины ремонтантной : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.10 / О. В. Емельянова ; РУП «Институт плодоводства». – Самохваловичи, 2018. – 28 с.
2. Емельянова, О. В. Влияние мульчирующих материалов на развитие корневой системы малины ремонтантной / О. В. Емельянова, А. М. Криворот, Д. Б. Радкевич // Плодоводство. – 2014. – Т. 26. – С. 212–218.
3. Kowalczyk, J. J. Analiza jakości zbioru malin kombajnem «Natalia» firmy Weremczuk / J. Kowalczyk, J. Zarajczyk, N. Leszczyński // Inżynieria Rolnicza. – 2008. – Nr 2 (100). – P. 89–93.
4. Снежко, И. А. Особенности развития и продуктивность сортов ремонтантной малины на северо-западе Российской Федерации (на примере Ленинградской области) : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / И. А. Снежко. – СПб., 2012. – 23 с.
5. Бруйло, А. С. Научно-методические подходы к обоснованию и разработке системы удобрения малины ремонтантной на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве /

А. С. Бруйло, А. В. Чайчиц // Современные технологии сельскохозяйственного производства: агрономия, защита растений, технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. науч. ст. по материалам XXIII Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 23 апр., 24 марта, 5 июня 2020 г. – Гродно : Гродн. гос. аграр. ун-т, 2020. – С. 26–29.

6. Казаков, И. В. Малина ремонтантная / И. В. Казаков, С. Н. Евдокименко. – М. : ГНУ «ВСТИСП», 2007. – 288 с.

7. Жидехина, Т. В. Сезонная динамика изменения средней массы ягоды у ремонтантных сортов малины при выращивании на богаре / Т. В. Жидехина // Плодоводство и ягодоводство России : сб. науч. тр. – М., 2017. – Т. XXXVIII, ч. 1. – 312 с.

8. Емельянова, О. В. Продуктивность малины ремонтантной при использовании некорневых подкормок / О. В. Емельянова, А. М. Криворот // Прил. к журн. «Вес. Нац. акад. наук Беларуси» : в 5 ч. – Минск : Беларус. навука, 2014. – Ч. 3 : Сер. аграр. наук. – С. 41–44.

9. Державин, Л. М. Химизация и экология / Л. М. Державин // Химизация сел. хоз-ва. – 1991. – № 7. – С. 3–7.

10. Кондаков, А. К. Удобрение плодовых деревьев, ягодников, питомников и цветочных культур / А. К. Кондаков. – Мичуринск, 2006. – 253 с.

11. Рак, М. В. Эффективность применения микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / М. В. Рак, Г. М. Сафроновская // Современные проблемы плодородия почв и защиты их от деградации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Ин-та почвоведения и агрохимии, и III съезда почвоведов, Минск, 27–29 июня 2006 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии ; редкол.: В. В. Лапа (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2006. – С. 297.

12. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М., 1986. – 416 с.

REFERENCES

1. Yemiel'janova, O. V. Optimizacija eliemientov tiekhnologii proizvodstva i khranienija jagod maliny riemontantnoj : avtorief. dis. ... kand. s.-kh. nauk : 06.01.10 / O. V. Yemiel'janova ; RUP «Institut plodovodstva». – Samokhvalovichi, 2018. – 28 s.

2. Yemiel'janova, O. V. Vlijanije mul'chirujushchikh materialov na razvitije kornievoj sistiemy maliny riemontantnoj / O. V. Yemiel'janova, A. M. Krivorot, D. B. Radkievich // Plodovodstvo. – 2014. – Т. 26. – S. 212–218.

3. Kowalczyk, J. J. Analiza jakości zbioru malin kombajnem «Natalia» firmy Weremczuk / J. Kowalczyk, J. Zarajczyk, N. Leszczyński // Inżynieria Rolnicza. – 2008. – Nr 2 (100). – P. 89–93.

4. Snezhko, I. A. Osobiennosti razvitija i produktivnost' sortov riemontantnoj maliny na sieviero-zapadie Rossijskoj Fiedieracii (na primierie Leningradskoj oblasti) : avtorief. dis. ... kand. s.-kh. nauk : 06.01.01 / I. A. Snezhko. – SPb., 2012. – 23 s.

5. Brujlo, A. S. Nauchno-mietodichieskije podkhody k obosnovaniju i razrabotkie sistiemy udobrienija maliny riemontantnoj na diernovo-podzolistoj liegkosuglinistoj pochvie / A. S. Brujlo, A. V. Chajchic // Sovriemiennye tiekhnologii siel'skokhoziajstviennogo proizvodstva: agronomija, zashchita rastienij, tiekhnologija khranienija i pierierabotki siel'skokhoziajstviennoj produkcii : sb. nauch. st. po materialam XXIII Miezhdunar. nauch.-prakt. конф., Grodno, 23 apr., 24 marta, 5 ijunia 2020 g. – Grodno : GGAU, 2020. – S. 26–29.

6. Kazakov, I. V. Malina riemontantnaja / I. V. Kazakov, S. N. Yevdokimienko. – М. : GNU «VSTISP», 2007. – 288 s.

7. Zhidiekhina, T. V. Siezonnaja dinamika izmienienija sriedniej massy jagody u riemontantnykh sortov maliny pri vyrashchivanii na bogarie / T. V. Zhidiekhina // Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii : sb. nauch. tr. – М., 2017. – Т. XXXVIII, ch. 1. – 312 s.

8. Yemiel'janova, O. V. Produktivnost' maliny riemontantnoj pri ispol'zovanii niekornievykh podkormok / O. V. Yemiel'janova, A. M. Krivorot // Pril. k zhurn. «Vies. Nac. akad. nauk Bielarusi»: v 5 ch. – Minsk : Bielarus. navuka, 2014. – Ch. 3 : Sier. ahrar. navuk. – S. 41–44.
9. Dierzhavin, L. M. Khimizacija i ekologija / L. M. Dierzhavin // Khimizacija siel. khoz-va. – 1991. – № 7. – S. 3–7.
10. Kondakov, A. K. Udobrienije plodovykh dieriev'jev, jagodnikov, pitomnikov i cve-tochnykh kul'tur / A. K. Kondakov. – Michiurinsk, 2006. – 253 s.
11. Rak, M. V. Effiektivnost' primienienija mikroudobrienij v tiekhnologijakh vozdielyvanija siel'skokhoziajstviennykh kul'tur / M. V. Rak, G. M. Safronovskaja // Sovriemiennye problimy plodorodija pochv i zashchity ikh ot diegradacii : materialy Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., posviashch. 75-lietiju In-ta pochvoviedienija i agrokhimii, i III sjezda pochvoviedov, Minsk, 27–29 ijunia 2006 g. / In-t pochvoviedienija i agrokhimii, riedkol.: V. V. Lapa (gl. ried.) [i dr.]. – Minsk, 2006. – S. 297.
12. Dospiekhov, B. A. Mietodika polievogo opyta / B. A. Dospiekhov. – M., 1986. – 416 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 19.03.2021

НАВУКІ АБ З'ЯМЛІ

УДК 502.65: 504.05 (476.5)

**Павел Александрович Галкин¹, Ольга Алексеевна Черкасова²,
Юлия Юрьевна Масалкова³, Александр Николаевич Галкин⁴,
Ирина Анатольевна Красовская⁵**

¹ст. преподаватель каф. информационных технологий

Витебского государственного медицинского университета

^{2,3}канд. биол. наук, доц., доц. каф. общей гигиены и экологии

Витебского государственного медицинского университета

⁴д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. каф. экологии и географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

⁵канд. геол.-минерал. наук, доц., доц. каф. экологии и географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

Pavel Galkin¹, Olesya Cherkasova²,

Yulia Masalkova³, Alexander Galkin⁴, Irina Krasovskaya⁵

¹Senior Lecturer of the Department of Information Technologies of Vitebsk State Medical University

^{2,3}PhD in Biology, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of General Hygiene and Ecology
of Vitebsk State Medical University

⁴Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,

Professor of the Department of Ecology and Geography
of Vitebsk State University named after P. M. Masherov

⁵PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Ecology and Geography
of Vitebsk State University named after P. M. Masherov

e-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ВИТЕБСКА (Часть 2. Химическое воздействие)

Проведен анализ основных видов и источников химического воздействия на геоэкосистему Витебска. Установлено, что в качестве основных загрязнителей в городе выступают формальдегид, сульфаты, хлориды, нитраты, фосфаты, азот аммонийный, тяжелые металлы и нефтепродукты. Это обусловлено спецификой промышленного производства города, а также высоким содержанием этих элементов в компонентах природной среды, всесторонним их воздействием на почвы, грунты, подземные воды и геохимическими особенностями поведения в геоэкологической обстановке. Разработана классификация техногенных воздействий, которая может служить основой для оценки измененности геоэкологической обстановки в Витебске, а также проведения оценки ее состояния в комплексе природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: геоэкологическая обстановка города, техногенные физическое и биологическое воздействия, источники воздействия, акустическое загрязнение, тепловое загрязнение, поле блуждающих электрических токов, электрокоррозия, биоорганическое загрязнение.

Specific Features of Technogenic Impacts on Geoecological Situation of Vitebsk (Part 2. Chemical Impact)

The analysis of the main types and sources of chemical impact on the geocosystem of Vitebsk was carried out. It was found that the main pollutants in the city are formaldehyde, sulfates, chlorides, nitrates, phosphates, ammonium nitrogen, heavy metals and oil products. This is due to the specifics of the industrial production of the city, as well as the highest content of these elements in the components of the natural environment, their all-round impact on soils, grounds, groundwater and geochemical characteristics of behavior in the geoecological environment. Based on the totality of the research results, a classification of technogenic impacts has been developed, combining all their possible types and varieties, which can serve as a basis for assessing the change in the geoecological situation in Vitebsk, as well as assessing its state in a complex of environmental measures.

Key words: geoecological situation of the city, technogenic physical and biological impacts, sources of impact, acoustic pollution, thermal pollution, field of wandering electric currents, electrocorrosion, bioorganic pollution.

Введение

Химическое воздействие представляется доминирующим в числе слагаемых факторов, в сумме определяющих геоэкологические условия на территории г. Витебска и способствующих изменению свойств окружающей природной среды в целом или отдельных ее компонентов. Цель работы – рассмотреть источники, характер и последствия техногенного химического воздействий на элементы геоэкосистемы города; по результатам исследований разработать классификацию техногенных воздействий, способную объединить все потенциальные их виды и разновидности.

Материалы и методы исследований

В основу работы положены результаты геоэкологических исследований на территории г. Витебска, проведенных авторами в период с 2001 по 2018 г. и дополненные анализом исследований различных производственных и научных организаций Республики Беларусь. В ходе выполнения работы использовались сравнительно-географический, экспертный, описательный и геоинформационный методы.

Результаты исследований и их обсуждение

По характеру воздействия на территории Витебска ярко выражено загрязнение атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод. В настоящее время мониторинг *атмосферного воздуха* в городе проводится по 11 ингредиентам: взвешенные вещества (пыль/аэрозоль), SO₂ и NO₂, CO и NO, аммиак, фенол, формальдегид, Cd, Pb и сульфаты [1; 2]. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха здесь являются предприятия теплоэнергетики, станкостроения, стройматериалов, автомобильный и железнодорожный транспорт.

По данным областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в целом по городу в течение 2001–2018 гг. повышенного уровня загрязнения атмосферного воздуха не регистрировалось, в основном имелась допустимая или слабая степень загрязнения, за исключением 2005 г., когда эта степень достигла умеренного уровня [2]. Наиболее загрязненными территориями были участки в районе железнодорожного вокзала, на проспекте Людникова и ул. Гагарина.

Характерной особенностью Витебска, как и других крупных промышленных городов Беларуси, является превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) формальдегида (рисунок). Уровни превышения ПДК этого соединения более чем в три раза отмечались в районе улиц Космонавтов, Кирова, Комсомольской. Таким образом, основными загрязнителями воздушного бассейна города формальдегидом являются не стационарные источники выбросов (предприятия), а передвижные – железнодорожный и автомобильный транспорт.

Большой интерес вызывают результаты исследований загрязнения атмосферного воздуха, проведенных в 2006 г. коллективом сотрудников БелНИЦ «Экология» под руководством В. М. Федени в рамках разработки территориальной схемы охраны окружающей среды города Витебска и Витебского района [3].

В качестве основного фактора при оценке экологического состояния атмосферного воздуха авторы использовали его загрязнение комплексом вредных веществ. В качестве дополнительных факторов, усиливающих оценку напряженности ситуации для селитебных территорий, были применены потенциальная возможность превышения по отдельным веществам (этилацетат и др.) и фактор нахождения в санитарно-защитных зонах предприятий объектов жилой и общественной застройки и зеленых насаждений общего пользования.

Основные результаты комплексной оценки состояния атмосферного воздуха Витебска свидетельствуют о том, что наиболее загрязненными являются участки, расположенные в пределах улиц Космонавтов, Кирова, Комсомольской, К. Маркса, Покровской, Правды, Терешковой, Калинина, Ленина, Хмельницкого, сквера имени Ленина (в центральной части города), ул. Гагарина – лидера по количеству источников выбросов этилацетата, проспектов генерала Людникова, Фрунзе, Московского проспекта, а также долины р. Витьба (парк имени 40-летия ВЛКСМ – парк Фрунзе).

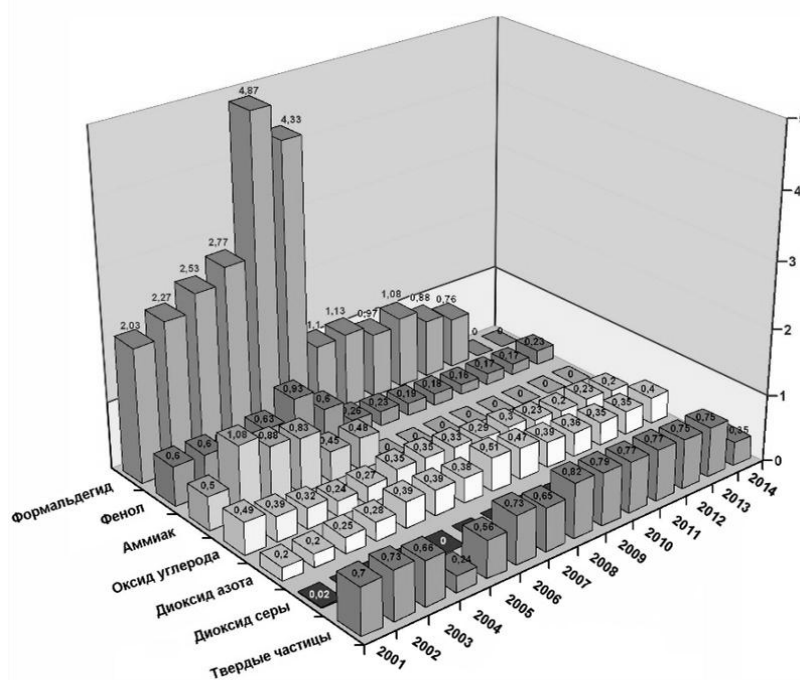


Рисунок. – Диаграмма кратности превышения ПДК_{сс} основных загрязнителей атмосферного воздуха Витебска за 2001–2014 гг. (по [1; 2])

Таким образом, анализ инфраструктуры города, характеристик выбросов промышленных объектов и транспорта позволяет сделать вывод о том, что приоритетными загрязнителями воздушной среды Витебска является формальдегид и этилацетат; приоритетными источниками выбросов – авто- и железнодорожный транспорт (на их долю приходится более 80 % всех выбросов); приоритетными территориями – кварталы улиц Космонавтов, Кирова, Комсомольской, К. Маркса, Ленина, Гагарина, Терешковой, Московского проспекта, проспектов генерала Людникова и Фрунзе.

Современное состояние *почвенного покрова* территории Витебска в целом характеризуется невысоким уровнем напряженности относительно химического загрязнения. Исследования, проведенные в разные годы различными научными коллективами и организациями, показали, что в городе основными загрязнителями почв являются тяжелые металлы (ТМ) и нефтепродукты (НП), находящиеся в прямой зависимости от близости расположения предприятий и транспортных магистралей, а также уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Результаты обобщения данных о содержании тяжелых металлов в почвах в целом для Витебска подтверждают полученные ранее выводы [4–6] о незначительном загрязнении почв. По сравнению с местным геохимическим фоном почвы города обогащены

Cd, Zn, Cu, Co и Ni, на локальных участках – Pb, а превышение фонового уровня Mn стало отмечаться лишь в последние 15 лет [7; 8].

Относительно загрязненным является центр Витебска. Здесь загрязнение отмечается на отдельных участках в направлении с юго-запада на северо-восток, что обусловлено спецификой размещения промышленных объектов и плотностью транспортной сети. Менее загрязненные участки отмечены в районах, где существует небольшая концентрация производственных и теплоэнергетических предприятий.

Значительную роль в загрязнении почв играют несанкционированные свалки, сжигание бытового мусора и отходов ландшафтной уборки территорий (особенно это характерно для зон индивидуальной застройки). По этой причине в центральной обжитой части города наблюдается повышенная концентрация в почвах Cu, Zn и Ni. Здесь почвенный покров в наибольшей степени подвергся техногенным преобразованиям и характеризуется высоким содержанием строительного и бытового мусора.

Оценка статистической достоверности различий выборочных средних для отдельных функциональных зон и города в целом показала, что промышленная зона достоверно выделяется накоплением Cr, Co, Ni, Cu и Pb; в пределах селитебной зоны повышено содержание Cr, Mn, Co, Cu; для агроселитебной и рекреационной зон характерно пониженное содержание Cr и Co, а для дачной зоны – Cu и Pb.

Практически повсеместно городские почвы загрязнены нефтепродуктами. За период с 2003 по 2009 г. во всех изученных образцах наблюдалось 80–98 %-ное превышение содержания нефтепродуктов над местным фоном. Наиболее часто встречающиеся концентрации НП в почвах Витебска находились в пределах 53,3–96,7 мг/кг (2003 г.), 10,0–93,3 (2007 г.) и 96,7–146,7 мг/кг (2009 г.) при максимальном их содержании 763,3; 286,7 и 1131,7 мг/кг соответственно [9].

Следует отметить, что загрязнение почв НП является одной из причин повышения степени экологической напряженности для многих участков функционально-ландшафтных зон. Кроме того, в районах Северо-Западного промузла, завода «Монолит», ОАО «Витебские ковры», кварталов ул. Заслонова, Титова выявлены очаги загрязнения почв Cd, Zn и Cu с концентрациями, существенно превышающими как отечественные ОДК, так и зарубежные нормативы, установленные для водоохраных зон. В районе ул. Заслонова и Титова очаг загрязнения расположен в локальном понижении, что создает высокий риск загрязнения подземных вод.

Среди участков с преобладанием усадебной застройки уровень напряженности экологического состояния почв выше среднего отмечен в районах Марковщины, Полоцкого рынка, улиц Загородная, Авиационная и др. На участках многоэтажной жилой и общественной застройки уровень напряженности состояния почв также часто выше среднего. Такие участки наблюдаются в районе ул. К. Маркса, зоны перспективной застройки «Гришаны», в кварталах микрорайонов Юг I–II (Московский проспект, проспекты Черняховского и Строителей, ул. Чкалова).

Под влиянием техногенного загрязнения атмосферного воздуха и почвенного покрова в городе изменяется также химический состав *древесной растительности*. Исследования листьев (хвои) ряда распространенных на территории Витебска древесных видов растений (береза повислая, тополь белый, липа сердцевидная, ель обыкновенная) позволили установить, что по сравнению с местным фоном в листьях березы в повышенных концентрациях присутствуют Zn и Pb, в листьях липы – Cr, Co, Pb, при этом валовое содержание химических элементов в почвах с соответствующим содержанием в растительности не имело каких-либо корреляционных связей.

Формирование элементного состава растений происходит под влиянием большого количества одновременно действующих факторов, которые можно объединить в три группы [10]:

- 1) внутренние биохимические, которые определяются особенностями растительного организма;
- 2) внутренние кристаллохимические, определяемые свойствами ионов в составе растений;
- 3) внешние – ландшафтно-геохимические, обуславливаемые условиями среды обитания.

Помимо отмеченных, существенный вклад в элементный состав растений вносят и техногенные факторы, среди которых О. В. Лукашев и Н. В. Жуковская для условий Витебска выделяют: удаленность от центра города (м), расстояние от дороги (вблизи автодорог, внутриквартальные участки), плотность дорог всех типов внутри кругового буфера радиусом 100 м ($\text{км}/\text{км}^2$), суммарное загрязнение почв ТМ, тип функционального использования территории [11]. К примеру, расстояние от дороги устанавливает распределение содержания Сг в листьях березы, а Рb – в листьях липы: вблизи дорог среднее содержание Сг в листьях березы составляет 3,1 мг/кг, Рb в листьях липы – 18 мг/кг.

На внутриквартальных участках в листьях деревьев средние концентрации Сг и Рb уменьшаются и составляют 1,7 и 7 мг/кг соответственно. Тип функционального использования территории является наиболее значимым фактором для Рb в листьях березы. Так, в промзоне среднее содержание этого элемента составляет 17 мг/кг, в селитебной, агро-селитебной и рекреационной зонах – 6,3 мг/кг.

Наряду с воздушной средой, почвами и древесной растительностью в пределах города химическое воздействие испытывают *поверхностные и подземные воды*. Основная река в Витебске – Западная Двина. На всем своем протяжении в городе она потенциально подвержена техногенной химической нагрузке. Именно в Двину отводятся воды с очистных сооружений города и предприятий. Все ливнестоки тоже принимает Западная Двина.

По химическому составу вода в водотоках и водоемах города относится к классу гидрокарбонатных кальциевых вод с минерализацией от 144,5 до 501,9 мг/дм³. В анионном составе поверхностных вод преобладает НСО_3^- ; по результатам наших анализов и данным Витебскоблгидромета, его содержание в разные годы (с 2006 по 2018) изменялось от 79 мг/дм³ (верхний створ р. Западная Двина) в 2015 г. до 336 мг/дм³ (р. Витьба) в 2009.

Количество Cl^- колебалось в диапазоне от 4,0 мг/дм³ (верхний створ р. Западная Двина) в 2006 г. до 58,5 мг/дм³ (р. Витьба) в 2009; концентрация SO_4^{2-} не превышала 23 мг/дм³. В составе катионов доминировал Ca^{2+} : от 27,7 мг/дм³ (верхний створ р. Западная Двина) в 2006 г. до 87,8 мг/дм³ (р. Витьба) в 2008; содержание Mg^{2+} варьировало в диапазоне от 9,1 мг/дм³ (верхний створ р. Западная Двина) в 2006 г. до 25,8 мг/дм³ (нижний створ р. Западная Двина) в 2009. Низкое содержание Ca^{2+} и Mg^{2+} определяет мягкий и умеренно жесткий характер воды в реке: среднегодовые значения общей жесткости изменялись от 1,5 до 5,1 мг-экв/дм³.

Согласно анализу качества воды с использованием индекса загрязненности (ИЗВ) состояние водных объектов в Витебске за период с 2004 по 2018 г. оценивалось как относительно благополучное (ИЗВ < 1) [12]. Сравнительный анализ среднегодовых концентраций компонентов химсостава воды р. Западная Двина за указанный период свидетельствует об отсутствии значимых изменений гидрохимической ситуации в отношении содержания загрязняющих веществ. При этом наиболее характерными загрязнителями поверхностных вод являются $\text{Fe}_{\text{общ}}$, соединения Mn, Cu и Zn, содержание которых в речной воде часто превышает установленные нормативы качества.

Основной поставщик этих загрязнителей в водотоки Витебска – сточные воды предприятий и жилищно-коммунального хозяйства города. Так, в 2004–2005 гг. в Западную Двину Витебскоблводоканал сбросил 36–37 млн м³ сточных вод, которые содержали

около 1 т нефтепродуктов, 102 т азота аммонийного (NH_4^+) и 7,3 т Fe, Zn, Cu и других металлов [13]. В общем для Западной Двины загрязнение соединениями металлов имеет устойчивый характер (повторяемость превышений ПДК более 50 %), повышенное содержание в воде NH_4^+ выглядит неслучайным (повторяемость более 30 %), в отношении же других веществ загрязнение может квалифицироваться как случайное.

Особого внимания заслуживает качество подземных вод, являющихся основным источником централизованного водоснабжения населения города, которым пользуются 99,2 % жителей (0,8 % населения Витебска, или около 3 тыс. человек, используют воду из шахтных колодцев). Водоснабжение города осуществляется с помощью четырех основных групповых водозаборов: «Песковатик», «Марковщина», «Витьба» и «Лучеса», – а также 17 мини-водозаборами, имеющими 1–5 скважин. Эксплуатируются подземные воды D₃ sr–sm терригенно-карбонатного водоносного комплекса.

По данным мониторинга специализированных служб города, качество отбираемых подземных вод в основном удовлетворяет требованиям СанПиН 10-124 РБ 99, за исключением повышенных концентраций Fe и Mn, низкого содержания F, иногда повышенной жесткости.

Вместе с тем по ряду скважин отмечаются признаки загрязнения подземных вод. Так, например, на водозаборе «Марковщина» минерализация воды в некоторых скважинах достигает 652 мг/дм³, общая жесткость – 10,5 ммоль/дм³. По отдельным скважинам на водозаборах «Марковщина», «Витьба» и «Лучеса» отмечается повышенное содержание Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- и NH_4^+ относительно фоновых значений.

Кроме того, потенциальную опасность для качества подземных вод на водозаборах г. Витебска представляет полигон твердых коммунально-бытовых отходов, расположенный в 1,5 км от городской черты. Наибольшую опасность представляет образующийся в основании свалки фильтрат с высоким содержанием Cl^- , NH_4^+ , Na, K, Cd, Ni, Cr и Pb.

Заключение

Рассматривая основные виды и источники химического воздействия на природную среду города, можно сделать вывод о том, что в качестве основных загрязнителей здесь выступают формальдегид, SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , фосфаты, NH_4^+ , тяжелые металлы и нефтепродукты.

Это обусловлено прежде всего спецификой промышленного производства, а также высоким содержанием этих элементов в компонентах природной среды, всесторонним их воздействием на почвы, грунты, подземные воды и геохимическими особенностями поведения в геоэкологической обстановке.

Отметим, что исследование вопросов, связанных с оценкой геоэкологического состояния городских территорий, невозможно без анализа техногенных воздействий на компоненты природной среды, их типизации и классифицирования.

Согласно существующим подходам к типизации техногенных воздействий на природную среду, для территории Витебска нами принята классификация техногенных воздействий, приведенная в таблице.

Разработанная классификация объединяет все возможные виды воздействия на геоэкологическую обстановку города и может служить основой для оценки ее изменности.

Таблица. – Классификация техногенных воздействий на геоэкоисему Витебска

Класс	Тип	Вид	Компоненты геоэкоисемы*	Разновидности**	Показатели, ед. измер.	Уровень воздействия	Потенциальные источники
ФИЗИЧЕСКОЕ	ЗАГРЯЗНЕНИЕ	Акустическое (шум)	Б	1а; 2а, б; 3а; 4а; 5а, б; 6б, в	дБ (А)	30–80	Авто- и железнодорожный транспорт и др.
		Электромагнитное	П Б	1а; 2а, б; 3а; 4а; 5б; 6а, б, в	А/м ² мВ/м	0,5–4,0 20–150	Электроподстанции, электрифицированные трамвайные и троллейбусные линии, станции противокоррозионной защиты и др.
		Тепловое	ПВ	1а, б; 2а, б, в; 3а, б; 4а; 5а, б; 6а, б, в	град. С	Фон + 3–10 °С	ТЭЦ, котельные, сети теплоснабжения и коммуникации, котельные, «Витебскхлебпром», кондитерская фабрика «Витьба» и др.
ХИМИЧЕСКОЕ	ЗАГРЯЗНЕНИЕ	Этилацетатом	А	1б; 2а, б; 3а; 4а; 5а, б; 6б, в	Превышение ПДК	1–20 ПДК	Предприятия легкой промышленности («Марко», «Белвест» и др); РУПП «Витязь», РУП «Витебский завод электроизмерительных приборов, ОАО «Витебск-древ» и др.
		Формальдегидом	А	1б; 2а, б; 3а; 4а; 5а, б; 6б, в		1–3 ПДК	Авто- и железнодорожный транспорт и др.
		Углеводородное	ПВБ	1б; 2а, б, в; 3а; 4а; 5а, б; 6б, в		1–20 ПДК	АЗС, нефтехранилища, транспорт, предприятия теплоэнергетики
		Тяжелыми металлами	ПВБ	1б; 2а, б, в; 3а; 4а; 5а, б; 6б, в		Превышение фона (коэффициент аномальности К _а)	К _а = 1–2,3 (Pb); 2,1 (Cu); 1,5 (Zn); 3,2 (Cr); 1,3 (Ni); 1,8 (Cd); 5,5 (Co)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Здоровье населения и окружающая среда города Витебска и Витебского района в 2001–2011 гг. : информ.-аналит. бюл. / редкол.: Н. Я. Красовский [и др.]. – Витебск, 2012. – 106 с.
2. Здоровье населения и окружающая среда города Витебска и Витебского района в 2004–2014 гг. : информ.-аналит. бюл. / редкол.: Н. Я. Красовский [и др.]. – Витебск, 2015. – 106 с.
3. О превышениях нормативов выбросов/сбросов загрязняющих веществ предприятиями Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eco-info.by/content/800.html>. – Дата доступа: 31.07.2020.
4. Лукашев, О. В. Ассоциации химических элементов в почвенном покрове природных и урбанизированных территорий / О. В. Лукашев, Н. В. Жуковская, Н. Г. Лукашева // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2016. – № 1. – С. 46–55.
5. Лукашев, О. В. Ретроспективная оценка загрязнения почв и растительности г. Витебска металлами / О. В. Лукашев, Н. В. Жуковская // Современные проблемы геологического картирования : материалы X унив. геол. чтений, Минск, 14–15 апр. 2016 г. / БГУ ; редкол.: В. И. Зуй (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2016. – С. 99–101.
6. Лукашев, О. В. Ретроспективная оценка загрязнения почв и растительности г. Витебска тяжелыми металлами / О. В. Лукашев, Н. В. Жуковская // Природ. ресурсы. – 2006. – № 4. – С. 52–57.
7. Черкасова, О. А. Промышленные предприятия г. Витебска как источник загрязнения почв тяжелыми металлами / О. А. Черкасова, В. С. Иванов // Вестн. ВГМУ. – 2011. – Т. 10, № 1. – С. 122–131.
8. Иванов, В. С. Котельные станции как источник загрязнения почвы тяжелыми металлами / В. С. Иванов, О. А. Черкасова // Вестн. ВГМУ. – 2011. – Т. 10, № 4. – С. 120–130.
9. Иванов, В. С. Загрязнение почв г. Витебска сульфатами, нитратами и нефтепродуктами / В. С. Иванов, О. А. Черкасова // Вестн. ВГМУ. – 2011. – Т. 10, № 4. – С. 111–119.
10. Алексеенко, В. А. Основные факторы накопления химических элементов организмами / В. А. Алексеенко // Сорос. образоват. журн. – 2001. – Т. 7, № 8. – С. 20–24.
11. Жуковская, Н. В. Моделирование загрязнения растительности г. Витебска с помощью метода «деревья решений» / Н. В. Жуковская, О. В. Лукашев // Сергеевские чтения / редкол.: В. И. Осипов (отв. ред.) [и др.]. – М. : ГЕОС, 2016. – Вып. 18 : Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. – С. 613–618.
12. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. / редкол.: И. В. Медведева (пред.) [и др.]. – Минск, 2016. – 248 с.
13. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2005 г. / под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2006. – 322 с.

REFERENCES

1. Zdorov'je nasielienija i okružhajushchaja srieda goroda Vitiebska i Vitiebskogo rajona v 2001–2011 gg. : inform.-analit. biul. / riedkol.: N. Ya. Krasovskij [i dr.]. – Vitiebsk, 2012. – 106 s.
2. Zdorov'je nasielienija i okružhajushchaja srieda goroda Vitiebska i Vitiebskogo rajona v 2004–2014 gg. : inform.-analit. biul. / riedkol.: N. Ya. Krasovskij [i dr.]. – Vitiebsk, 2015. – 106 s.
3. O prievyshenijakh normativov vybrosov/sbrossov zagriazniajushchikh vieshchiestv priedpriyatijami Riespubliki Bielarus' [Elietronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <http://www.ecoinfo.by/content/800.html>. – Data dostupa: 31.07.2020.

4. Lukashev, O. V. Asociacii khimichieskikh eliemientov v pochviennom pokrovie prirodnykh i urbanizirovannykh tierritorij / O. V. Lukashev, N. V. Zhukovskaja, N. G. Lukasheva // Viestn. BGU. Sier. 2, Khimija. Biologija. Geografija – 2016. – № 1. – S. 46–55.
5. Lukashev, O. V. Rietrospektivnaja ocenka zagriaznienija pochv i rastitel’nosti g. Vitiebska mietallami / O. V. Lukashev, N. V. Zhukovskaja // Sovriemiennyje problimy geologichieskogo kartirovanija : materialy X univ. geol. chtienij, Minsk, 14–15 apr. 2016 g. / BGU; riedkol.: V. I. Zuj (otv. ried.) [i dr.]. – Minsk, 2016. – S. 99–101.
6. Lukashev, O. V. Rietrospektivnaja ocenka zagriaznienija pochv i rastitel’nosti g. Vitiebska tiazhelymi mietallami / O. V. Lukashev, N. V. Zhukovskaja // Prirod. riesursy. – 2006. – № 4. – S. 52–57.
7. Chierkasova, O. A. Promyshliennyje priedprijatija g. Vitiebska kak istochnik zagriaznienija pochv tiazhelymi mietallami / O. A. Chierkasova, V. S. Ivanov // Viestn. VGMU. – 2011. – T. 10, № 1. – S. 122–131.
8. Ivanov, V. S. Kotiel’nyje stancii kak istochnik zagriaznienija pochvy tiazhelymi mietallami / V. S. Ivanov, O. A. Chierkasova // Viestn. VGMU. – 2011. – T. 10, № 4. – S. 120–130.
9. Ivanov, V. S. Zagriaznienije pochv g. Vitiebska sul’fatami, nitratami i nieftieproduktami / V. S. Ivanov, O. A. Chierkasova // Viestn. VGMU. – 2011. – T. 10, №4. – S. 111–119.
10. Alieksiejenko, V. A. Osnovnyje faktory nakoplienija khimichieskikh eliemientov organizmami / V. A. Alieksiejenko // Soros. obrazovat. zhurn. – 2001. – T. 7, № 8. – S. 20–24.
11. Zhukovskaja, N. V. Modelirovanije zagriaznienija rastitel’nosti g. Vitiebska s pomoshchju mietoda «dieriev’ja rieshenij» / N. V. Zhukovskaja, O. V. Lukashev // Siergijevskije chtienija / uiedkol.: V. I. Osipov (otv. ried.) [i dr.]. – M. : GEOS, 2016. – Vyp. 18 : Inzheniernaja geologija i gieoekologija. Fundamental’nyje problimy i prikladnyje zadachi. – S. 613–618.
12. Okhrana okruzhajushchiej sriedy v Riespublike Bielarus’: stat. sb. / Riedkol.: I. V. Miedviedieva (pried.) [i dr.]. – Minsk, 2016. – 248 s.
13. Sostojanije prirodnoj sriedy Bielarusi : ecol. biul. 2005 g. / Pod obshch. ried. V. F. Loginova. – Minsk : Minsktipprojekt, 2006. – 322 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 20.09.2021

УДК 551.1/4(476)

**Анна Николаевна Маевская¹, Николай Николаевич Шешко²,
Максим Альбертович Богдасаров³**

¹магистр геогр. наук, аспирант каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²канд. техн. наук, доц., нач. науч.-исслед. части
Брестского государственного технического университета

³д-р геол.-минерал. наук, проф., член-корр. НАН Беларуси,
проф. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Anna Maevskaya¹, Nikolay Sheshko², Maksim Bogdasarov³

¹Master of Geographical Sciences, Postgraduate Student
of the Department of Geography and Environmental Management
of the Brest State A. S. Pushkin University

²Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department
of the Brest State Technical University

³Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus,
Professor of the Department of Geography and Nature Management
of the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: ¹maevskaya.anna@inbox.ru; ²optimum@tut.by; ³bogdasarov73@mail.ru

СТРУКТУРНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ*

Представлен опыт создания комплекта структурных геологических карт четвертичных отложений территории Гродненской области. Процесс составления карт состоял из нескольких последовательных этапов, реализованных с применением программного продукта ArcGIS 10.5. В целом с использованием представленной в работе методики был выполнен набор карт для отдельных стратиграфических слоев четвертичной системы. В результате картографирования детализированы особенности геологического строения четвертичных отложений региона (на основании использования в ходе картирования наиболее полных материалов о буровой изученности территории). Применение в процессе построения геоинформационных систем позволит в перспективе выполнять быстрое обновление созданных картографических материалов.

Ключевые слова: Гродненская область, четвертичные отложения, ГИС-картографирование, структурно-геологические карты, большие данные.

Structural Geological Mapping of Quaternary Deposits of the Grodno Region Using Gis Technologies

The article presents the experience of creating a set of structural geological maps of quaternary deposits in the Grodno region. The mapping process consisted of several sequential steps implemented using the ArcGIS 10.5. In general, using the methodology presented in this article, a set of maps for individual stratigraphic layers of the Quaternary system was made. As a result of mapping, the features of the geological structure of the quaternary deposits of the region are detailed (based on the use of the most complete materials on the drilling study of the territory during the mapping). The use of geoinformation systems in the process of building will allow to quickly update the created cartographic materials in future.

Keywords: Grodno region, quaternary sediments, GIS mapping, structural-geological maps, big data.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках выполнения задания «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений территории Брестской и Гродненской областей как основы для прогнозирования новых наиболее доступных месторождений минерального сырья» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Введение

Четвертичные отложения получили повсеместное распространение в пределах территории Гродненской области. Литологическое разнообразие данных отложений позволяет рассматривать их в качестве перспективной региональной ресурсной базы полезных ископаемых, в первую очередь строительных материалов, что обуславливает необходимость серьезной детализации особенностей их строения как основы для выполнения качественного прогноза и оценки перспектив освоения минерально-сырьевого потенциала территории.

Реконструкция строения стратиграфических горизонтов (кровли и подошвы пластов) может быть реализована путем создания структурных геологических карт, которые представляют собой плоские графические модели в изолиниях фигур седиментационных поверхностей, образовавшихся в процессе осадконакопления, или условных хроностратиграфических граничных поверхностей [1]. Основой для их создания выступают результаты бурения скважин для технологических целей или разведки на различные виды природных ресурсов. Построение таких карт легко поддается автоматизации и моделированию в программной среде. Именно поэтому в практике их создания активно применяется цифровое геологическое картирование.

В Республике Беларусь накоплен значительный опыт в области составления структурных карт, которые выполнены преимущественно для отдельных геологических структур: Припятского прогиба, Подляско-Брестской и Оршанской впадин, Белорусской антеклизы (З. А. Горелик, И. Д. Кудрявец, В. Б. Окушко, В. С. Конищев, Г. В. Зиновенко, В. И. Толстошеев, М. А. Нагорный и др.), месторождений полезных ископаемых (Э. А. Высоцкий, Н. А. Петрова и др.) [2–4], единиц физико-географического районирования [5].

Гораздо меньше внимания уделено составлению таких карт в привязке к отдельным административно-территориальным единицам [6]. Кроме того, подготовка выполненных до настоящего времени картографических материалов данного типа осуществлялась в разные временные периоды с использованием различных методик построения, в связи с чем актуальным на современном этапе видится создание комплектов структурных геологических карт отдельных административно-территориальных единиц, реализованных по единой методике с применением геоинформационных систем, позволяющих получить качественную детальную картину строения подземного рельефа.

В данной работе представлен опыт создания структурных геологических карт для четвертичных отложений Гродненской области. Исходными данными для их составления послужили материалы буровой изученности территории региона, предоставленные государственным научным учреждением «Институт природопользования НАН Беларуси» и государственным предприятием «Научно-производственный центр по геологии». Исходная база данных включает около 16 000 записей, дающих информацию о более чем 2 000 скважин. К каждой скважине на карте привязано несколько записей для каждого из горизонтов четвертичной системы, которые были вскрыты данной скважиной. Стоит отметить и неравномерность в размещении скважин по территории области.

Учитывая значительные объемы исходных данных, а также их принадлежность к типу геопространственной информации, их качественная обработка возможна с применением геоинформационных систем, которые позволяют:

- 1) выполнять предварительный анализ данных и выявить ошибки, которые в них присутствуют;
- 2) проводить интерполяцию в автоматическом режиме с минимальными временными затратами, несмотря на большой объем представленных данных;
- 3) применять к имеющимся данным различные способы построения, сравнивать полученные модели;

- 4) проводить математические операции с построенными поверхностями;
- 5) выполнять качественное оформление и компоновку итоговых карт.

Методика исследования

Методика построения структурных геологических карт четвертичных отложений Гродненской области включала несколько последовательных этапов (рисунок 1), реализованных с использованием настольного программного продукта ArcGIS 10.5. Более подробно остановимся на них ниже.

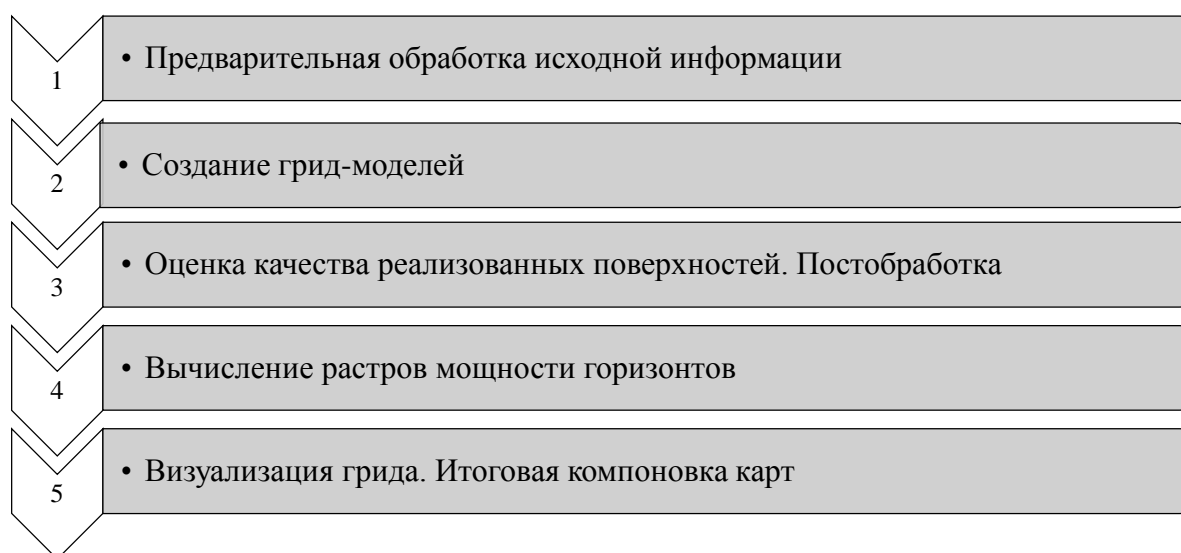


Рисунок 1. – Основные этапы создания комплекта структурных геологических карт четвертичных отложений Гродненской области

Предварительная обработка исходной информации. На данном этапе была выполнена предварительная обработка имеющихся скважинных данных с целью устранения ошибок, которые могут присутствовать в них. Такие ошибки важно исключить до создания карты для получения в конечном итоге качественной картографической модели. Для обнаружения аномалий в имеющемся наборе информации был использован метод кригинга (kriging), в частности – значения, полученные в результате ошибок интерполяции при использовании метода ординарного кригинга. Выбор данного метода был обусловлен тем, что он в отличие от других методов позволяет, с одной стороны, обнаруживать данные с ошибками и выполнять их быстрое удаление, а с другой – сохранять данные с естественными аномалиями.

Создание грид-моделей. На данном этапе выполнялось построение интерполяционных грид-моделей кровли и подошвы пластов четвертичных отложений Гродненской области, которое включало несколько подэтапов [7]:

1. **Выбор варианта построения геологической модели.** Моделирование выполнялось поэтапно, от более крупных стратиграфических подразделений (в данном случае «системы») к мелким – «горизонту».

2. **Подготовка входных данных.** Данный этап включал работы по объединению стратиграфических подразделений, представленных в исходной базе данных, а также выборку слоев из объединенной базы данных, где в качестве критерия выступали стратиграфические подразделения.

3. **Выбор метода интерполяции.** Для построения грид-моделей кровли и подошвы пластов, представленных в данной работе, было рассмотрено применение нескольких методов интерполяции, предлагаемых в ArcMap: IDW, Natural Neighbor, Kriging, Topo to

Raster. В целом все виды интерполяции, представленные в данном наборе инструментов, показывают корректные результаты, что обусловлено достаточно густой сетью скважин. Но, учитывая тот факт, что в данном случае речь идет о создании моделей рельефа, был выбран инструмент Topo to Raster.

4. *Создание интерполяционных грид-моделей кровли и подошвы пластов.* На основе полученных в ходе выборки слоев, а также выбранного метода интерполяции (Topo to Raster) осуществлялось построение поверхностей кровли и подошвы пластов.

Оценка качества реализованных поверхностей. Постобработка. В рамках данного этапа была выполнена проверка корректности построенных грид-моделей. Для выявления ошибок моделирования проведена переклассификация созданных грид-моделей (имеющих одинаковое разрешение растра) по значениям кровля/подошва. Затем с использованием инструмента Map Algebra, (набор инструментов Spatial Analyst) производилось вычитание переклассифицированных поверхностей. При вычитании растровых поверхностей задавался «экстент обработки» (как у большего по размерам растрового слоя). Это обусловлено тем, что отложения некоторых горизонтов покрывают не всю территорию картографируемого региона. После вычитания растров ячейкам в местах, где отложения одного из стратиграфических подразделений отсутствуют, автоматически присваивалось значение «no data», вместо которого после обработки функцией isNull могут быть подставлены необходимые показатели из другого растра.

В результате обработки растра было сформировано два варианта поверхностей:

- 1) поверхности, где ошибки в построении отсутствуют (модель корректна, и ее дальнейшая обработка не требуется);
- 2) имеются ошибки в построении (поверхность смоделирована некорректно, и требуется проведение операции уравнивания).

Для уравнивания некорректно смоделированных поверхностей был использован инструмент Con (Conditional), с помощью которого задавались необходимые параметры для уравнивания моделей.

Вычисление растров мощности горизонтов. На данном этапе на основе полученных грид-поверхностей с применением инструмента «Map Algebra» (модуль Spatial Analyst) были рассчитаны показатели мощности по отдельным горизонтам четвертичной системы.

Визуализация грида. Итоговая компоновка карт. На данном этапе на основе полученных грид-поверхностей выполнялась их визуализация в виде карт различных типов. В данном исследовании реализовывались карты трех типов: контурные карты, карты-растры и рельеф с отмывкой. В завершение был разработан макет компоновки карт. Для его составления с учетом реализуемого типа карт размещались все элементы, формировался общий вид с учетом основных рекомендаций по картосоставлению. Выполнялась разработка дизайнерских приемов оформления и символизации карт, способ отображения картографического изображения. Подбирались интервалы классов, цвета, типы линий и другие графические элементы.

Результаты и их обсуждение

Таким образом, с использованием вышеописанной методики был составлен комплект структурно-геологических карт горизонтов четвертичных отложений Гродненской области на основе интерпретации данных о геологическом строении отложений четвертичной системы. В целом по каждому горизонту были сформированы следующие компоновки карт: карты гипсометрии кровли и подошвы; карты глубин залегания отложений; карты мощности отложений; карты мощности вскрышных пород; карты мощности отложений, совмещенные с картами мощности вскрышных пород; карты мощности отложений, совмещенные с картами кровли горизонтов.

Стоит отметить, что на основе созданного комплекта карт для территории Гродненской области можно создавать комплекты карт для любого административного района, расположенного в ее границах (рисунок 2). Это делает его потенциально востребованным для использования территориальными органами государственного управления.

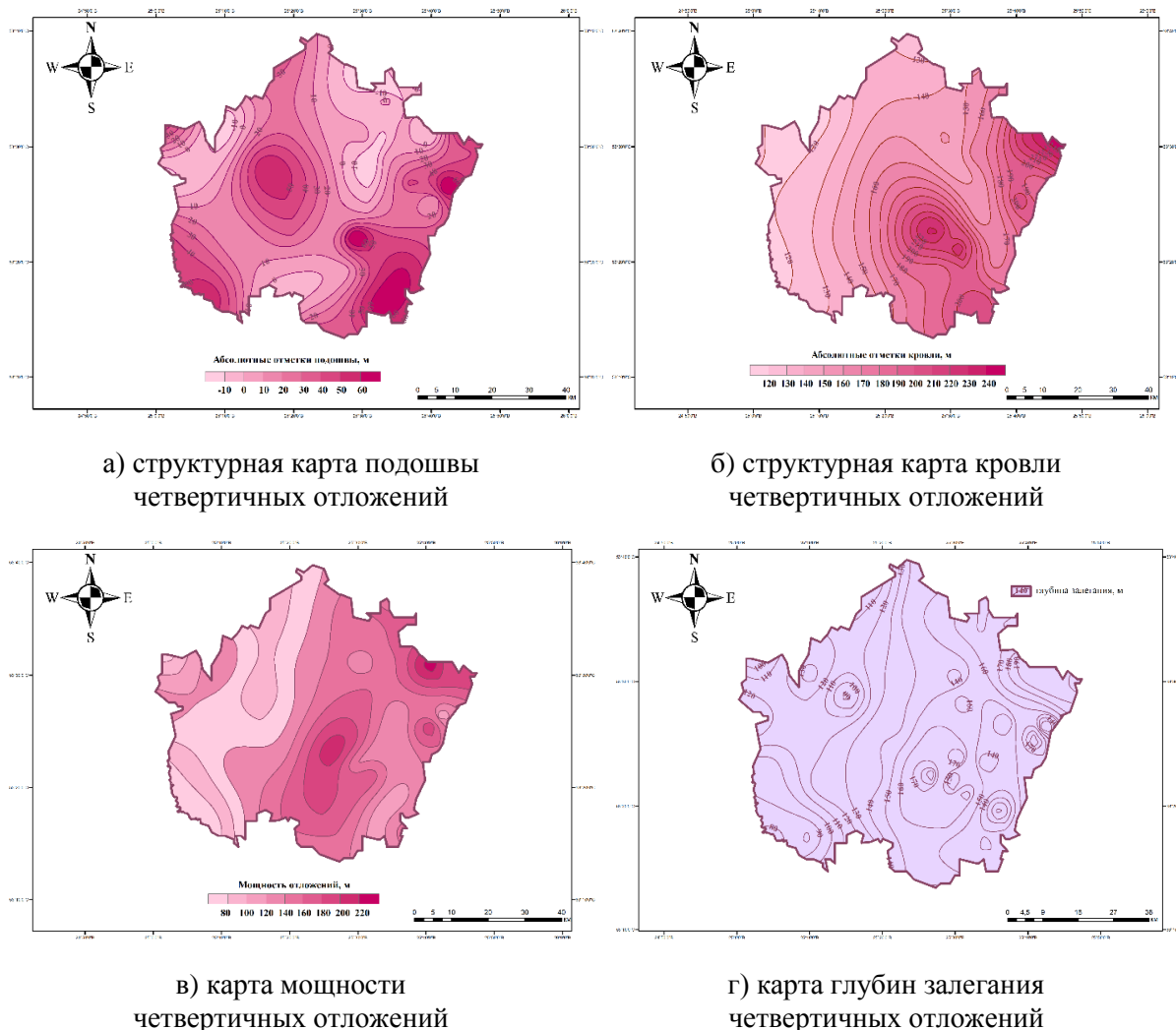
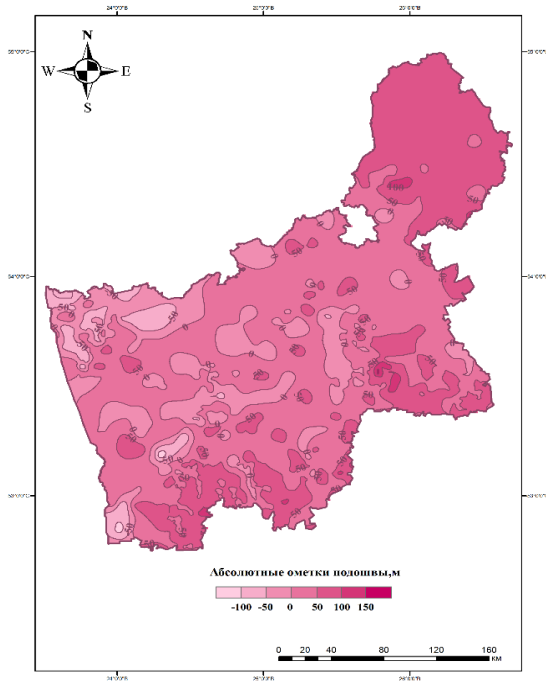


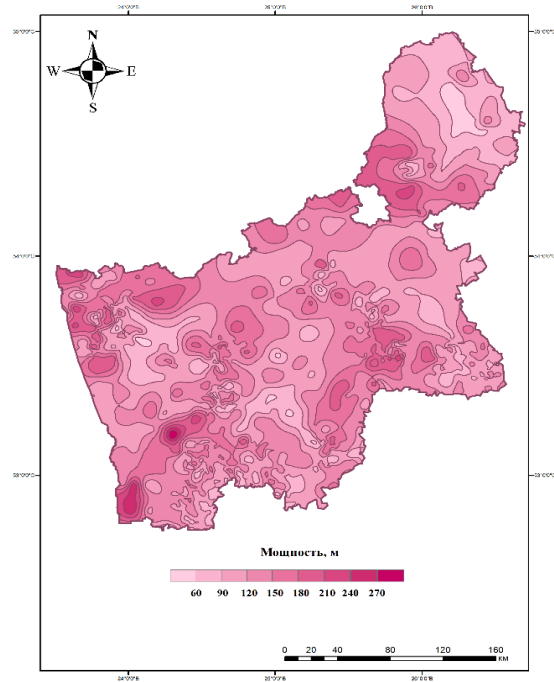
Рисунок 2. – Примеры карт, выполненных для Дятловского р-на

Анализ реализованных картографических материалов позволил детализировать особенности геологического строения четвертичных отложений территории Гродненской области (рисунок 3). Четвертичные образования в пределах территории Гродненской области сплошным чехлом покрывают более древние образования. Поверхность подошвы четвертичных отложений на территории региона неровная. Разность высот превышает 200 м (рисунок 3, а). Абсолютные отметки изменяются от –168 до 183 м. При этом наиболее высокое положение они занимают на севере и в юго-восточных и восточных частях области (более 100 м). Мощность четвертичных отложений в понижениях и на склонах древних водоразделов достигает своих максимальных значений (более 200 м). Глубина залегания плейстоценовых отложений в среднем составляет 140–160 м, их мощность изменяется в интервале от 50 до 280 м (рисунок 3, б). Подошва голоценовых отложений наиболее приподнята в восточных, южных и северо-западных частях области (более 150 м). Наименьшие высоты фиксируются в западной ее части – до 100 м (рисунок 3, в).

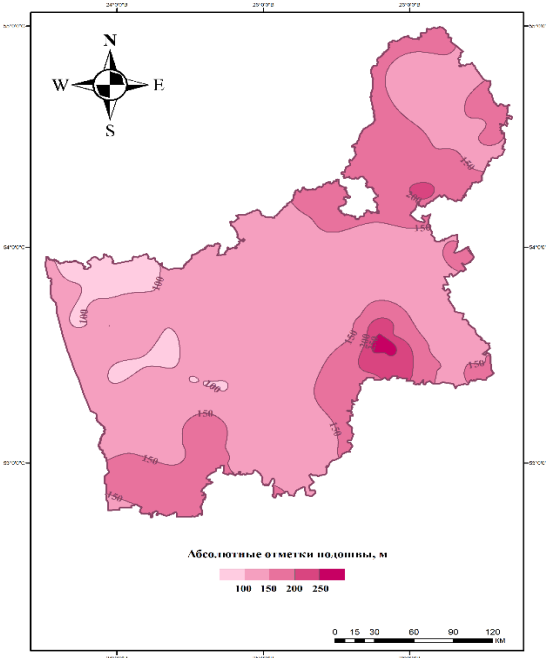
Мощность отложений изменяется в интервале от 0,5 до 15 м (рисунок 3, г). Глубина залегания в среднем составляет 15 м.



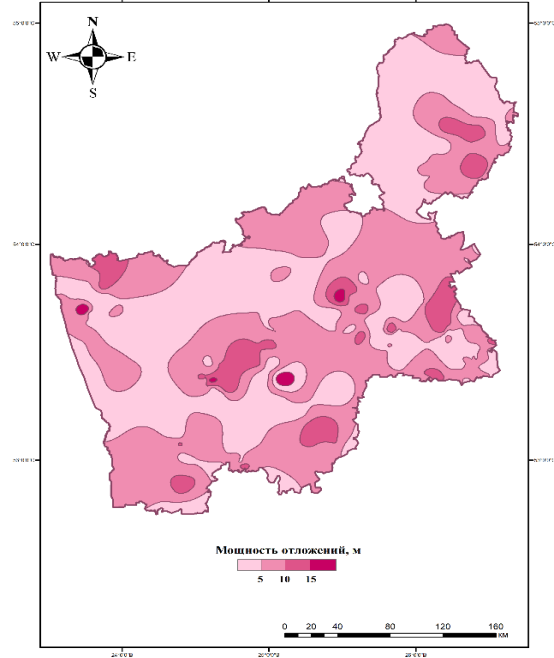
а) структурная карта подошвы отложений плейстоцена



б) карта мощности отложений плейстоцена



в) структурная карта подошвы отложений голоцена



г) карта мощности отложений голоцена

Рисунок 3. – Особенности залегания четвертичных отложений на территории Гродненской области

Заклучение

Таким образом, в ходе проведенного исследования с использованием метода интерполяции *topo to raster* выполнено построение набора грид-моделей подошвы и кровли горизонтов четвертичной системы. С целью повышения их качества выполнена проверка корректности построенных моделей, в результате которой выявлены как корректно, так и некорректно смоделированные поверхности. Для некорректно построенных моделей поверхностей была проведена процедура уравнивания.

На основе реализованных грид-моделей выполнен комплект карт для каждого горизонта четвертичной системы, включающий следующие компоновки: карты гипсометрии кровли и подошвы; карты глубин залегания отложений; карты мощности отложений; карты мощности вскрышных пород; карты мощности отложений, совмещенные с картами мощности вскрышных пород; карты мощности отложений, совмещенные с картами кровли горизонтов.

В целом в ходе выполнения работы получен ряд новых картографических материалов по особенностям строения стратиграфических горизонтов четвертичной системы Гродненской области. Применение в ходе построения геоинформационных технологий дает возможность их быстрого и своевременного обновления в случае получения новой информации о строении данной территории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минова, Н. П. Построение структурных карт : метод. указания и задания для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Структурная геология» / Н. П. Минова. – Ухта : УГТУ, 2010. – 28 с.
2. Геологическое строение и условия формирования Октябрьского месторождения калийных солей в Припятском прогибе / Э. А. Высоцкий [и др.] // Літасфера. – 2001. – № 15. – С. 52–64.
3. Толстошеев, В. И. Геологическое строение восточно-казимировского и южно-трамецкого поднятий Припятского прогиба / В. И. Толстошеев // Літасфера. – 2011. – № 2 (35). – С. 54–75.
4. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
5. Курлович, Д. М. Пространственная дифференциация и динамика морфоструктур Белорусского Поозерья / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2014. – 158 с.
6. Крошинский, В. А. Использование ГИС в построении погоризонтных структурно-фациальных карт-схем четвертичной толщи / В. А. Крошинский // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы конкурса ГИС-проектов студентов и аспирантов ВУЗов Республики Беларусь, проведенного в рамках празднования Междунар. дня ГИС – 2017, Минск, 15 нояб. 2017 г. / редкол.: Н. В. Жуковская (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2017. – С. 108–110.
7. Маевская, А. Н. Алгоритм построения моделей структурных геологических поверхностей с использованием геоинформационных технологий / А. Н. Маевская // Актуальные проблемы наук о Земле: исследование трансграничных регионов : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 1. – С. 92–96.

REFERENCES

1. Minova, N. P. Postrojenije strukturnykh kart : mietod. ukazaniya i zadaniya dlia vypolnienija laboratornoj raboty po discipline «Strukturnaja geologija» / N. P. Minova. – Ukhta : USTU, 2010. – 28 s.
2. Geologichieskoje strojenije i uslovija formirovanija Oktiabr'skogo miestorozhdenija kalijnykh soliej v Pripiatskom progibie / Ye. A. Vysockij [i dr.] // Litasfiera. – 2001. – № 15. – S. 52–64.
3. Tolstoshejev, V. I. Geologichieskoje strojenije vostochno-kazimirovskogo i juzhno-tramieckogo podnietij Pripiatskogo progiba / V. I. Tolstoshejev // Litasfiera. – 2011. – № 2 (35). – S. 54–75.
4. Geologija Bielarusi / A. S. Makhnach [i dr.]. – Minsk : In-t geol. nauk NAN Bielarusi, 2001. – 815 s.
5. Kurlovich, D. M. Prostranstviennaja diffierenciacija i dinamika morfostruktur Bieloruskogo Poozierja / D. M. Kurlovich. – Minsk : BGU, 2014. – 158 s.
6. Kroshinskij, V. A. Ispol'zovanie GIS v postrojenii pogorizontal'nykh strukturno-facial'nykh kart-skhiem chietviertichnoj tolshchi / V. A. Kroshinskij // GIS-tiekhnologii v naukakh o Ziemi : materialy konkursa GIS-projektov studentov i aspirantov VUZov Riespubliki Bielarus', proviedionnogo v ramkakh prazdnivanja Miezhdunar. dnia GIS – 2017, Minsk, 15 nojab. 2017 g. / riedkol.: N. V. Zhukovskaja (otv. ried.) [i dr.] – Minsk : BGU, 2017. – S. 108–110.
7. Majevsckaja, A. N. Algoritm postrojenija modeli strukturnykh geologichieskikh povierkhnostiej s ispol'zovanijem geoinformacionnykh tiekhnologij / A. N. Majevsckaja // Aktual'nyje probliemy nauk o Ziemi: issliedovanie transgranichnykh tierritorij : sb. materialov IV Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., priuroch. k 1000-lietiju Briesta, Brest, 12–14 sient. 2019 g. : v 2 ch. / In-t prirodopol'zovanija NAN Bielarusi, Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina, Brest. gos. teikhn. un-t ; riedkol.: A. K. Karabanov, M. A. Bogdasarov, A. A. Volchik. – Brest : BrGU, 2019. – Ch. 1. – S. 92–96.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 23.09.2021

УДК 553.06:551.79(476)

**Александр Илларионович Павловский¹, Александр Николаевич Галкин²,
Андрушко Светлана Владимировна³**

¹канд. геогр. наук, доц., зав. каф. геологии и географии
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

²д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. каф. географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

³канд. геогр. наук, доц., доц. каф. геологии и географии
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

Alexander Pavlovsky¹, Alexander Galkin², Svetlana Andrushko³

¹Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Geology and Geography of the Francisk Skorina Gomel State University

²Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Professor of Department of Geography
of the Vitebsk State University named after P. M. Masharov

³Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Geology and Geography

of the Francisk Skorina Gomel State University

e-mail: ¹aipavlovsky@mail.ru; ²galkin-alexandr@yandex.ru; ³sandrushko@list.ru

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И ФАЦИАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, ИХ ТРАНСФОРМАЦИЯ В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ*

На основании проведенных исследований выполнена типизация генетических типов и фациального состава четвертичных отложений в наиболее крупных районах добычи и переработки полезных ископаемых на территории Беларуси. В процессе функционирования предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых формируется новый генетический тип отложений – техногенных (в виде насыпных и намывных грунтов: площадные отвалы, терриконы, шламохранилища) и донных образований (искусственных прудов и каналов). Разработана литолого-фациальная типизация техногенных отложений, проанализированы их основные характеристики и свойства. Свойства фаций техногенных отложений отличаются от свойств отложений естественного залегания: в них наблюдается нарушение структурных связей грунтов, гранулометрического состава и влажности, к тому же техногенные фации обладают меньшей плотностью и прочностью по сравнению с природными.

Ключевые слова: четвертичные отложения, генетические типы, фациальный состав, районы добычи и переработки полезных ископаемых, техногенные отложения, литолого-фациальная типизация.

Genetic Types and Facies Composition of Quaternary Deposits, their Transformation in the Regions of Extraction and Processing of Mineral Resources on the Territory of Belarus

Based on the conducted studies typification of genetic types and facies composition of Quaternary deposits has been carried out for the largest regions of mining and processing of mineral resources on the territory of Belarus. In the course of the operation of enterprises for the extraction and processing of mineral resources, a new genetic type of deposits is formed - technogenic, in the form of soil dumps and alluvial soils (areal dumps, terrikons, sludge storages) and benthic formations of artificial ponds and canals. A lithologic and facies typification of technogenic deposits has been developed, the main characteristics and properties of the deposits have been analyzed. The properties of the facies of technogenic deposits differ from the properties of natural deposits; in the former, there are abnormalities in the structural bonds of soils, granulometric composition, and moisture, moreover, technogenic facies have a lower density and strength compared to natural ones.

Key words: Quaternary deposits, genetic types, facies composition, regions of mining and processing of mineral resources, technogenic deposits, lithologic and facies typification.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках выполнения задания «Закономерности трансформации экологических функций геосфер в районах крупных горнопромышленных регионов» (грант № X20P-284 от 04.05.2020 г. на 2020–2022 гг.).

Введение

Четвертичные отложения на территории Беларуси распространены повсеместно, мощность их варьирует в широких пределах: от сантиметров до более чем 300 м, составляя в среднем 80,0 м. Наиболее широко представлены три основные формации генетических типов четвертичных отложений.

Ледниковая (гляциогенная) – 88 % от общего объема четвертичных отложений, где на долю моренных отложений приходится 52 %, водно-ледниковых (флювиогляциальных), – 31 %, озерно-ледниковых (лимногляциальных) – 5 %. К генетическим типам криогенной формации (перигляциальной) формации относятся осадки внеледниковой зоны, представленные криоаллювием, криолимнием, эоловыми и склоновыми отложениями, что составляет около 7 %. На комплексы термогенной формации приходится 5 %, и представлены они межледниковыми и современными (аллювий, озерные, болотные, склоновые и эоловые) отложениями [1].

При изучении воздействия добычи и переработки полезных ископаемых на геологическую среду важными объектами исследований являются генетические типы и составляющие их фации четвертичных отложений, которые в наиболее полном объеме отражают пространственно-временные, геодинамические, физико-химические и другие изменения. Четвертичные отложения являются как ресурсной (пески, песчано-гравийный материал, глины, торф), так и пространственной базой развития районов по добыче и переработке полезных ископаемых. Необходимо отметить, что в процессе функционирования предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых формируется новый генетический тип отложений – техногенные.

Материалы и методы исследования

Изучение и картографирование генетических типов и фациального состава четвертичных отложений проводилось для следующих объектов добычи и переработки полезных ископаемых:

- 1) месторождение доломитов «Руба» (карьер «Гралево»);
- 2) Старобинское месторождение калийных солей (ОАО «Беларуськалий»);
- 3) предприятие по производству минеральных удобрений, серной и фосфорной кислот и др. (ОАО «Гомельский химический завод»).

Для единой трактовки понятий приняты следующие основные определения.

1. Генетический тип четвертичных отложений – это комплекс одинаковых по происхождению геологических тел, объединяющий несколько парагенетически сочетающихся фаций. Генетические типы формируются в результате деятельности ведущего или нескольких преобладающих геологических агентов (вода, лед, ветер и т. д.), функционирующих в системе «денудация первичных пород → транспорт и переработка → аккумуляция» при определенных физико-географических и хозяйственных условиях.

2. Фация – геологическое тело, сложенное отложениями, фиксирующими обстановку и режимы осадконакопления (динамика, среда переноса, условия формирования и накопления осадков) с присущими им геологическими, геохимическими, палеонтологическими и другими признаками [2].

Результаты и их обсуждение

В пределах исследуемых объектов четвертичные отложения либо перекрывают залежи полезных ископаемых, либо являются пространственной основой функционирования добывающих и перерабатывающих предприятий, сопутствующей инфраструктуры. На основании выполненных исследований нами разработана литолого-фациальная

классификация четвертичных отложений районов добычи и переработки полезных ископаемых (таблица 1). Преобладают следующие генетические типы четвертичных отложений: ледниковые, водно-ледниковые, озерно-ледниковые, аллювиальные, биогенные, комплексной склоновой денудации.

Таблица 1. – Литолого-фациальная типизация четвертичных отложений районов добычи и переработки полезных ископаемых

Генетический тип (индекс)	Группа фаций	Фации	Состав
Ледниковый (g) (гляциальный)	Моренных отложений	Массивной морены	Супеси и суглинки, массивные, с включением гравия и валунов
		Плитчатой морены	Моренные валунные суглинки, супеси, реже глины с субгоризонтальной плитчатой текстурой
		Переслаивающейся морены	Переслаивание суглинков с гравийно-галечным материалом, мелко- и тонкозернистыми песками и супесями
Водно-ледниковый (f) (флювиогляциальный)	Водно-ледниковых отложений	Приледниковых отложений	Разнозернистые пески, гравийно-галечный материал (содержание может достигать 60–70 %), горизонтально-слоистые, косослоистые, встречаются крупные обломки
Озерно-ледниковый (lg) (лимногляциальный)	Озерно-ледниковых отложений	Озерно-ледниковых песков и супесей	Слоистые мелко- и тонкозернистые пески и супеси
		Озерно-ледниковых глин	Ленточные суглинки и глины
Аллювиальный (al)	Русловых отложений	Русловой аллювий	Разнозернистые косо-, горизонтально слоистые, сортированные и хорошо окатанные пески, с гравием и галькой
	Пойменных отложений	Пойменный аллювий	Гумусированные супеси и суглинки
		Старичный аллювий	Илы, слаборазложившийся торф
Отложений террас	Аллювий террас	Слоистые разнозернистые пески, супеси	
Биогенный (pl)	Болотных отложений	Низинного торфа	Слаборазложившийся торф
Комплексной склоновой денудации (d, p, c)	Склоновых отложений	Делювиальных	Слоистые разнозернистые пески, супеси
		Проллювиальных	Ритмично-слоистые разнозернистые пески, супеси и суглинки
		Коллювиальных	Песчано-гравийный материал, блоки несортированного материала суглинков, супесей разного генезиса

Ледниковые отложения (гляциальные) (g Q₂₋₃ pr – pz)

Этот генетический тип отложений имеет повсеместное распространение, часто залегает непосредственно с поверхности, местами перекрывается лессовидными породами полигенетического характера, флювиогляциальными, местами лимногляциальными отложениями сожско-поозерского возраста и современными образованиями. Мощность ледниковых отложений изменяется от 10,0–15,0 до 30,0–35,0 м, иногда достигает 100,0 м. Литологически моренные отложения представлены супесями и суглинками зеленовато-серого, красно-бурого, бурого цвета с прослоями гравия и гальки, песчано-гравийного и валунного материала с линзами и прослоями внутриморенных мелко- и тонкозернистых песков и супесей мощностью от 0,1 до 1,0 м. Характерной особенностью моренных отложений является наличие в разных по составу породах гравия от 5–10 до 20–40 % и валунов размером до 1,0–1,5 м и более. Мощность составляет от 10,0 до 35,0 м.

Водно-ледниковые отложения (флювиогляциальные) (f Q₂₋₃ pr – pz)

Флювиогляциальные отложения имеют в пределах описываемых территорий значительное распространение, залегают на разновозрастных моренных образованиях. Представлены песками желтовато-серыми, серыми, разноморнистыми, полевошпатово-кварцевыми, с включениями гравия до 2–10 %, с прослоями гравийно-галечного материала, нередко встречаются мелкие валуны. Отложения характеризуются значительной степенью сортировки обломочного материала и имеют ярко выраженную слоистость, мощность составляет от 5 до 30 м.

Озерно-ледниковые отложения (лимногляциальные) (lg Q₂₋₃ pr – pz)

Лимногляциальные отложения в пределах исследуемых территорий распространены фрагментарно, залегают с поверхности, перекрывая разновозрастные образования других генетических типов. Сложены разноморнистыми, чаще мелко- и тонкозернистыми светло-серыми, желтыми слоистыми песками. Характерны осадки ленточного типа – ленточные супеси, суглинки и глины, часто коричневого цвета.

Аллювиальные отложения (al Q₃₋₄)

Аллювиальные отложения встречаются в пределах всех исследуемых территорий, отличаются сложным строением и фациальной неоднородностью. Для русловой фации характерны светло-серые, серые, желто-серые разноморнистые косо-, горизонтально слоистые, сортированные и хорошо окатанные пески, с гравием и галькой. Широко представлены гумусированные супеси и суглинки пойменной фации, а также илы, слабо разложившийся торф старичной фации.

Биогенные отложения (pl Q₃₋₄)

Эти образования имеют довольно ограниченное развитие, залегают в понижениях современного рельефа. Представлены они сильно гумусированными, с растительными остатками мелкозернистыми песками и супесями с линзами слабо разложившегося торфа, иногда мелкозалежными торфяниками. Мощность отложений составляет 0,5–2,4 м.

Отложения комплексной склоновой денудации (p, d, c Q₃₋₄)

Эти отложения залегают плащеобразно у подножья склонов. Литологические особенности определяются главным образом составом материнских пород, морфометрическими параметрами рельефа и интенсивностью геоморфологических процессов. Наиболее часто встречаются ритмично-слоистые толщи разноморнистых песков, супесей и суглинков. Мощность отложений весьма изменчива: от 0,7–1,8 м у плащеобразных форм до 1,8–2,3 м при островном распространении.

Техногенные отложения (th Q₄)

В районах добычи полезных ископаемых (как открытым, так и подземным способами), их переработки формируются техногенные отложения (таблица 2).

Таблица 2. – Литолого-фациальная типизация техногенных отложений районов добычи и переработки полезных ископаемых

Генетический тип (индекс)	Группа фаций	Фации	Состав
Техногенные (th Q ₄)	Насыпных отложений	Отложений вскрышных пород	Моренные суглинки и супеси, гравийно-галечный материал, пески с обломками доломитов разного размера
		Отложений вмещающих пород	Галитовые отходы, сходные по составу с разнородными песками
		Отложений переработки полезных ископаемых	Фосфогипс, близок по составу к пылеватому песку
	Намывных отложений	Намывных отложений шламохранилищ	Глинисто-солевые шламы, тонкодисперсные фосфогипсовые отложения
	Искусственных водоемов и каналов	Донных отложений	Илы различного состава с обломками добываемого или перерабатываемого сырья

Техногенные породы отвалов открытой разработки полезных ископаемых формируются за счет складирования вскрышных пород и представлены местными четвертичными отложениями, сложение которых нарушено в результате производства горнотехнических работ. По месту расположения отвалы карьеров открытой добычи полезных ископаемых делятся на внутренние и внешние. Первые создаются в отработанном пространстве карьера, вторые – на некотором расстоянии от горной выработки.

Показателен фациальный состав отложений вскрышных пород доломитового карьера «Гралево». Сформированные в процессе эксплуатации отложения представлены преимущественно глинистыми грунтами, моренными суглинками и супесями с гравийно-галечным материалом (до 15 %), гнездами песков и обломками доломитов различного размера (до 10 %) суммарной мощностью более 17 м. Местами техногенные глинистые грунты перекрыты маломощными (2–4 м) переотложенными аллювиальными серовато-бурыми пылеватыми песками, иногда мелкими и средними, часто с супесчано-суглинистыми гнездами и линзами. К песчаным отвалам повсеместно приурочен горизонт грунтовых вод, вскрываемый на глубине 0,5–0,6 м. По результатам инженерных изысканий, проведенных Витебским отделом РУП «Геосервис», песчаные отложения этих отвалов преимущественно рыхлого сложения, коэффициент пористости их в среднем составляет 0,73, коэффициент фильтрации – 0,52 м/сут, угол естественного откоса в сухом состоянии – 44°, под водой – 32° [3].

Отвальные глинистые породы обладают высокой плотностью и находятся преимущественно в полутвердой и тугопластичной консистенции, имеют умеренную естественную влажность, слабопроницаемы, при промерзании склонны к пучению. Необходимо отметить, что после отсыпки отвала с глубиной происходит закономерное уплотнение отложений и повышение показателей их прочности. Свойства фаций отло-

жений вскрышных пород отвалов отличаются от свойств отложений естественного залегания. Происходящие при разработке, транспортировке и складировании нарушения структурных связей грунтов, гранулометрического состава и влажности приводят к тому, что техногенные фации обладают меньшей плотностью и прочностью по сравнению с природными.

Техногенные отложения терриконов формируются в процессе отсыпки на поверхности вмещающих пород при подземной добыче полезных ископаемых и последующей их переработке. К таким образованиям на территории Беларуси относятся грунты солевых отвалов ОАО «Беларуськалий» в Солигорске. В отходы попадают галитовая рыхлая масса и соляно-глинистая пульпа. Из галитовых отходов формируются солевые отвалы высотой более 120 м. В их химическом составе присутствуют NaCl (91–92 %), KCl (3–4 %), MgCl₂ (0,02–0,06 %), MgSO₄ (0,1–0,15 %), CaSO₄ (1,1 %) и др.; на долю нерастворимого остатка приходится 2,5–4 % [4]. По механическому составу галитовые отходы сходны со средне- и разноразмерными песками. В их составе содержатся фракции >1,0 мм (1,0–1,5 %), 1,0–0,5 мм (33–35 %), 0,50–0,25 мм (28–30 %), 0,25–0,10 мм (15–17 %), 0,10–0,005 мм (13–15 %); <0,005 мм (4–5 %).

Плотность частиц галитовых техногенных отложений находится в пределах 2,1–2,2 г/см³ и обусловлена их минеральным составом (галит, сильвин и глинистые минералы). Плотность скелета грунта колеблется в широких пределах: от 1,3–1,4 г/см³ при пористости 35–40 % в верхнем рыхлом покрове до 1,75–1,90 г/см³ при пористости 12–15 % в уплотненных слоях, залегающих на разных глубинах. Следует отметить, что высокая пористость верхних слоев солевых отвалов создает благоприятные условия для вертикальной миграции атмосферных осадков в глубь массива. Изучение их фильтрационных свойств в полевых условиях показало, что величина коэффициента фильтрации техногенных галитовых образований в верхней части массивов превышает 90–100 м/сут [5].

В основании отвалов в результате дегидрата солевых отходов и уплотнения под собственным весом образуется плотная зона, непроницаемая для рассолов. Кроме того, в отвалах развиваются процессы пластической деформации и физико-химические преобразования, проявляющиеся в росте кристаллогидратов при изменении термодинамических условий рапы, а также частичный переход свободной и рыхлосвязанной воды в химически связанную. Это приводит к формированию в солевых отвалах дифференцированных зон с различными свойствами.

К насыпным техногенным отложениям относятся отходы переработки полезных ископаемых, в частности фосфогипс, которые складываются в сухом состоянии. Фосфогипс образуется при производстве фосфорной кислоты, сложных фосфорсодержащих удобрений из апатита и фосфорита. Отвалы начали формироваться с 1969 г., когда Гомельский химический завод освоил выпуск фосфорных удобрений на основе апатитовых концентратов. Минеральный состав фосфогипса Гомельского химзавода представлен CaSO₄ × 2H₂O (97,0–97,2 %), AlPO₄ и FePO₄ (0,8–1,2 %), Na₂SiF₆ и K₂SiF₆ (0,5 %), H₃PO₄ (0,7–0,85 %), Ca₅F(PO₄)₃ и CaF₂ (0,7 %).

По внешнему виду фосфогипс – это полидисперсный материал серо-белого цвета, представленный агрегатами частиц, комками с межагрегатными пустотами. Он содержит примеси неорганических и органических соединений, воднорастворимых и водонерастворимых, адсорбированных на поверхности кристаллов. По гранулометрическому составу фосфогипс близок к пылеватому песку, содержание частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75 %, а частиц <10 мкм – около 40–55 % [6]. В отвалах фосфогипса содержится до 40–50 % влаги, и при механическом воздействии он способен разжижаться с выделением свободной воды и уменьшением объема.

По данным Гомельского отдела РУП «Геосервис», плотность фосфогипса Гомельского химзавода при естественной влажности изменяется в интервале значений от 1,09 до 1,72 г/см³, плотность твердой компоненты – от 2,53 до 2,83 г/см³; угол естественного откоса при влажности, равной 44 %, составляет 55°. Он отличается достаточно высокими прочностными показателями: угол внутреннего трения равен 30–34°, а сцепление – 0,031–0,042 МПа.

По фильтрационной способности фосфогипс близок к супесчаным грунтам. Его коэффициент фильтрации (Кф) зависит от плотности шлама [7]. Свежеотсыпанный шлам обладает высокой проницаемостью (Кф = 1,0–3,0 м/сут). По мере увеличения высоты отвалов нижние слои фосфогипса уплотняются (при высоте отвалов 40–60 м величина дополнительного давления на земную поверхность достигает 4–6 МПа), что ведет к снижению их проницаемости: с увеличением плотности от 1,25 до 1,4 г/см³ Кф уменьшается от 1,04 до 0,8 м/сут, а при плотности 1,5 г/см³ его значение достигает 0,47 м/сут. Это обстоятельство предопределяет формирование в техногенных массивах водоносных горизонтов, режим которых в значительной степени будет определять условия устойчивости откосов за счет гидростатических и гидродинамических сил [8].

С увеличением плотности фосфогипса значительно повышаются его прочностные показатели. В рыхлом состоянии он характеризуется наименьшими показателями сцепления. Обезвоженный и уплотненный укаткой фосфогипс характеризуется достаточно высокими показателями физико-механических свойств [9].

Намывные техногенные отложения формируются из шламов, и к таким образованиям относятся глинисто-солевые шламы ОАО «Беларуськалий» в Солигорске, которые складываются в шламохранилищах наливного типа, занимающих площадь более 1 100 га. За более чем пятидесятилетний период добычи и обогащения калийных солей в окрестностях Солигорска их накопилось порядка 95 млн т. Глинисто-солевые шламы характеризуются довольно сложным химико-минеральным и гранулометрическим составом. Их минеральный состав представлен в основном карбонатами, сульфатами, полевым шпатом, кварцем и гидрослюдой, большей своей частью слагающими нерастворимый осадок шламов; значительную долю (25–30 %) составляют галит и сильвин, количество которых зависит от стадии технологической обработки [6].

В шламах содержится около 60–75 % частиц размером менее 0,05 мм. Присутствие до 30 % частиц размером менее 0,001 мм позволяет отнести их к высокодисперсным глинистым отложениям. Частицы крупнее 0,01 мм (до 0,10 мм) в количестве 15–20 % представлены в основном галитом и сильвином [4]. Удельная плотность нерастворимого осадка глинисто-солевых шламов составляет 40–45 м²/г, ионообменная емкость – до 9 мг-экв/100 г. Предел текучести шламовых грунтов – 50 %, раскатывания – 23 %; число пластичности – 27 %, при содержании солей до 30 % оно снижается до 10 % [7].

Кроме того, в районах добычи и переработки полезных ископаемых сформировались внутренние водоемы в виде затопленных участков карьеров, каналов и понижений рельефа за счет подтопления, где накапливаются техногенные отложения донной фации, представленные фосфогипсовыми илами, карбонатно-магнезиальными илами с большим количеством обломков доломита и другими тонкодисперсными отложениями различного состава с обломками добываемого или перерабатываемого сырья.

Заклучение

В процессе функционирования предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых формируется новый генетический тип отложений – техногенных, которые имеют вид насыпных и намывных грунтов (площадные отвалы, терриконы, шламохранилища) и донных образований искусственных прудов и каналов.

Техногенные породы отвалов открытой разработки полезных ископаемых формируются за счет складирования вскрышных пород и представлены местными четвертичными отложениями, сложение которых нарушено в результате производства горно-технических работ.

Свойства фаций отложений вскрышных пород отвалов отличаются от свойств отложений естественного залегания. Происходящие при разработке, транспортировке и складировании нарушения структурных связей грунтов, гранулометрического состава и влажности приводят к тому, что техногенные фации обладают меньшей плотностью и прочностью по сравнению с природными.

Техногенные отложения терриконов формируются в процессе отсыпки на поверхности вмещающих пород при подземной добыче полезных ископаемых и последующей их переработке.

В основании отвалов солевых отходов в результате их уплотнения под собственным весом образуется плотная рассолонепроницаемая зона и развиваются процессы пластической деформации и физико-химического преобразования, что приводит к формированию в солеотвалах дифференцированных зон с различными свойствами.

По мере уплотнения отвалов фосфогипса идет формирование водоносных горизонтов, режим которых в значительной степени будет определять условия устойчивости откосов за счет гидростатических и гидродинамических сил.

В районах добычи и переработки полезных ископаемых формируются донные отложения водоемов и каналов, представленные тонкодисперсными осадками различного состава с обломками добываемого или перерабатываемого сырья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск : Университетское, 1988. – 320 с.
2. Санько, А. Ф. Генетические типы и фации четвертичных отложений Беларуси / А. Ф. Санько, В. И. Ярцев, А. В. Дубман. – Минск, 2012. – 311 с.
3. Галкин, А. Н. Инженерная геология Беларуси : монография : в 3 ч. / А. Н. Галкин ; под науч. ред. В. А. Королева. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2016. – Ч. 1 : Грунты Беларуси. – 367 с.
4. Богатов, Б. А. Открытые горные работы калийного производства в Беларуси / Б. А. Богатов, А. Д. Смычник, С. Ф. Шемет. – Минск : Технопринт, 2004. – 266 с.
5. Шпаков, О. Н. Карст техногенных соляных отложений / О. Н. Шпаков, В. П. Клементьев // Охрана окружающей среды калийных производств : сборник / ред. Г. В. Богомолов. – Минск : Наука и техника, 1979. – С. 65–71.
6. Ларионова, Н. А. Использование фосфогипса в строительстве / Н. А. Ларионова // Сергеевские чтения – 2014 : материалы науч. сессии, Москва, 21–22 марта 2014 г. / редкол.: В. И. Осипов (отв. ред.) [и др.]. – М. : РУДН, 2014. – Вып. 16 : Развитие научных идей академика Е. М. Сергеева на современном этапе. – С. 48–53.
7. Фосфогипс и его использование / В. В. Иваницкий [и др.] ; под ред. С. Д. Эвенчика, А. А. Новикова. – М. : Химия, 1990. – 222 с.
8. Ивочкина, М. А. Инженерно-геологическое обеспечение устойчивости отвалов фосфогипса : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.16 / М. А. Ивочкина. – СПб., 2013. – 22 с.
9. Инженерная геология России : в 2 т. / под ред. В. Т. Трофимова, Е. А. Вознесенского, В. А. Королева. – М. : КДУ, 2011. – Т. 1: Грунты России. – 672 с.

REFERENCES

1. Matviejev, A. V. Riel'jef Bielarusi / A. V. Matviejev, B. N. Gurskij, R. I. Lievickaja. – Minsk : Univiersitietskoje, 1988. – 320 s.
2. San'ko, A. F., YArcev V.I., Dubman A.V. Geneticheskie tipy i facii chetvertichnyh otlozhenij Belarusi. San'ko, A. F., YArcev V.I., Dubman A.V. Minsk, 2012. 311 s.
3. Galkin, A.N. Inzheniernaja gieologija Bielarusi : monografija : v 3 ch. / A. N. Galkin ; pod nauch. ried. V. A. Koroliova. – Vitiebsk : VGU im. P. M. Masherova, 2016. – Ch. 1 : Grunty Bielarusi. – 367 s.
4. Bogatov, B. A. Otkrytyje gornyje raboty kalijnogo proizvodstva v Bielarusi / B. A. Bogatov, A. D. Smychnik, S. F. Shemiet. – Minsk : Tekhnoprint, 2004. – 266 s.
5. Shpakov, O. N. Karst tiekhnogiennykh solianyx otlozhenij / O. N. Shpakov, V. P. Klie-mient'jev // Okhrana okruzhajushchiej sriedy kalijnykh proizvodstv : sbornik / ried. G. V. Bogomolov. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1979. – S. 65–71.
6. Larionova, N. A. Ispol'zovanije fosfogipsa v stroitel'stvie / N. A. Larionova // Siergiejevskije chtienija – 2014 : materialy nauch. siessii, Moskva, 21–22 marta 2014 g. / riedkol.: V. I. Osipov (otv. ried.) [i dr.]. – M. : RUDN, 2014. – Vyp. 16 : Razvitije nauchnykh idiej akadiemika Ye. M. Siergiejeva na sovriemiennom etapie. – S. 48–53.
7. Fosfogips i jego ispol'zovanije / V. V. Ivanickij [id r.] ; pod ried. S. D. Evienchika, A. A. Novikova. – M. : Khimija. 1990. – 222 s.
8. Ivochkina, M. A. Inzhenierno-gieologichieskoje obiespiechienije ustojchivosti otvalov fosfogipsa : avtorief. dis. ... kand. tiekhn. nauk : 25.00.16 / M. A. Ivochkina. – SPb., 2013. – 22 s.
9. Inzheniernaja gieologija Rossii : v 2 t. / pod ried. V. T. Trofimova, Ye. A. Vozniesien-skogo, V. A. Koroliova. – M. : KDU, 2011. – T. 1. Grunty Rossii. – 672 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 20.09.2021

УДК 911.3+314.7(476)

*Александр Александрович Сидорович¹, Татьяна Николаевна Сидорович²,
Анастасия Ивановна Ильючик³*

¹канд. геогр. наук, доц., декан факультета естествознания
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²учитель географии средней школы № 26 г. Бреста

³магистр геогр. наук, аспирант каф. туризма и страноведения
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Alexandr Sidorovich¹, Tatsiana Sidorovich², Anastasia Ilutchik³

¹PhD in Geographical Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Natural Sciences
at the Brest State A. S. Pushkin University

²Geography Teacher at Secondary School № 26 in Brest

³Master of Geographical Sciences, Postgraduate Student
of The Department of Tourism and Regional Studies
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: 2brestsid@gmail.com

МИГРАЦИОННЫЙ ФАКТОР РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА БЕЛАРУСИ В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI В.

Представлены результаты исследования воздействия миграционных процессов на динамику численности трудоспособного населения Беларуси на уровне административно-территориальных районов за 1989–2019 гг. За весь анализируемый период миграционный прирост населения отмечен только в 19 районах. Для 15 районов Беларуси наиболее активный отток населения пришелся на 1990-е годы, для 59 районов – 2000-е гг., для 40 районов – 2010-е гг. В начале XXI в. среди факторов миграции доминирующее положение перешло к дифференциации социально-экономического развития. В этот период усилился миграционный отток населения из западных областей страны.

Ключевые слова: миграция населения, миграционное сальдо, перепись, регионы Беларуси.

Migration Factor of Regional Transformation of the Demographic Space in Belarus at the End of XX – Early XXI Centuries

The article presents the study of the migration impact on the dynamics of the working-age population at the level of the administrative-territorial regions of Belarus for 1989–2019. For the entire analyzed period, the migration increase was noted only in 19 districts. The most active outflow of population occurred in the 1990s in 15 regions of Belarus, in the 2000s – 59 regions, in the 2010s – 40 regions. At the beginning of the 21st century, among the factors of migration, the dominant position passed to the differentiation of socio-economic development. During this period, the migration outflow of the population from the western regions of the country increased.

Key words: migration, population, migration balance, census, regions of Belarus.

Введение

В первой половине 1990-х гг. Беларусь столкнулась с новыми демографическими вызовами – депопуляцией и старением населения. Географические исследования демографических процессов указывают на значительные региональные различия в степени проявления общенациональных трендов. Наиболее интенсивное сокращение численности населения наблюдается в регионах с отрицательной результативностью миграционного обмена. Поскольку большая часть миграционных потоков формируется населением трудоспособного возраста, то миграционные выбытия не только усиливают естественную убыль, но и способствуют ускорению деформации половозрастной структуры населения, приводя к цепной реакции интенсификации сокращения рождаемости и увеличе-

ния смертности. Данное обстоятельство определяет актуальность, практическую и научную значимость экономико-географических исследований влияния миграции на демографическое развитие регионов.

Цель работы – определить вклад миграционного фактора в региональную трансформацию демографического пространства Беларуси в конце XX – начале XXI в.

Материалы и методика исследования

Централизованным источником эмпирической информации о мигрантах выступают данные текущего учета миграции населения, осуществляемого подразделениями по гражданству и миграции органов внутренних дел и сельскими исполнительными комитетами посредством талонов миграционного учета, которые заполняются одновременно с адресными листками при регистрации по месту жительства (пребывания). Так формируются статистические данные о числе прибывших и выбывших в границах отдельных административно-территориальных единиц. Разность между числом прибывших и выбывших представляет собой миграционное сальдо, которое наряду с естественным приростом/убылью выступает компонентом общей динамики численности населения. Однако точность миграционного учета значительно уступает точности учета составляющих естественного движения населения – рождаемости и смертности. Это несоответствие проявляет себя в несовпадении численности населения по данным вновь проведенной переписи населения с данными о численности населения на основе предыдущей переписи с учетом числа родившихся, умерших, прибывших и выбывших за данный период. Таким образом, разность между двумя значениями численности населения, полученными разными способами, может быть представлена как альтернативная оценка реального миграционного сальдо, включающего учтенные и неучтенные миграционные потоки.

Информационную базу исследования составили данные Национального статистического комитета о численности населения по результатам переписей за 1989–2019 гг., а также данные о числе родившихся и умерших за каждый год периода по административно-территориальным районам и городам областного подчинения Беларуси [1–3].

Результаты исследования и их обсуждение

Масштабы и эффект миграционного движения населения дифференцированы не только в пространственном, но и во временном (хронологическом) аспекте. Миграционной ситуации присуще диалектическое единство динамичности и статичности. В отношении одних районов тенденции перемещения населения имели однородный, схожий характер на протяжении всех трех межпереписных периодов (1989–1999, 1999–2009, 2009–2019 гг.). В других случаях наблюдалось преломление тенденций. Однако в целом для большей части районов характерна миграционная убыль населения. С целью выявления движущих сил, генерирующих и определяющих динамику миграционных потоков, районы были распределены на три группы в зависимости от периода с наиболее интенсивным оттоком населения для каждого из них, что дает возможность установить общую закономерность смены миграционной картины (рисунок 1).

Межпереписной период 1989–1999 гг. оказался периодом наиболее активного оттока населения для 15 районов Беларуси, расположенных в юго-восточной и восточной частях страны. Среди них только два не относятся к категории районов, наиболее пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС – Гомельский и Могилевский. Территориальная общность данной группы районов дает основания однозначно выделить экологический фактор миграционного оттока в этот период как преобладающего [4].

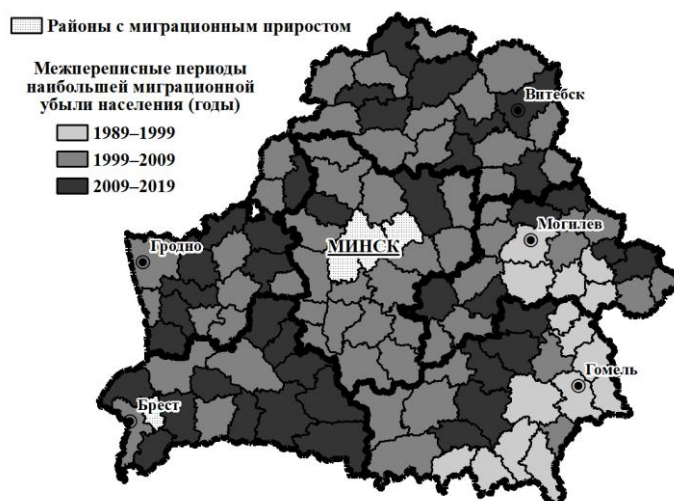


Рисунок 1. – Межпереписные периоды наибольшей интенсивности среднегодовой миграционной убыли населения районов Беларуси в 1989–2019 гг.

На миграционное перераспределение населения в этот период оказывал влияние не только экологический, но и геополитический фактор. Распад СССР поставил жителей новых суверенных государств, в т. ч. и Беларуси, перед выбором гражданской принадлежности. С одной стороны, это привело к возвращению в Беларусь лиц, считавших себя белорусами и желавших вернуться на историческую родину. С другой стороны, представители этносов, отличных от титульной нации, также покидали Беларусь и возвращались уже на свою родину. В первую очередь среди таких этносов следует отметить русских и украинцев. Отток представителей отдельных этносов начался еще в конце 1980-х гг. в результате упрощения процедуры выезда на постоянное место жительства за пределы СССР в целом. В Беларуси в силу специфики национального состава населения это явление затронуло только евреев, массово выезжавших в Израиль по приглашению родственников или при подтверждении своего этнического происхождения. Схожий механизм выезда, отразившийся на международных миграционных потоках, имел место у представителей отдельных христианских конфессий – различных протестантских течений (баптизм, адвентизм и др.). Как правило, конечной целью их эмиграции были США. Естественно, что степень проявления данных факторов зависела от этнической и конфессиональной структур населения административно-территориальных районов.

На географической структуре миграционных процессов сказался и вывод ограниченного контингента Советской армии из ГДР (Восточной Германии), объединенной в 1990 г. с ФРГ в единое государство. Часть этого контингента была передислоцирована на территорию Беларуси. Вследствие распада СССР значительно сократилась численность военнослужащих Белорусского военного округа, а офицерскому составу было предоставлено право выбора места службы и гражданства (в первую очередь Беларусь либо Российская Федерация). Суверенный этап развития Беларуси закономерно сопровождался не только постоянным снижением численности армейского состава, но и ликвидацией воинских частей. В этом контексте следует отметить Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21 декабря 1993 г. № 856 «О передаче военных городков, высвобождаемых в ходе реформирования Вооруженных Сил и вывода воинских частей Стратегических Сил Российской Федерации, в ведение Государственного комитета по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС». Военные городки при соответствующих воинских частях фактически превращались в обычные «гражданские» поселения, получая статус поселков либо деревень, реже – городских поселений.

Примерами таких военных городков являются поселки Гезгалы Дятловского и Боровка Лепельского р-нов, д. Куплино Пружанского р-на. В целом для данных населенных пунктов характерно существенное снижение численности населения из-за тесной их связи с расформированными воинскими частями в контексте обеспечения занятости населения и функционирования систем жизнеобеспечения населенного пункта (отопление, водоснабжение, канализация), а также в связи с переводом офицерского состава на новое место несения службы.

В 1990-е гг. принципиально поменялось воздействие социально-экономического фактора на миграционные процессы. В советский период в рамках плановой экономики принятие решений о создании того или иного, как правило, промышленного предприятия с локализацией в определенном районе приводило к кардинальной смене не только миграционной ситуации, но и демографической в целом [5]. Сила такого воздействия во многом предопределялась господствующей идеей гигантизма. Смена модели государственного управления с командно-административной на рыночную (по сути, смешанную) и нарушение ранее сложившихся производственных цепочек поставила вопрос уже не в плоскости обеспечения роста производства и создания новых предприятий, а банального сохранения достигнутого уровня и рационального использования ранее накопленного потенциала и, более того, минимизации падения темпов экономического роста. Снижение объемов производства и реализации продукции, банкротство и ликвидация градо- и районообразующих предприятий усилило отток населения из таких районов. Интенсивный отток населения наблюдался и в районах с аграрной структурой занятости. Общее падение доходов населения особенно сильно сказалось на занятых в сельскохозяйственном производстве, в котором уровень оплаты труда ниже, чем в других сферах [6].

Различное сочетание вышеназванных факторов предопределило масштабы миграционных процессов и их результат в виде абсолютного и относительного миграционного сальдо, которое в зависимости от знака представляет собой прирост либо убыль. Наибольший отток населения в этот период вполне ожидаемого характерен для районов, пострадавших от радиационного загрязнения (рисунок 2).

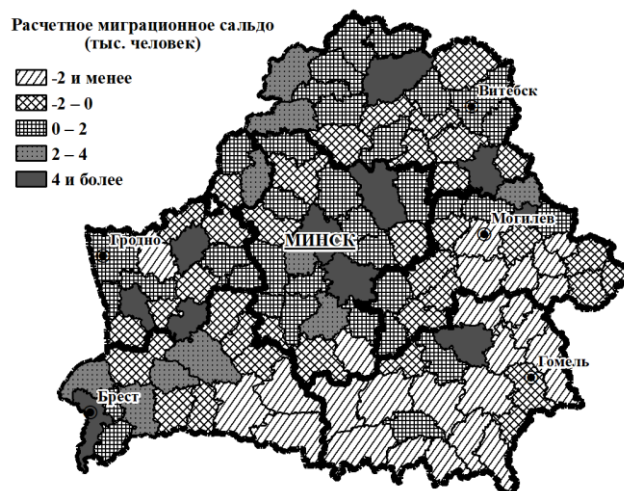


Рисунок 2. – Расчетное миграционное сальдо за межпереписной период 1989–1999 гг.

Коэффициент корреляции (r) между абсолютной миграционной убылью и фактом отнесения районов к категории наиболее пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС составляет 0,8. В целом миграционные потери данных районов за межпереписной период 1989–1999 гг. составили 113,8 тыс. человек. Абсолютные потери по отдельным районам значительно разнятся: от 0,6 тыс. человек в Костюковичском р-не до 11,2 тыс. в Хойникском и 11,3 тыс. Ветковском. Но

и среди районов, отдаленных от экологических проблем, за период 1990-х гг. отмечен миграционный отток, превышающий 1 тыс. человек: Щучинский р-н – 2,4 тыс., Сенненский – 1,7 тыс., Свислочский – 1,5 тыс., Дубровенский – 1,2 тыс., Вилейский – 1,1 тыс., Толочинский – 1,1 тыс.

По абсолютному миграционному приросту лидирующие позиции занимали районы с ведущей промышленной функцией, многофункциональные и промышленно-аграрные. Наибольший прирост отмечен в Жлобинском (8,8 тыс. человек), Волковысском (6,7 тыс.), Полоцком (6,7 тыс.), Борисовском (6,1 тыс.) и Оршанском (5,8 тыс.) р-нах. В Минском р-не положительное миграционное сальдо составило 5,6 тыс. человек. В Дрибинском р-не Могилевской обл. прирост составил 4,1 тыс. человек, но по относительному приросту район занимает первое место – 30,9 % к численности населения 1989 г. (рисунок 3).

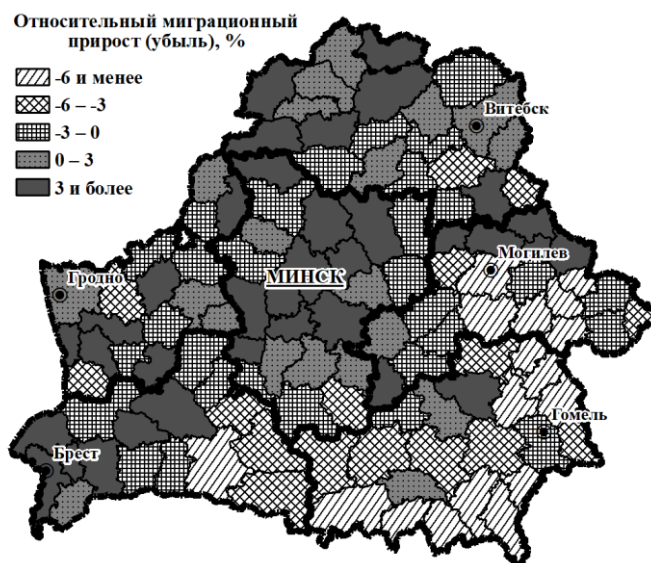


Рисунок 3. – Относительный миграционный прирост/убыль за межпереписной период 1989–1999 гг.

В целом в 36 районах относительный миграционный прирост за 1990-е гг. составил 3 % и более, в 15 районах прирост превысил 5 %. Наибольшие показатели на районном уровне по областям представлены следующим образом: Брестская область – Брестский р-н (9,8 %), Гомельская обл. – Жлобинский р-н (9,0 %), Гродненская обл. – Волковысский р-н (8,7 %), Витебская обл. – Браславский р-н (6,5 %), Минская обл. – Дзержинский р-н (6,0 %). На данном этапе еще не проявлялась закономерность возрастания миграционного прироста под воздействием фактора близкого расположения к столице (фактор столичности). В Минской обл. наряду с Дзержинским р-ном миграционный прирост превысил 5 % только в Узденском и Мядельском р-нах. Самый интенсивный миграционный отток, безусловно, отмечен в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению. В 11 из них миграционная убыль превысила 10 % от общей численности населения, достигнув максимальных значений в Наровлянском (39,5 %), Ветковском (32,0 %) и Чечерском (30,8 %) р-нах.

Значительный отток населения отмечен и в других районах. Например, в Свислочском р-не Гродненской обл. миграционные потери составили 5,1 % всего населения, в Дубровенском р-не Витебской обл. – 4,6 %. При этом половина всех районов с отрицательным миграционным сальдо сконцентрирована в Гомельской и Могилевской областях.

Для 59 административно-территориальных районов самым неблагоприятным периодом стали 2000-е гг., а доминирующим фактором территориальной мобильности выступал социально-экономический. Эти районы не образуют единого ареала, за исключением Минской обл. За межпереписной период 1999–2009 гг. за счет миграционного фак-

тора наиболее активно прирастал г. Минск, притягивая население из одноименной области. Центр миграционного оттока населения переместился из Гомельской и Могилевской областей в районы западной части страны. Из 34 районов с миграционной убылью населения свыше 3,5 тыс. человек около половины расположены в Брестской и Гродненской областях. Более того, наибольшая абсолютная миграционная убыль также отмечена в районах западных областей. И если Столинский (–7,2 тыс. человек) и Лунинецкий (–6,0 тыс.) районы непосредственно относятся к районам, наиболее пострадавшим от аварии на Чернобыльской АЭС, что и объясняет наряду с сугубо социально-экономическими мотивами стремление жителей покинуть данные районы, то Лидский (–6,3 тыс.) и Березовский (–4,7 тыс.) относятся к функционально-планировочному типу с ведущей промышленной функцией. Однако в целом такая ситуация определяется более узким социально-экономическим потенциалом, заложенным еще в советский период, и, как следствие, более низким уровнем урбанизации [7]. Если в 1990-е гг. в период критического спада производства и резкого снижения доходов населения проживание в сельской местности позволяло домохозяйствам как минимум обеспечивать себя основными продуктами питания, то в дальнейшем по мере восстановления экономического роста и активизации социально-экономического развития отток населения из этих регионов значительно усилился.

Обращают на себя внимание высокие показатели миграционной убыли в Гродненском (–6,7 тыс.) и Брестском (–4,1 тыс.) районах. Однако это объясняется не столько собственно миграционными процессами, сколько административно-территориальными преобразованиями по включению в состав областных центров (и в целом городов областного подчинения) пригородных населенных пунктов, которые, как правило, относятся к категории сельских. При этом следует учитывать, что Национальный статистический комитет проводил переоценку численности населения районов по результатам предыдущих переписей с учетом происходивших административно-территориальных преобразований. Но пересчет числа родившихся и умерших в таких случаях не осуществлялся, что имеет значение для корректной интерпретации полученных данных.

В других областных регионах районы с наиболее массовым оттоком населения располагаются, как правило, вне основных транспортных коридоров и вдали от ключевых экономических центров [8]. Но есть среди них многофункциональный район (Оршанский р-н Витебской обл. с миграционной убылью 5,9 тыс. человек) и район с ведущей промышленной функцией (Солигорский р-н Минской обл. – 4,5 тыс.). При этом Солигорский р-н характеризуется одним из самых высоких уровней средней заработной платы, занимая в некоторые годы лидирующее место в Беларуси по данному показателю. В Минской обл. большой миграционный отток отмечен лишь в Вилейском р-не (–5,1 тыс.). В Гомельской и Могилевской областях наибольшее отрицательное миграционное сальдо наблюдалось в Житковичском (5,2 тыс.) и Быховском (4,1 тыс.) районах соответственно. В качестве довода о снижении роли миграционного оттока из районов, подвергшихся наиболее мощному радиационному загрязнению, служит рассмотрение состава десяти регионов с наименьшей миграционной убылью. Из них к данной группе относятся четыре района: Наровлянский (–0,4 тыс. человек), Чечерский (–0,6 тыс.), Добрушский (–1,0 тыс.) и Речицкий (–1,1 тыс.). Более того, в число девяти районов с положительным миграционным сальдо входит и Ветковский р-н Гомельской обл. (+0,3 тыс. человек), также относящийся к категории районов, наиболее пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС. Больше всех за межпереписной период 1999–2009 гг. за счет мигрантов прирос Минский р-н (18,0 тыс. человек, или на 12,5 %). Далее следуют Могилевский (2,6 тыс.), Дзержинский (2,5 тыс.), Полоцкий (1,2 тыс.), Гомельский (0,9 тыс.), Жабинковский (0,7 тыс.), Смолевичский (0,6 тыс.) и Витебский (0,1 тыс.) районы. В совокупности прирост в них составил около 27 тыс. человек. Объединяющим признаком

перечисленных районов выступает близость столицы либо городов областного подчинения, в первую очередь областных центров. Например, в отношении Полоцкого р-на – это расположение двух городов областного подчинения – Новополоцка и Полоцка (г. Полоцк был объединен с Полоцким р-ном в 2012 г., как и г. Орша с Оршанским).

Несколько иная картина региональной миграционной ситуации за период 1999–2009 гг. предстает при рассмотрении относительной миграционной убыли (рисунок 4). Наиболее интенсивный отток (с учетом общей численности населения) отмечался в этот период в небольших по численности населения районах с очень низким промышленным потенциалом и аграрной специализацией. Так, все 10 районов с наибольшей относительной миграционной убылью относились к аграрному функционально-планировочному типу, первые 25 районов представлены аграрными либо агропромышленными, причем последних всего четыре (Шумилинский – 11,4 %, Петриковский – 10,7 %, Житковичский – 10,5 % и Крупский – 10,2 %). Максимальная же интенсивность миграционного оттока зафиксирована в Октябрьском, Зельвенском, Дубровенском (по 13,1 %), Глусском (13,2 %) и Хотимском (14,1 %) районах. Из «чернобыльских» районов наиболее интенсивно мигрировало население Кормянского р-на – 11,4 % от численности населения в 1999 г. Это 11-е место по данному показателю среди всех районов Беларуси.

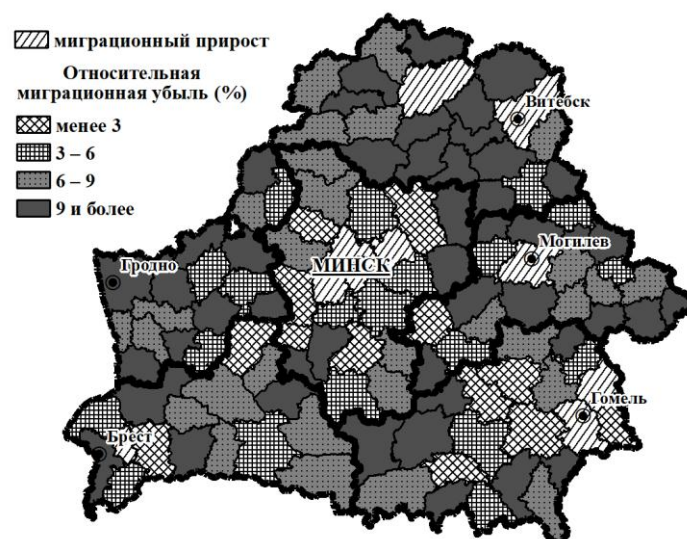


Рисунок 4. – Относительная миграционная убыль/прирост за межпереписной период 1999–2009 гг.

Наиболее интенсивный миграционный отток населения в 2009–2019 гг. наблюдался в 40 районах. Это большая часть районов Брестской обл., около половины районов Витебской и Гродненской областей. Таким образом, можно отметить тенденцию усиления миграционного оттока населения из западных областей страны. Как и в предыдущий период, доминирующим фактором миграционного движения населения выступала дифференциация уровня социально-экономического развития регионов.

Более контрастной представляется миграционная ситуация при рассмотрении относительных показателей (рисунок 5). Так, число жителей Минского р-на благодаря миграционному фактору возросло на 50,4 %, Смолевичского – на 20,6 %, Островецкого – на 18,6 %, Брестского – на 14,8 %, Дзержинского – на 12,8 %, Логойского – на 12,6 %. На другом «полюсе» оказались 16 районов, в которых миграционная убыль превысила 10 % от общей численности населения: от 10,1 % в Хойникском до 19,5 % в Барановичском районах. К категории «чернобыльских» относится только Хойникский р-н. Но даже при рассмотрении 27 районов с убылью 9 % и более только три являются районами,

наиболее пострадавшими от радиационного загрязнения. Половина из десяти районов с наибольшей интенсивностью выезда населения находится в Гродненской области: Щучинский (13,0 %), Ивьевский (12,7 %), Вороновский (12,6 %) и Свислочский (12,4 %); 8 районов из 10 являются аграрными.

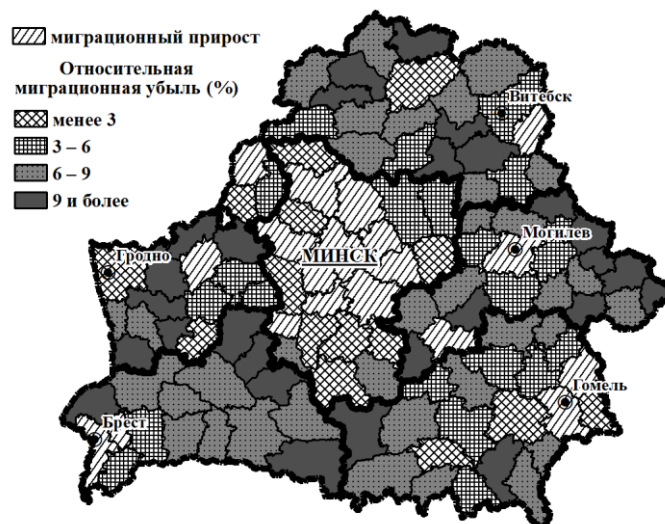


Рисунок 5. – Относительная миграционная убыль/прирост за межпереписной период 2009–2019 гг.

Заключение

За весь анализируемый период 1989–2019 гг. на уровне административно-территориальных районов миграционный прирост населения отмечен только в 19 регионах. Почти половина из них территориально тяготеет к г. Минску, образуя регион притяжения населения из других районов страны. Межпереписной период 1989–1999 гг. оказался периодом наиболее активного оттока населения для 15 районов Беларуси, расположенных в юго-восточной и восточной частях страны. По абсолютному миграционному приросту лидирующие позиции занимали районы с ведущей промышленной функцией, многофункциональные и промышленно-аграрные. Кардинально изменилась географическая структура миграционных потоков в 2000-е гг. Для 59 районов данный период стал самым неблагоприятным. Число районов с положительным миграционным сальдо снизилось с 56 до 9, а с отрицательным возросло с 62 до 109. Наиболее интенсивный отток отмечался в небольших по численности населения районах с очень низким промышленным потенциалом и аграрной специализацией за пределами основных транспортных коридоров и вдали от ключевых экономических центров. Среди факторов миграции доминирующим стала дифференциация социально-экономического развития. Начинает усиливаться миграционный отток населения из западных областей страны. Наиболее интенсивная миграционная убыль населения в 2009–2019 гг. наблюдалась в 40 районах: в большей части районов Брестской обл., примерно в половине районов Витебской и Гродненской областей. Усилился отток населения из районов с индустриальной специализацией.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации [Электронный ресурс] / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search>. – Дата доступа: 10.01.2021.

2. Общая численность населения, численность населения по возрасту и полу, состоянию в браке, уровню образования, национальностям, языку, источникам средств к существованию по Республике Беларусь, 2019 : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2020. – 55 с.
3. Перепись населения, 2009 : в 7 т. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: В. И. Зиновский (пред.) [и др.]. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2010–2011. – Т. 2. : Население Республики Беларусь: его численность и состав. – 2010. – 414 с.
4. Шахотько, Л. П. Модель демографического развития Республики Беларусь / Л. П. Шахотько ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики. – Минск : Беларус. навука, 2009. – 439 с.
5. Козловская, Л. В. Человеческий капитал как фактор территориальной организации промышленности Беларуси на этапе инновационного развития / Л. В. Козловская // Вестн. БГУ. Сер. 2. – 2008. – № 1. – С. 96–100.
6. Сидорович, А. А. Формирование трудовых ресурсов Беларуси в условиях депопуляции и старения населения / А. А. Сидорович // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2020. – № 2. – С. 125–136.
7. Красовский, К. К. Урбанистическая эволюция Беларуси : монография / К. К. Красовский. – Брест : БрГУ им. А. С. Пушкина, 2009. – 237 с.
8. Сидорович, А. А. Миграция как фактор трансформации региональных рынков труда Беларуси / А. А. Сидорович // Вес. БДПУ. Сер. 3, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Геаграфія. Біялогія. – 2020. – № 1. – С. 69–76.

REFERENCES

1. Interaktywnaja informacionno-analitichieskaja sistema rasprostranienija oficial'noj statistichieskoj informacii [Elektronnyj riesurs] / Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus'. – Riezhim dostupa: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search>. – Data dostupa: 03.01.2021.
2. Obshchaja chisliennost' nasielienija, chisliennost' nasielienija po vozrastu i polu, sostojaniju v brake, urovniu obrazovanija, nacional'nostiam, jazyku, istochnikam sriedstv k sushchiestvovaniju po Rieszpublike Bielarus', 2019 : stat. biul. / Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus'. – Minsk : Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus', 2020. – 55 s.
3. Pieriepis' nasielienija, 2009 : v 7 t. / Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus' ; riedkol.: V. I. Zinovskij (pried.) [i dr.]. – Minsk : Nac. stat. kom. Rieszp. Bielarus', 2010–2011. – T. 2. : Nasielienije Rieszpubliki Bielarus': jego chisliennost' i sostav. – 2010. – 414 s.
4. Shakhot'ko, L. P. Model' diemografichieskogo razvitija Rieszpubliki Bielarus' / L. P. Shakhot'ko ; Nac. akad. nauk Bielarusi, In-t ekonomiki. – Minsk : Bielarus. navuka, 2009. – 439 s.
5. Kozlovskaja, L. V. Chieloviechieskij kapital kak faktor tierritorial'noj organizacii promyshliennosti Bielarusi na etapie innovacionnogo razvitija / L. V. Kozlovskaja // Viestn. BGU. Sier. 2. – 2008. – № 1. – S. 96–100.
6. Sidorovich, A. A. Formirovanije trudovykh resursov Bielarusi v uslovijakh diepopuliacii i starienija nasielienija / A. A. Sidorovich // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5. Khimija. Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2020. – № 2. – S. 125–136.
7. Krasovskij, K. K. Urbanistichieskaja evoliucija Bielarusi : monografija / K. K. Krasovskij. – Briest : BrGU im. A. S. Pushkina, 2009. – 237 s.
8. Sidorovich, A. A. Migracija kak faktor transformacii riegional'nykh rynkov truda Bielarusi / A. A. Sidorovich // Ves. BDPU. Sier. 3, Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Hieahrafija. Bijalohija. – 2020 – № 1. – S. 69–76.

УДК 502.175:004.031.42:911.375.5

**Светлана Михайловна Токарчук¹, Денис Анатольевич Трофимчук²,
Андрей Олегович Белюк³**

¹канд. геогр. наук, доц., доц. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²канд. геогр. наук, доц. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³студент IV курса факультета естествознания
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Svetlana Tokarchuk¹, Denis Trofimchuk², Andrey Beluk³

¹PhD in Geographical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Geography and Nature Management
of the Brest State A. S. Pushkin University

²PhD in Geographical Sciences,
Associate Professor of the Department of Geography and Nature Management
of the Brest State A. S. Pushkin University

³4th Year Student of the Faculty of Natural Sciences
of the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: 1svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

**СОЗДАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ
ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ
(НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕЛЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ БРЕСТА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА
ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ)***

Рассмотрена возможность реализации различных типов геоинформационных продуктов для отображения и распространения результатов научно-исследовательской работы на примере исследования «Разработка многоцелевой интерактивной геоинформационной модели зеленой инфраструктуры крупных городов Беларуси для оценки ее влияния на формирование качества городской среды». Для территории г. Бреста разработана методика создания и выполнено несколько различных типов ГИС-продуктов: интерактивные базы данных, каталоги, виртуальные экскурсии, электронные атласы и информационно-справочные системы. Для выполнения исследования использовалась облачная платформа картографирования ArcGIS Online. Созданные информационные продукты находятся в свободном доступе в сети Интернет, что позволяет использовать собранные и обработанные данные на практике.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, зеленая инфраструктура, базы данных, городская среда, ментальные карты.

***Development of Geoinformation Products to Display the Results of Scientific Research
(on the Example of Studying the Green Infrastructure of Brest to Assess
Its Impact on the Formation of the Quality of the Urban Environment)***

Considered the possibilities of implementing various types of geoinformation products for the purpose of displaying and disseminating the results of research work on the example of the study «Development of a multi-purpose interactive geoinformation model of the green infrastructure of large cities in Belarus to assess its impact on the formation of the quality of the urban environment». For the territory of the city of Brest, a methodology was developed for the creation and several different types of GIS products were developed: interactive databases, catalogs, virtual excursions, electronic atlases and information and reference systems. The cloud-based mapping platform ArcGIS Online was used to carry out the study. The created information products are freely available on the Internet and allow you to visually present the results of the research and use the collected and processed data in practice.

Key words: geoinformation technologies, green infrastructure, databases, urban environment, mental maps.

*Работа выполнена при поддержке БРФФИ (НИР «Разработка многоцелевой интерактивной геоинформационной модели зеленой инфраструктуры крупных городов Беларуси для оценки ее влияния на формирование качества городской среды», № госрегистрации 20191948).

Введение

В настоящее время в результате выполнения прикладных географических, эколого-географических и иных исследований, как правило, накапливается большое количество рабочих и итоговых материалов самого разного типа, в частности, текстового, картографического, табличного, иллюстративного, графического, фотографического. При этом следует отметить, что чаще всего данный материал остается в итоговых отчетах, которые не распространяются ни в виде печатного издания, ни в качестве электронного издания. Распространение результатов исследования происходит в основном за счет публикации статей в научных журналах и сборниках докладов научных конференций. Ввиду этого значительную актуальность представляет развитие такого направления, как создание различных типов информационных продуктов, которые позволят объединить весь накопленный материал, представить его наглядно, а также свободно распространять, преимущественно с использованием размещения в сети Интернет.

Материалы и методы

Для решения проблемы распространения полученных в результате выполнения НИР материалов высокую актуальность приобретает такое направление, как создание веб-продуктов, которые позволяют значительно упростить процесс обмена информацией. Для выполнения таких продуктов можно использовать как конструкторы веб-сайтов, так и возможности других облачных платформ, в т. ч. и платформ картографирования.

В настоящей работе приводится опыт создания различных типов геоинформационных продуктов на основе использования облачной платформы картографирования ArcGIS Online. В частности, представлены результаты реализации картографических веб-приложений для отображения основных итогов этапов выполнения НИР «Разработка многоцелевой интерактивной геоинформационной модели зеленой инфраструктуры крупных городов Беларуси для оценки ее влияния на формирование качества городской среды».

Общая характеристика НИР «Разработка многоцелевой интерактивной геоинформационной модели зеленой инфраструктуры крупных городов Беларуси для оценки ее влияния на формирование качества городской среды».

НИР выполнялась в Брестском государственном университете имени А. С. Пушкина в период с 2019 по 2021 гг. Идея реализации научно-исследовательской работы состоит в интеграции на основе геоинформационных технологий разноплановой (экологической, социальной, экономической и др.) информации для совокупности природных и природно-антропогенных геосистем города, образующих сложную пространственно-организованную инфраструктуру (зеленую инфраструктуру), которая поддерживает экологическую стабильность территории, предотвращая потерю биоразнообразия и деградацию ландшафта, препятствует изменению климата, а также обеспечивает высокий уровень комфортности жизни городского населения.

Термин «зеленая инфраструктура» («green infrastructure») уже достаточно широко используется в зарубежной практике городского планирования [1; 2], однако является относительно молодым: его официальное закрепление в экологическом менеджменте и политике произошло в 2013 г., когда Европейская стратегия зеленой инфраструктуры (ЗИ) была утверждена Европейской комиссией. При этом в странах Европейского союза под зеленой инфраструктурой понимают стратегически спланированную сеть высококачественных природных и полуприродных территорий, которая формируется и управляется с целью предоставления широкого спектра экосистемных услуг и защиты биоразнообразия в сельских и городских условиях [3].

Реализация идеи проекта предусматривала постановку ряда задач, которые для рассматриваемой территории были решены впервые. Этими задачами являлись:

1. Разработка концепции зеленой инфраструктуры города и проведение комплексной оценки влияния ЗИ на городскую среду.

2. Проектирование и создание локальной городской ГИС зеленой инфраструктуры, которая позволит объединить разнородную информацию для принятия управленческих решений в различных областях деятельности. Особенностью данной ГИС будет ее реализация как в десктоп-версии (для возможности использования и редактирования без доступа к сети), так и в виде веб-приложения, что позволит быстро распространять полученную информацию, а также использовать ее другим пользователям как основу для собственных исследований.

3. Разработка и апробация методики создания ментальных карт, которые в настоящее время широко используются в научных исследованиях других стран, но фактически не применяются в Беларуси.

Для выполнения данного исследования был задействован широкий спектр методов различных научных направлений: географические (полевой, описательный, сравнительно-географический, историко-географический, картографический, картометрический, дешифрирования спутниковых снимков и др.), математические (математической статистики, факторный анализ, метод главных компонент и др.), геоинформационные (ГИС-технологий, ГИС-анализа и др.), социологические (анкетирование, интервьюирование, социологическое наблюдение, контент-анализ и др.).

В результате реализации проекта были выполнены восемь основных этапов (таблица 1), на каждом из которых был реализован большой объем различных типов информационных материалов: (1) электронные (интерактивные) карты; (2) графики, диаграммы, гистограммы и др.; (3) таблицы; (4) схемы; (5) фотографии; (6) описательный материал; (7) базы данных и др.

Таблица 1. – Этапы выполнения НИР

Этап	Наименование работы (этапа)
1	Анализ состояния зеленой инфраструктуры с точки зрения ее влияния на экологические, социальные и экономические условия городской среды и выявление наиболее перспективных направлений ее использования применительно к условиям г. Бреста
2	Анализ условий формирования и современного состояния природных и природно-антропогенных геосистем крупного города Беларуси (на примере г. Бреста), создание концепции зеленой инфраструктуры
3	Формирование пространственной геопривязанной базы данных о зеленой инфраструктуре крупного города Беларуси на примере г. Бреста
4	Разработка геоинформационной модели зеленой инфраструктуры крупного города, реализованной в виде настольной и веб-версии
5	Оценка влияния зеленой инфраструктуры на экологическое состояние городской среды
6	Оценка степени влияния зеленой инфраструктуры на формирование микроклимата городской среды посредством создания тепловой карты города с целью разработки рекомендаций по адаптации к изменению климата
7	Выявление роли зеленой инфраструктуры в формировании туристско-рекреационного потенциала города с созданием серии интерактивных туристических карт и разработкой городских экологических маршрутов для разных групп туристов
8	Оценка восприятия населением зеленой инфраструктуры и уровня сформированности ментального образа города путем проведения социоэкологического исследования с целью повышения комфортности городской среды. Изучение перспектив дальнейшего развития исследований и практического использования полученных результатов

Результаты и их обсуждение

Для территории города Бреста на примере изучения его зеленой инфраструктуры была предпринята попытка создания различных типов геоинформационных продуктов с использованием современной картографической облачной платформы по результатам выполненной научно-исследовательской работы. Созданные информационные продукты объединяют различные типы собранного материала, находятся в свободном доступе в сети Интернет и не только позволяют более наглядно увидеть результаты проведенных исследований, но и используются на практике в учреждениях образования города при проведении учебных занятий, экологических мероприятий, краеведческих кружков и в деятельности общественных организаций для экологического просвещения населения.

Важным этапом проведения исследования являлся выбор типов информационных продуктов для представления всей накопленной в ходе выполнения исследования информации. В результате анализа литературных данных [4–7] было изучено более 30 типов современных информационных продуктов и выбраны те из них, создание которых позволило отобразить полученные результаты. В целом для отображения результатов выполнения НИР «Разработка многоцелевой интерактивной геоинформационной модели зеленой инфраструктуры крупных городов Беларуси для оценки ее влияния на формирование качества городской среды» были реализованы пять типов информационных продуктов (таблица 2).

Таблица 2. – Типы информационных продуктов

Тип продукта	Краткая характеристика
Интерактивная карта (база данных)	Картографическое изображение, которое визуализируется с использованием программных и технических средств; обладает рядом признаков, таких как возможность изменения масштаба, наличие окон со всплывающей информацией, интерактивных надписей и др.
Виртуальная экскурсия	Один из методов отображения пространства на экране, которое сопровождается привязкой дополнительных мультимедийных информационных компонентов, таких как фотографии, иллюстрации, видео, поясняющие надписи, всплывающие окна с дополнительной информацией, гиперссылки и др.
Интерактивный каталог	Информационная система, состоящая из тематических разделов, содержащих иллюстрации, видеоматериалы и описательную текстовую часть, позволяющую получить информацию по конкретному направлению
Электронный атлас	Серии электронных карт и других типов данных и материалов (текстовых, табличных, графических, иллюстративных), которые с использованием программного обеспечения объединены в единый электронный картографический продукт
Информационно-справочная система	Автоматизированная система, предназначенная для организации, хранения, пополнения и представления пользователям информации (характеризуется четкой структуризацией и наличием множества систем и подсистем)

С использованием каждого из типов интерактивных веб-продуктов было выполнено несколько ГИС-систем на основе базовых шаблонов облачной платформы картографирования ArcGIS Online. Данная платформа включает большое количество различных ГИС-инструментов и обладает большими возможностями по работе с картами и картографическими продуктами без установки программного обеспечения на компьютер, а также с возможностью его прямого, непосредственного размещения в сети Интернет. Для выполнения данного исследования использовались картографические шаблоны карт

историй (Story Map), которые позволяют создавать различные веб-приложения с учетом имеющихся у разработчика материалов (карт и картосхем, иллюстраций, текста и др.) и запросов к внешнему виду приложения.

Можно выделить несколько основных преимуществ использования данного сервиса при выполнении научно-исследовательских работ:

- 1) не требуются навыки программирования;
- 2) значительная простота как в изучении и получении навыков работы с шаблонами, так и дальнейшем их использовании;
- 3) приложения создаются и публикуются на облачной платформе, их можно показывать на разных носителях (компьютер, планшет, смартфон), а для распространения выполненного продукта используется краткая интернет-ссылка;
- 4) наличие готовых к использованию шаблонов, которые в то же время имеют значительный функционал работы с картой.

В настоящее время платформа карт историй ArcGIS Online включает девять различных видов картографических шаблонов. Для выполнения данного исследования использовались возможности семи шаблонов.

Шаблон *Story Map Basic* представляет собой интерактивную карту с очень простым и удобным интерфейсом. В шаблон данного приложения входит панель с заголовком, легенда (при необходимости), сама карта с всплывающими окнами.

Шаблон *Story Map Journal* соединяет в единое целое описательный текст с картами и другими типами ресурсов (иллюстрациями, видео, веб-ресурсами). Приложение, созданное с использованием данных шаблонов, включает разделы, которые можно просто пролистывать по очереди. Каждый раздел включает карту (либо другой вид ресурса) и сопроводительный текст, который также может дополняться иллюстрациями.

Шаблон *Story Map Tour* используется для создания интерактивной карты с целью последовательного движения по отдельным «точкам повествования». Каждая «точка повествования» имеет четкую геолокацию и нанесена на интерактивную карту-подложку (это может быть как карта Openstreetmap, так и космический снимок, карта улиц и др.). Все объекты в приложении можно группировать с использованием четырех цветов маркеров (красного, зеленого, голубого и фиолетового). При изучении приложения можно либо поочередно двигаться по списку объектов, либо пролистывать его с помощью карты или карусели изображений, расположенной внизу шаблона.

Шаблон *Story Map Shortlist* позволяет объединять серии местоположений по вкладкам. Просматривать данные приложения можно либо на карте, либо в дополнительном окне, где располагаются сведения о геопозициях, включающие фотографию объекта и его краткое описание. Каждая вкладка и пунсоны местоположений отличаются своим цветом (в шаблоне имеется возможность настроить любой цветовой вариант). Также шаблон имеет возможность настройки автоматического обновления вкладок, когда в дополнительном окне отображаются только те объекты, которые находятся в текущем экстенде карты.

Шаблон *Story map Series* являет собой набор карт, которые размещаются в основном окне, с дополнительной информацией находится в дополнительном окне. В целом шаблон может включать до тридцати вкладок, на каждой из которых может размещаться отдельная карта (или рисунок, видео, другой веб-ресурс). Дополнительное окно, предназначенное для сопроводительных данных, характеризуется большими функциональными возможностями, в частности, там можно размещать описательный текст, который будет дополняться иллюстрациями и видеоматериалами. Описательный текст имеет большие возможности форматирования (наборы шрифтов, цвета текста и выделения текста и др.) с вкладками, что позволяет создавать приложения, содержащие большое количество карт или местоположений.

Шаблон *Story Map Cascade* дозволяє комбінувати текст описання з картою, зображеннями і мультимедіа-ресурсами. В даному шаблоні існують декілька типів сторінок: заголовки, описательні (з можливістю доповнення тексту медіафайлами), мультимедійні (разнонаправлені). Розглядати створені з використанням даного шаблону матеріали можна, пролистувати постранично або вивчаючи окремі розділи (шаблон дозволяє створювати закладки для окремих розділів).

Шаблон *Story Map Crowdsourсe* представляє собою карту, об'єкти на яку можна додати будь-якого бажання. Учасники ставлять точку на карті і описують об'єкт відповідно до тематики додатку, до точки обов'язково прикріплюється фотографія.

В цілому було реалізовано 15 веб-додатків (таблиця 3).

Таблиця 3. – Інтерактивні веб-продукти, що відображають особливості зеленої інфраструктури м. Бреста

Тип продукту	Назва		Шаблон	Режим доступу
Картографічні бази даних	1.1	Озелененість житлових кварталів	Basic	https://arcg.is/feW8f0
	1.2	Деревні види житлових кварталів	Basic	https://arcg.is/1088Cm
	1.3	Озелененість вулиць	Basic	https://arcg.is/0CqLz5
	1.4	Деревні види вулиць	Basic	https://arcg.is/jbCTq
	1.5	Ландшафтно-рекреаційні території	Basic	https://arcg.is/1a11GG0
Віртуальні екскурсії	2.1	#BrestVeloGreen	Journal	https://arcg.is/191jH5
	2.2	Зелений Центр	Tour	https://arcg.is/1qnOuq
	2.3	Сад неперервного цвітіння БрГУ імені А. С. Пушкіна (майська екскурсія)	Tour	https://arcg.is/1Sa4b01
Інтерактивні каталоги	3.1	Зелені території Бреста	Shortlist	https://arcg.is/0eS0K0
	3.2	Ботанічні пам'ятники природи Бреста	Series	https://arcg.is/08Gf4H
	3.3	Зелені куточки брестського мікрорайону «Центр»	Crowdsourсe	https://arcg.is/1i8rCy0
Електронні атласи	4.1	Атлас озеленення кварталів центральної частини м. Бреста	Cascade	https://arcg.is/19ziCu
	4.2	Атлас озеленення дитячих майданчиків мікрорайону «Центр» Бреста	Cascade	https://arcg.is/1GDn1i0
Інформаційно-справочні системи	5.1	Зелена інфраструктура Бреста	Series	https://arcg.is/nuSyW
	5.2	Ментальний образ озеленення Бреста	Series	https://arcg.is/1GKfaH

Інтерактивні веб-продукти створювалися для різних територіальних рівнів:

1) регіонального, які дозволяють познайомитися з зеленими територіями всього м. Бреста;

2) локального, включаючи інтерактивні продукти для окремих територій (наприклад, міських районів або мікрорайонів);

3) ультралокального, где рассматриваются зеленые территории и их отдельные объекты в рамках ограниченных площадей (отдельные городские кварталы или несколько кварталов, парки, лесопосадки, дендропарки).

Картографические базы данных – это интерактивные системы, включающие веб-карту с легендой и привязанную к ней атрибутивную информацию. Например, база данных «Древесные виды жилых кварталов» представляет собой карту жилых кварталов Бреста, где к полигону каждого квартала привязаны сведения о количестве деревьев каждого вида в данном квартале; база данных «Ландшафтно-рекреационные территории» – это карта распространения разных типов ландшафтно-рекреационных территорий (парки, скверы, бульвары, лесопарки, водоохранные зоны, санитарно-защитные зоны, пустыри и др.), которые отображаются разными цветовыми оттенками, к каждому полигону ландшафтно-рекреационной территории привязаны данные о его площади.

Разработка *виртуальных экскурсий* преследует несколько целей. Во-первых, для того, чтобы абсолютно любой пользователь сети Интернет вне зависимости от его местонахождения смог «пройти» по маршруту и ознакомиться с достопримечательностями города. Во-вторых, данные интерактивные продукты можно использовать в целях веб-гида непосредственно при прохождении экскурсии на местности.

Можно выделить еще такие преимущества виртуальных экскурсий, как:

- 1) доступность, т. е. возможность осмотра достопримечательностей любой территории без больших материальных и временных затрат;
- 2) проведение экскурсии (осмотра территории) в любое время;
- 3) возможность многократного просмотра экскурсии и прилагаемой к ней информации;
- 4) создание нереальных экскурсий (например, сочетающих элементы разных пор года; объектов, которые уже не существуют и др.).

Интерактивные каталоги – это информационные системы, состоящие из тематических разделов, позволяющих объединить иллюстрации и текстовую часть с интерактивной картой. Информация в веб-каталоге представлена в четкой иерархически структурированной форме. Например, интерактивный каталог «Зеленые территории Бреста» [8] включает четыре вкладки: «Парки», «Скверы», «Бульвары», «Озелененные территории общественных центров», «Сады, дендропарки». Каждая из данных вкладок содержит интерактивную карту, где пунсонами разных цветов нанесены местоположения зеленых территорий. К каждой точке местоположения привязана информация о самой зеленой территории: ее фотография, краткое описание, данные по периоду создания и площади и некоторые другие характеристики.

Электронные атласы – это сложные многоуровневые интерактивные системы, которые объединяют большое количество разнотипной информации (интерактивные карты, фотографии, иллюстрации, текст и др.) в единую систему. Например, «Атлас озеленения кварталов центральной части города Бреста» [9] характеризуется сложной многоуровневой структурой, а также наличием семи тематических разделов («Введение», «Особенности формирования центральной части города Бреста», «Характеристика кварталов центральной части города Бреста», «Общие особенности озелененности кварталов» и др.). Разделы атласа сильно отличаются по содержанию и способу создания; большая часть разделов атласа создавалась путем встраивания в приложение тематических веб-карт, которые, в свою очередь, дополнялись текстовым и фотографическим материалом, в них также вставлялись информационные разделы, включающие современные и исторические снимки, различные планы, карты и схемы.

Информационно-справочные системы представляют собой набор тематических карт и картосхем, которые сопровождаются краткой дополнительной информацией.

Структура системы обычно состоит из определенного набора вкладок, в пределах каждой из которых размещены интерактивная карта и дополнительная панель с иллюстративно-описательной информацией. Например, информационно-справочная система «Зеленая инфраструктура Бреста» [10] включает пять основных разделов «Кварталы», «Древесные виды кварталов», «Улицы», «Древесные виды улиц» и «Ландшафтно-рекреационные территории», каждый из которых включает от 5 до 25 интерактивных карт с дополнительной информацией.

Заключение

В ходе выполнения научно-исследовательской работы были созданы различные типы геоинформационных продуктов с использованием современных средств ГИС для объединения и распространения полученных материалов. Созданные информационные продукты находятся в свободном доступе в сети Интернет и не только позволяют более наглядно увидеть результаты проведенных исследований, но и используются на практике.

Результаты реализации проекта используются либо могут быть использованы:

1) в деятельности органов государственного управления при разработке территориальных комплексных схем городской среды, а также при планировке городской территории с учетом ее экологических особенностей;

2) для информирования государственных и общественных организаций о состоянии городской среды г. Бреста;

3) для улучшения осведомленности жителей г. Бреста о состоянии природных и природно-антропогенных геосистем в городе, их особенностях и возможностях общественного мониторинга;

4) для развития городского экотуризма при создании городских экологических троп;

5) для предоставления разносторонних информационных услуг пользователям, а также для создания локальных (например, отдельных городских микрорайонов) и узкоспециализированных (ландшафтно-рекреационных территорий и др.) городских ГИС-проектов;

6) в деятельности учреждений образования при изучении курсов природоохранной направленности, ГИС-технологий, а также при выполнении научно-исследовательских работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климанова, О. А. Оценка геоэкологических функций зеленой инфраструктуры в городах Канады / О. А. Климанова, Е. Ю. Колбовский, А. В. Курбаковская // География и природ. ресурсы. – 2016. – № 2. – С. 191–200.

2. Подойницына, Д. С. Критический анализ концепции «Зеленая инфраструктура» / Д. С. Подойницына // Архитектура и соврем. информ. технологии. – 2016. – № 1 (34). – 12 с.

3. Building a Green Infrastructure for Europe [Electronic resource]. – Mode of access: http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_broc.pdf. – Date of access: 25.05.2019.

4. Быков, А. В. Веб-картографирование : учеб. пособие / А. В. Быков, С. В. Пьянков. – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. – 110 с.

5. Загребин, Г. И. Геопортал как средство хранения и поиска геопространственной информации в образовательной научно-технической деятельности / Г. И. Загребин, А. В. Дворников // Интерэкспо гео-Сибирь. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 175–178.

6. Миронова, Е. Е. ГИС-моделирование зеленой инфраструктуры средиземноморских городов для управления урбанизированными экосистемами (на примере города Малага) / Е. Е. Миронова // *Экосистемы: экология и динамика*. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 14–36.
7. Попова, И. В. Применение геоинформационных систем для мониторинга и развития системы зеленых насаждений города / И. В. Попова, Е. Э. Бурак, Ю. А. Воробьева // *Жилищ. хоз-во и коммунал. инфраструктура*. – 2018. – № 4 (7). – С. 67–75.
8. Токарчук, С. М. Ландшафтно-рекреационные территории г. Бреста: опыт веб-картографирования / С. М. Токарчук, В. В. Малыха, Я. Г. Янчук // *Историческая география Восточной Европы: природное и культурное наследие* : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., Псков, 24–25 нояб. 2016 г. / Псков. гос. ун-т. ; редкол.: А. И. Слинчак (отв. ред.) [и др.]. – Псков : Псков. гос. ун-т, 2016. – С. 175–179.
9. Интерактивный проект «Атлас озеленения кварталов центральной части города Бреста» / А. О. Белюк [и др.] // *ГИС-технологии в науках о Земле* : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 13 нояб. 2019 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Н. В. Жуковская (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2019. – С. 69–74.
10. Белюк, А. О. Информационно-справочная система «Зеленая инфраструктура Бреста» / А. О. Белюк, Д. А. Трофимчук, С. М. Токарчук // *ГИС-технологии в науках о Земле* : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 18 нояб. 2020 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Н. В. Жуковская (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2020. – С. 128–131.

REFERENCES

1. Klimanova, O. A. Ocenka gieoekologichieskikh funkcij zielionoj infrastruktury v gorodakh Kanady / O. A. Klimanova, Ye. Yu. Kolbovskij, A. V. Kurbakovskaja // *Gieografija i prirod. riesursy*. – 2016. – № 2. – S. 191–200.
2. Podojnicyna, D. S. Kritichieskij analiz koncepcii «Zielionaja infrastruktura» / D. S. Podojnicyna // *Arkhitektura i sovriem. inform. tiekhnologii*. – 2016. – № 1 (34). – 12 s.
3. Building a Green Infrastructure for Europe [Electronic resource]. – Mode of access: http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_broc.pdf. – Date of access: 25.05.2019.
4. Bykov, A. V. Veb-kartografirovanije / A. V. Bykov, S. V. P'jankov. – *Pierm' : Pierm. gos. nac. isslied. un-t*, 2015. – 110 s.
5. Zagrebin, G. I. Gieoportala kak sriedstvo khranienija i poiska gieoprostranstviennoj informacii v obrazovatel'noj nauchno-tiekhnichieskoj diejatel'nosti / G. I. Zagrebin, A. V. Dvornikov // *Interesko gieo-Sibir'*. – 2016. – Т. 1, № 1. – S. 175–178.
6. Mironova, Ye. Ye. GIS-modelirovanije zielionoj infrastruktury sriediziemnomorskikh gorodov dlia upravlienija urbanizirovannymi ekosistemami (na primierie goroda Malaga) / Ye. Ye. Mironova // *Ekosistemy: ekologija i dinamika*. – 2020. – Т. 4, № 4. – S. 14–36.
7. Popova, I. V. Primienienije gieoinformacionnykh sistiem dlia monitoringa i razvitija sistiemy zielionyx nasazhdienij goroda / I. V. Popova, Ye. E. Burak, Yu. A. Vorobjova // *Zhilishch. khoz-vo i kommun. infrastruktura*. – 2018. – № 4 (767–75). (Russian).
8. Tokarchuk, S. M., Malyha V.V., Janchuk Ja.G. Landshaftno-riekrieacionnyje tierriatorii g. Briesta: opyt web-kartografirovanija / S. M. Tokarchuk, V. V. Malykha, Ya. G. Janchuk // *Istorichieskaja gieografija Vostochnoj Jevropy: prirodnoje i kul'turnoje nasliedije* : materialy miezhdunar. nach.-prakt. konf., Pskov, 24–25 nojab. 2016 g. ; riedkol.: A. I. Slinchak (otv. ried.) [i dr.]. – Pskov : Pskov. gos. un-t., 2016. – P. 175–179.
9. Interaktivnyj projekt «Atlas ozielienienija kvartalov central'noj chasti goroda Briesta» / A. O. Bieliuk [i dr.] // *GIS-tiekhnologii v naukah o Ziemi* : materialy riesp. nach.-prakt.

sieminara studentov i molodyh uchionykh, Minsk, 13 nojab. 2019 g. / Bielorus. gos. un-t ; riedkol: N. V. Zhukovskaja (otv. ried.) [i dr.]. – Minsk : BGU, 2019. – S. 69–74.

10. Bieliuk, A. O. Informacionno-spravocchnaja sistemiema «Zielionaja infrastruktura Briesta» / A. O. Bieliuk, D. A. Trofimchuk, S. M. Tokarchuk // GIS-tiekhnologii v naukakh o Ziemi: materialy riesp. nauch.-prakt. sieminara studentov i molodykh uchionykh, Minsk, 18 nojab. 2020 g. / Bielorus. gos. un-t ; riedkol: N. V. Zhukovskaja (otv. ried.) [i dr.]. – Minsk : BGU, 2020. S. 128–131.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 08.02.2021

УДК 556.18 : 628.171 (476)

Олег Владимирович Шеринёв

канд. геогр. наук, доц., доц. каф. социально-гуманитарных дисциплин
Института повышения квалификации и переподготовки
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины
Oleg Shershnyov

PhD in Geography, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Social and Humanitarian Disciplines
of Institute of Skills Development and Retraining
of the Francisk Skorina Gomel State University
e-mail: gomelgeo@yandex.ru

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

На основании водохозяйственной статистики государственного водного кадастра представлены результаты исследования динамики добычи (изъятия) воды из природных источников за период 2000–2019 гг. Проанализирована структура водопользования и ее изменение. Установлено ежегодное сокращение добычи (изъятия) воды, которое к 2019 г. составило 28 %. Наиболее значимое снижение использования воды (более 30 %) произошло в хозяйственно-питьевом и промышленном водоснабжении. Проведена систематизация административных районов с учетом объемов общего изъятия воды и приоритетов источников ее добычи по состоянию на 2019 г. Установлено, что большинство районов характеризуется очень малым водозабором – от 0,64 до 15,0 млн м³ в год, а приоритетным источником водоснабжения являются подземные воды, преимущественно используемые для хозяйственно-питьевых нужд. Анализ объемов целевого использования воды в 2019 г. на уровне административных районов позволил объединить их в три группы: с одной, двумя и тремя приоритетными целями водопользования. Самая многочисленная группа включает 77 районов, где приоритетными являются две цели водопользования. В 56 районах в качестве приоритетных целей выступают хозяйственно-питьевые и сельскохозяйственные нужды. Результаты исследования могут быть использованы при разработке планов водопользования, направленных на оптимизацию и повышение эффективности использования водных ресурсов с учетом демографических и экономических особенностей регионов.

Ключевые слова: водопользование, водозабор, приоритеты водопользования, поверхностные воды, подземные воды, Республика Беларусь, административные районы.

Regional Features of Water Use in the Republic of Belarus

Based on the water management statistics of the state water cadaster, the results of a study of the dynamics of water extraction (withdrawal) from natural sources for the period 2000–2019 are presented. The structure of water use and its changes are analyzed. An annual reduction in water extraction (withdrawal) was established, which by 2019 amounted to 28 %. The most significant reduction in water use by more than 30 % occurred in domestic and drinking and industrial water use. The systematization of administrative districts was carried out, taking into account the volume of total water withdrawal and priorities of sources of its extraction in 2019. It is established that most areas are characterized by a very small water intake from 0,64 to 15,0 million m³ per year, and the priority source of water supply is groundwater, mainly used for domestic and drinking purposes. The analysis of the volumes of targeted water use in 2019 at the level of administrative districts allowed us to combine them into 3 groups: with one, two and three priority water use goals. The largest group includes 77 districts in which two water use goals are simultaneously prioritized. In 56 districts, domestic and drinking purposes and irrigation and agricultural water supply are considered as priority goals. The results of the study can be used in the development of water use plans aimed at optimizing and improving the efficiency of water resources use, taking into account the demographic and economic characteristics of the regions.

Key words: water use, water abstraction, water use priorities, surface water, groundwater, Republic of Belarus, administrative districts.

Введение

Возможность использования человеком водных ресурсов определяется их качеством и количеством. Антропогенное воздействие на водные ресурсы вызывает необхо-

димість оцінки не тільки їх якості, але і доступності пресної води в об'ємах, забезпечуваних існуючими запитами водопотреблення. В ряду регіонів світу потреби в воді перевищують природні можливості їх заповнення. Прогнозні оцінки свідчать, що до 2025 р. 1,8 млрд осіб буде проживати в країнах або регіонах з абсолютною нехваткою води, а дві третини світового населення можуть зазнавати дефіциту води, едва задовольняючи потреби в воді сільськогосподарського, промислового, побутових потреб, енергетики і навколишнього середовища [1].

Методологія оцінки часової і просторової змінливості водопотреблення ґрунтується на виділенні природно-економічних регіонів, характеризуються більш або менш однорідними фізико-географічними умовами і рівнем розвитку господарської діяльності. Для визначення водопотреблення в межах природно-економічних регіонів використовують переважно фактичні або розраховані дані про водопотреблення і водовідведення на різні господарські потреби. Загальне водопольовання розраховується як сума водозаборів по всіх секторах використання води. Як правило, об'єми водопотреблення в тих або інших регіонах визначаються трьома основними факторами: рівнем господарського розвитку, чисельністю населення і фізико-географічними (переважно, кліматичними) особливостями території.

В Республіці Білорусь дослідження по водних ресурсах присвячені вивченню водного балансу території, особливостям розподілу водних ресурсів і структурі їх господарського використання, поточної і перспективної водообезпеченості економіки країни (С. С. Белецький, Г. В. Богомолів, А. А. Волчек, С. П. Гудак, М. Ю. Калінін, К. А. Курило, А. В. Кудельський, А. П. Лавров, М. Г. Медведєва, А. М. Пенюковська, Я. М. Шилінська, В. М. Широков, М. Г. Ясовєєв і др.) [2–12].

При оцінці водопольовання застосовуються теоретичний і звітний-статистичний методи. Теоретичний метод ґрунтується на складанні балансу водопотреблення і водовідведення з урахуванням особливостей виробничих процесів, систем водопостачання і каналізації. Звітний-статистичний метод ґрунтується на даних державної статистичної звітності об'ємах водопотреблення, водовідведення і виробництва продукції. При оцінці динаміки водопотреблення найбільш поширеними є статистичні методи аналізу часових рядів.

Прогнозні оцінки розвитку водного господарства того або іншого регіону повинні ґрунтуватися на представленнях про динаміку співвідношення потреби в водних ресурсах і їх наявності в минулому і теперішньому, з урахуванням напрямків і пріоритетів водопольовання, його технічного забезпечення і заходів по захисту водних ресурсів.

Метою роботи є оцінка пріоритетів використання води по джерелам водопостачання і призначенню водопотреблення на рівні адміністративних районів.

Матеріали і методи дослідження

Оцінка водопольовання в Республіці Білорусь базувалась на матеріалах державного водного кадастра, включаючого обобщенні дані статистичних звітів підприємств і організацій об використанні води за період 2000–2019 рр. [13; 14].

Застосовані для реалізації поставленої мети методи представлені трьома групами:

- 1) емпіричні (порівняння);
- 2) кількісні (економіко-статистичні, статистична групування);
- 3) графічні (діаграми, картосхеми).

До першої групи методів належить метод порівняння досліджуваних об'єктів (адміністративних районів) з метою виявлення схожості або відмінностей між ними

по ряду показателей (численности населения, объему добычи (извлечения) воды, количеству используемой воды по целям водопользования и др.). Это позволяет получить выраженные в числовой форме количественные различия между исследуемыми объектами.

Во второй группе в качестве экономико-статистического метода применен анализ рядов динамики, включающий сравнение уровней относительного показателя темпа прироста, рассчитанного по постоянной базе сравнения. Статистическая группировка использована для выделения и ограничения однородных групп исследуемых показателей водопользования.

Графические методы использованы для визуализации, систематизации и обобщения результатов исследования в виде диаграмм и картосхемы.

Методическая схема проведения исследования состояла из нескольких этапов.

1. Анализ интенсивности изменения во времени забора воды на основании рядов динамики с равностоящими уровнями за период 2000–2019 гг. Уровни в динамическом ряду представлены абсолютными средними за год величинами, характеризующими добычу (изъятие) воды. Показатели анализа динамики рассчитаны по постоянной базе сравнения. За базисный уровень принят 2000 г.

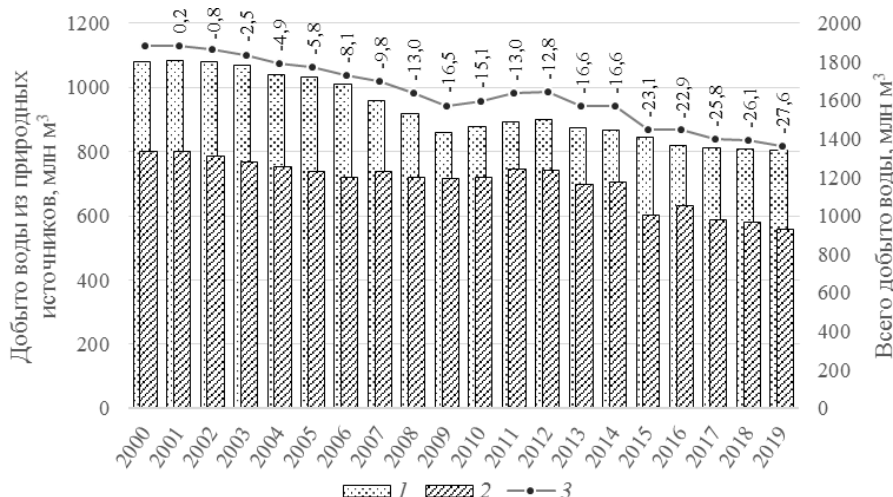
2. Изучение структуры водопользования за период 2000–2019 гг. на основании сравнительного анализа данных раздела «Статотчетность водопользователей» государственного водного кадастра Республики Беларусь [13; 14]. В качестве сравниваемых группировок использованы цели водопользования.

3. Анализ приоритетов водопользования на уровне административных районов (с учетом административных центров) методом статистических группировок на основании данных раздела «Статотчетность водопользователей» государственного водного кадастра Республики Беларусь за 2019 г. Группированными признаками являются: цель водопользования и величина используемой воды, приоритет природного источника воды, общий водозабор. Определение числа групп, на которые разбивались исследуемые совокупности, производилось на основании объема изучаемой совокупности и степени вариации признака, чтобы избежать получения «пустых» или малочисленных групп, которые будут недостаточно типичными для изучаемой совокупности в целом.

Результаты исследования и их обсуждение

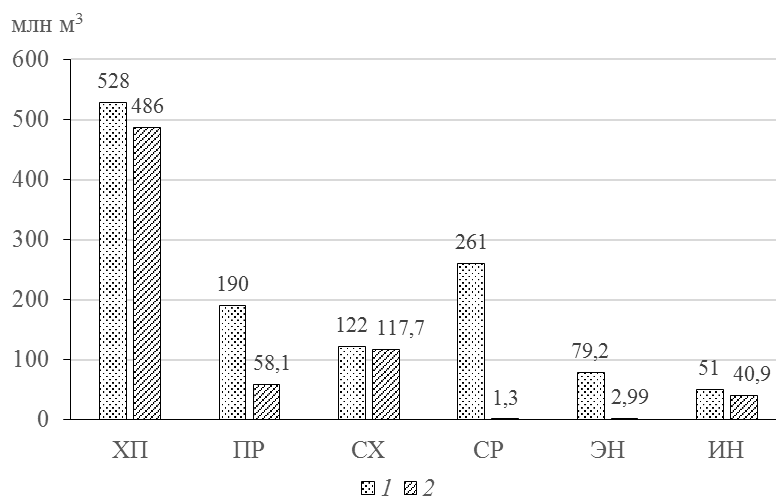
Динамика водозабора за период 2000–2019 гг. указывает на наметившуюся еще с 1992 г. тенденцию снижения добычи (изъятия) воды из подземных и поверхностных источников (рисунок 1). Ежегодное сокращение добычи (изъятия) воды (цепной показатель), за исключением отдельных лет, изменялось от 1 до 4 %, а за рассматриваемый период составило около 28 % по отношению к 2000 г.

С 1985 до 1995 г. в структуре общего водозабора доминировали поверхностные воды (53–60 %), а затем до настоящего времени от 54 до 58 % добычи воды приходилось на подземные воды. Повышение доли добычи подземных вод обусловлено их более высоким качеством по сравнению с поверхностными водами и, как следствие, приоритетным использованием, прежде всего в хозяйственно-питьевом водоснабжении. Из общего объема воды, используемой для этих целей, 91 % составляют подземные воды. Значительна доля использования подземных вод в сельском хозяйстве (до 98 %) и промышленности (до 30 %) (рисунок 2). Почти на 100 % они востребованы на лечебные нужды, для бутилирования и производства напитков, но по абсолютной величине (0,67–2,1 млн м³) они существенно уступают хозяйственно-питьевому водоснабжению.



1 – подземные воды; 2 – поверхностные воды; 3 – всего добыто воды (цифры над кривой – темпы прироста к базисному 2000 г.)

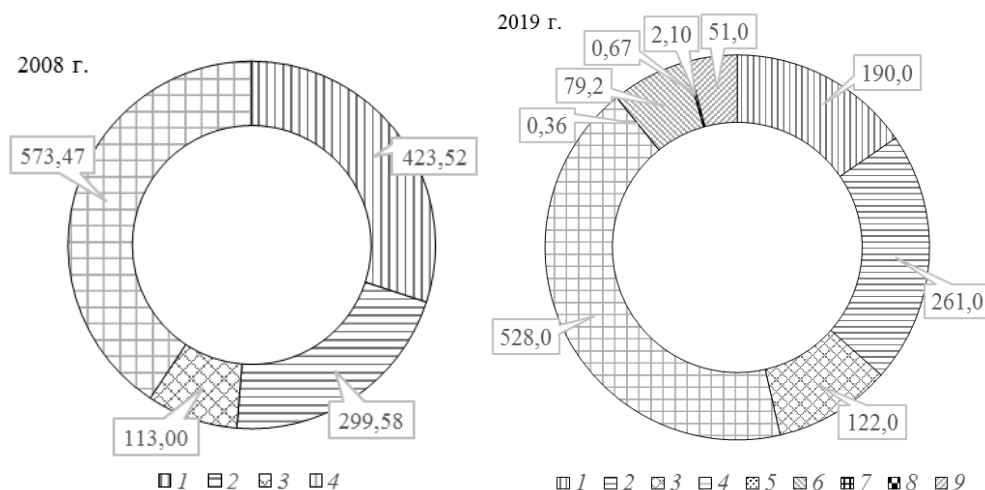
Рисунок 1. – Забор воды из природных источников для использования в Республике Беларусь (составлено автором на основе данных [13; 14])



Цели водопользования: ХП – хозяйственно-питьевые нужды; ПР – нужды промышленности; СХ – нужды сельского хозяйства (кроме рыбоводства); СР – нужды сельского хозяйства (только рыбоводство); ЭН – энергетические нужды; ИН – прочие цели; 1 – всего использовано воды; 2 – использовано подземных вод

Рисунок 2. – Использование подземных вод в Республике Беларусь в 2019 г. (составлено автором на основе [14])

Сокращение водозабора обусловлено уменьшением объемов использования воды. С 2009 и 2016 гг. в Республике Беларусь изменялись формы статистической отчетности по целям водопользования. Долгое время используемая для отчетности структура водопользования, включавшая 4 показателя: хозяйственно-питьевые, сельскохозяйственные (орошение и водоснабжение), промышленные цели и рыбоводство – была детализирована и расширена за счет еще пяти показателей (рисунок 3).



Цели водопользования (млн м³): 1 – нужды промышленности (ПР); 2 – нужды сельского хозяйства (только рыбоводство) (СР); 3 – нужды сельского хозяйства (кроме рыбоводства) (СХ); 4 – хозяйственно-питьевые нужды (ХП); 5 – буттирование пресных и минеральных вод (БУ); 6 – энергетические нужды (ЭН); 7 – лечебные (курортные, оздоровительные) нужды (ЛЧ); 8 – для производства алкогольных, безалкогольных, слабоалкогольных напитков и пива (кроме буттирования пресных и минеральных вод) (НП); 9 – прочие цели (ИН)

Рисунок 3. – Структура водопользования в Республике Беларусь (составлено автором на основе данных [13; 14])

За период 2000–2019 гг. для хозяйственно-питьевых и промышленных нужд наблюдается тенденция сокращения использования воды за исключением колебаний в сторону небольшого возрастания в отдельные годы. Снижение хозяйственно-питьевого водопотребления произошло на 32 %, а на промышленные нужды (с учетом буттирования, производства напитков, энергетических и прочих целей) – на 39 %. Снижение потребления воды, преимущественно поверхностной, на промышленные нужды привело к сокращению забора поверхностных вод и увеличению доли подземных вод. При этом хозяйственно-питьевые нужды (включая лечебные) являются приоритетными целями в общей структуре водопользования, на которые расходовалось от 782 (или 46 % в 2000 г.) до 528,7 млн м³ (или 43 % в 2019 г.) воды. Нужды промышленности до 2016 г. оставались вторым направлением по объемам потребления воды, доля использования которой несущественно колебалась и составляла 28–31 %. В 2016 и 2019 гг. с учетом изменения отчетности в структуре водопользования доля использования воды на нужды промышленности снизилась до 15 %.

Значительная часть воды тратилась на нужды рыбоводства, где доля ее использования колебалась, но имела общую тенденцию роста с 13,5 % в 2000 г. до 21 % в 2019 г.

На протяжении рассматриваемого периода времени на сельскохозяйственное орошение и водоснабжение расходовалось меньше всего воды: от 160 (2000 г.) до 122 млн м³ (2019 г.), доля использования которой, как правило, изменялась в пределах 8–9 %.

Таким образом, за период 2000–2019 гг. наибольшее сокращение использования воды произошло для хозяйственно-питьевых и промышленных нужд. Его причины на том или ином временном этапе могли быть обусловлены следующими факторами [3; 4; 14; 15]:

1) в хозяйственно-питьевом водоснабжении: убылью населения, внедрением и расширением приборного учета использования воды в жилом секторе городов и развитием тенденций, направленных на сбережение воды в сфере жилищно-коммунального хозяйства;

2) в промышленном водоснабжении: сокращением производственных мощностей водоемких предприятий, снижением доли водоемких производств в промышленности, внедрением водосберегающих технологий.

Величина водозабора и приоритет источника добычи воды во многом определяются структурой водопользования.

Объемы общей добычи (изъятия) воды и приоритеты водных источников на уровне административных районов существенно различаются (рисунок 4). Больше всего воды (114,8 млн м³) в 2019 г. было добыто (изъято) в Вилейском р-не, а меньше всего (0,64 млн м³) в Краснопольском р-не. В пределах этого диапазона значений районы по общему водозабору объединены в 5 групп (рисунок 4).

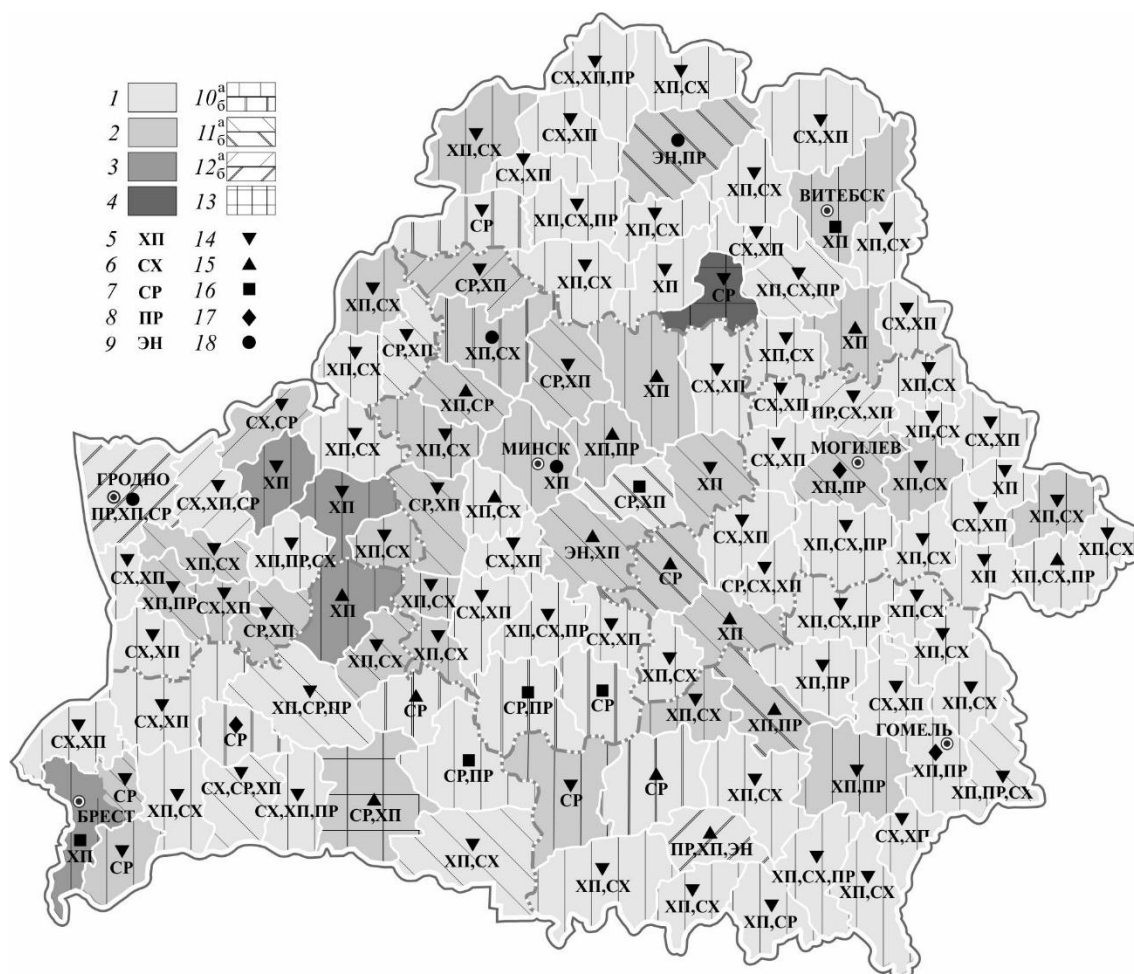
Большинство районов (90 из 118) характеризуются очень малым водозабором (0,64–15,0 млн м³ в год), суммарная величина которого составляет 324 млн м³ (23,8 % от общереспубликанской). Такие объемы удовлетворяют потребности районов преимущественно для хозяйственно-питьевых и сельскохозяйственных целей, в меньшей степени они расходуются для удовлетворения нужд рыбоводства и промышленности.

На 15 районов с малым объемом добычи (изъятия) воды приходится в сумме 286 млн м³ в год, или около 21 % от общереспубликанской величины ее извлечения. Отбираемые объемы воды прежде всего предназначены для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов с достаточно высокой численностью населения. Широко представлены районы, в которых она составляет от 60 до 200 тыс. человек, а значительная ее часть (60–90 %) концентрируется в административных центрах (например, городах Бобруйске, Барановичах, Мозыре, Орше и др.). В отдельных районах обеспечиваются потребности промышленности и энергетики (Мозырский, Светлогорский, Смолевичский, Костюковичский) или рыбоводства (Ганцевичский, Пинский, Петриковский, Молодечненский, Осиповичский).

Наименее распространенными являются 3 группы с объемами добычи (изъятия) воды от среднего до высокого, включающие от 3 до 6 административных районов. При этом на 4 административных района с высоким объемом добычи (изъятия) воды приходится наибольшая суммарная величина ее извлечения – 367,5 млн м³ в год (около 27 % от общереспубликанской). Такие объемы водозабора востребованы прежде всего для обеспечения энергетических, промышленных и хозяйственно-питьевых нужд в Минске, Гродно и Полоцке. Часть отбираемой воды расходует также на рыбохозяйственные и сельскохозяйственные цели.

В районах с средним и средневысоким объемом добычи (изъятия) воды суммарная величина ее извлечения изменяется соответственно от 17 до 11 % от общереспубликанской. К ним относятся районы преимущественно с высокой концентрацией населения и промышленным потенциалом, сосредоточенным в областных городах (Бресте, Витебске, Гомеле, Могилеве) или районных центрах (Солигорск), в которых вода расходует на удовлетворение хозяйственно-питьевых и промышленных целей. Кроме того, значительная доля (50–60 %) от общего объема отбираемой воды используется для рыбоводства (Лунинецкий, Солигорский и Червенский р-ны). В Березовском и Любанском районах на эти нужды приходится до 90 % и более водозабора.

По приоритету природного источника воды в большинстве районов (102 из 118) добыча подземных вод преобладает над изъятием поверхностных (рисунок 4).



Доля использования воды от общего водопотребления, %: 1 – 80–100; 2 – 60–80; 3 – 40–60; 4 – 20–40 (для одновременно двух и трех приоритетных целей водопользования показана суммарная величина).

Цель водопользования: 5 – хозяйственно-питьевые нужды; 6 – нужды сельского хозяйства (кроме рыбоводства); 7 – нужды сельского хозяйства (только рыбоводство); 8 – нужды промышленности; 9 – энергетические нужды.

Приоритет природного источника воды, %: 10 – 80–100 – подавляющая (или абсолютная) добыча: а) подземных вод; б) поверхностных вод; 11 – 60–80 – весьма значительная добыча: а) подземных вод, б) поверхностных вод; 12 – 52–60 – заметная добыча: а) подземных вод, б) поверхностных вод; 13 – 48–52 – примерно равная добыча.

Общий водозабор, млн м³: 14 – 0,64–15,0 (очень малый); 15 – 15,0–30,0 (малый); 16 – 30,0–45,0 (средний); 17 – 45,0–60,0 (средневысокий); 18 – 60,0–115 (высокий)

Рисунок 4. – Приоритеты использования воды на уровне районов Республики Беларусь (составлено автором)

Водозабор из поверхностных источников осуществляется в 82 районах и лишь в 14 из них изъятие поверхностных вод преобладает над добычей подземных, но при этом доля поверхностных вод составляет 80,5 % от их общего извлечения в стране.

Различия в приоритетах использования подземных вод по группам районов обусловлены целями водопользования и наличием источников, удовлетворяющих по количеству и качеству воды задачам водоснабжения. В большинстве районов за счет подземных вод на 70–100 % обеспечивается хозяйственно-питьевое и сельскохозяйственное во-

доснабженіе. В промышленности доля подземных вод может составлять до 30 % от общего объема используемой воды. Водозабор поверхностных вод по отношению к подземным возрастает в районах, где приоритетами водопользования выступают нужды рыболовства, промышленности и энергетики.

Для выявления приоритетов по целям водопользования в пределах административных районов выполнено определение доли использования воды в общей структуре водопользования. Выделены уровни и соответствующие им границы использования воды (таблица). Приоритетным направлением принимается цель водопользования с заметным и выше уровнем использования воды от общего водопотребления. По данному показателю административные районы образуют три группы: с одной, двумя и тремя приоритетными целями водопользования. Объединив приоритеты по целям водопользования, источникам добычи воды, а также объемы ее общего изъятия, получим комплексную оценку использования водных ресурсов (рисунок 4).

Таблица. – Приоритеты использования воды

Уровни использования воды	Границы уровней (величина, используемой воды от общего водопотребления, %)
Подавляющее (или абсолютное)	[80; 100]
Весьма значительное	[60; 80)
Значительное	[40; 60)
Заметное	[20; 40)
Незначительное	[0; 20)

Группа с одним приоритетом водопользования представлена 23 районами и включает два целевых направления: хозяйственно-питьевые нужды и рыболовство.

Приоритет хозяйственно-питьевого водоснабжения объединяет 13 районов, которые на 70–100 % обеспечиваются за счет подземных вод, для чего используется до 54–87 % воды от общего ее объема, предназначенного на различные нужды. Для части из них (6 районов) общие объемы добычи (изъятия) воды относятся к очень малым (0,64–11,6 млн м³) и характерны для территорий с численностью населения от 9,5–43 тыс. человек до 135 тыс. человек. Величина водоизвлечения возрастает до 33–110 млн м³ в районах, в которых прослеживаются процессы урбанизации и субурбанизации. Несмотря на то, что центрами таких районов являются многофункциональные города: столица и областные центры (Минск, Брест, Витебск), большие города – районные центры (Орша, Барановичи, Борисов), – высокая численность населения, проживающего в них, предопределяет приоритет (60–70 %) хозяйственно-питьевого водопользования. Промышленные или сельскохозяйственные цели водоснабжения в таких районах характеризуются незначительной долей (8–18 %) использования воды.

В 10 районах приоритетным использованием воды являются нужды рыболовства, для чего расходуется 3–60 млн м³, или от 35 до 94 % воды от общего количества на все цели водопользования. При этом в 7 из них от 77 до 92 % водозабора приходится на поверхностные источники. Для большинства районов общая добыча (изъятие) воды характеризуется очень малыми (4–14 млн м³) и малыми (15–24 млн м³) объемами. Основными потребителями воды являются крупные рыболовные предприятия, осуществляющие выращивание рыбы в аквакультуре (прудовое, садковое и индустриальное рыболовство), в распоряжении которых находится до 23,5 тыс. га искусственных прудов (например, опытный рыбхоз «Селец» – 2 359,5 га, рыбхоз «Локтыши» – 2 448,2 га, рыбхоз «Новинки» – 967,45 га).

Вторую группу составляют 77 районов, в которых приоритетными являются одновременно две цели водопользования.

В большинстве районов (56 районов) этой группы в качестве приоритетных целей выступают хозяйственно-питьевые и сельскохозяйственные нужды. На каждую из них расходуется от 0,1 до 3,1 млн м³, или 30–76 % воды от общего объема ее использования на различные нужды. Разница по объему использования воды между двумя приоритетными направлениями в основном составляет 0,1–0,5 млн м³. Численность населения районов изменяется от 9,3 до 84,5 тыс. человек, но в большинстве случаев (44) варьирует от 9,3 до 31,0 тыс. человек. Несмотря на наличие отдельных промышленных городов (Кобрин, Мосты, Вилейка, Клецк), районы преимущественно ориентированы на развитие сельского хозяйства. Имеющиеся промышленные предприятия не относятся к высоководоемким, поэтому использование воды для промышленных целей составляет незначительную долю (1,5–18 %) от общего водопотребления.

Приоритетным источником водоснабжения для большинства районов, за исключением Вилейского р-на, на 90–100 % являются подземные воды, а общая добыча (изъятие) воды характеризуется в основном очень малым объемом – от 0,7 до 6,9 млн м³. В Вилейском р-не высокий объем водозабора (115 млн м³) на 97 % обеспечивается поверхностными водами. Вода Вилейского водохранилища предназначена для увеличения обводнения р. Свислочь с целью обеспечения водоснабжения г. Минска.

Две небольшие группы образуют районы, в которых приоритетными являются две цели водопользования: хозяйственно-питьевые и промышленные нужды, – а также нужды рыбоводства и хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Приоритеты хозяйственно-питьевого и промышленного водопользования представлены в 7 районах. Они характеризуются достаточно высокой численностью населения (от 68 до 580 тыс. человек) с его наибольшей концентрацией в областных и районных центрах (Гомель, Могилев, Жлобин, Речица, Светлогорск, Волковыск), городах областного подчинения (Жодино). При этом районы имеют высокий промышленный потенциал, включающий высоководоемкие производства (химические, нефтехимические, металлургические, металло- и деревообработки, текстильные, пищевые).

За исключением Светлогорского р-на, приоритетным источником водоснабжения на 70–96 % являются подземные воды, а общая добыча (изъятие) воды характеризуется очень малым и малым объемом (9–22 млн м³), возрастая до средневысокого (50 млн м³) за счет городов – областных центров в Гомельском и Могилевском районах. В Светлогорском р-не водоснабжение обеспечивается за счет малых объемов воды (25,2 тыс. м³), на 70 % изымаемых из поверхностных водных объектов.

В 9 районах в качестве двух приоритетных целей водопользования выступают нужды рыбоводства и хозяйственно-питьевого водоснабжения. В 7 районах, кроме Пинского и Червенского, в общем объеме извлекаемой воды преобладают подземные воды. Однако за счет более широкого привлечения поверхностных вод для нужд рыбоводства доля добычи подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения и прочих целей составляет 55–73 %. Она возрастает до 91–99 % в Наровлянском и Молодечненском районах, в которых хозяйственно-питьевое водоснабжение превалирует над рыбохозяйственным водопользованием. При этом, общие объемы добычи (извлечения) относятся к очень малым (1,8 тыс. м³) и малым (15,3 тыс. м³) соответственно.

Водоснабжение Пинского р-на осуществляется за счет малых объемов (22,7 тыс. м³) и примерно равного соотношения добываемых (извлекаемых) подземных и поверхностных вод. В Червенском р-не средние объемы водозабора (37 тыс. м³) на 65 % обеспечиваются поверхностными водами.

В единичных случаях представлены районы, в которых в качестве одновременно двух приоритетных целей водопользования выступают энергетические и промышленные нужды, энергетические и хозяйственно-питьевые нужды и др.

В 18 административных районах приоритетными являются одновременно три цели водопользования. В большинстве случаев они представлены сочетанием хозяйственно-питьевых, сельскохозяйственных и промышленных нужд, которые обеспечиваются преимущественно малыми объемами отбираемой воды, составляющими от 1,7 до 6,5 тыс. м³. Приоритетным источником водоснабжения являются подземные воды, доля которых в общем водозаборе изменяется от 58 до 100 %.

На каждую из трех приоритетных целей водопользования расходуется от 0,5 до 4,3 тыс. м³, или 20–50 % воды от общего ее объема, предназначенного на различные нужды. Разница по объему потребления воды между приоритетными направлениями в основном составляет 0,2–0,7 тыс. м³.

Численность населения районов изменяется от 19,6 до 33,5 тыс. человек, возрастающая в отдельных районах (Рогачевский, Слуцкий) до 54–89 тыс. человек. Несмотря на наличие ряда промышленных и многофункциональных городов (Добруш, Рогачев, Слуцк, Костюковичи), районы ориентированы на развитие сельского хозяйства.

Заключение

Анализ динамики водозабора в Республике Беларусь за период 2000–2019 гг. выявил тенденцию постоянного сокращения добычи воды, до 60 % которой добывается из подземных источников.

В 36 административных районах водоснабжение организовано полностью за счет подземных вод, с объемом добычи 104 млн м³, что составляет лишь 13 % от общей добычи подземных вод.

Вместе с подземными водами в 82 районах страны вторым по значимости источником водоснабжения являются поверхностные воды. Только в 14 административных районах они имеют приоритетное значение, и доля их изъятия составляет от 54 до 97 % от общего водозабора.

В 90 из 118 административных районов водоснабжение обеспечивается за счет очень малых объемов добычи (изъятия) вод, не превышающих 15,0 млн м³ в год. В 67 районах водозабор составляет от 0,64 до 5,0 млн м³ в год.

В большинстве районов (77) приоритетными являются одновременно две цели водопользования. Наибольшее распространение получило хозяйственно-питьевое и сельскохозяйственное водоснабжение, обеспечиваемое подземными водами. В меньшей степени представлены районы с приоритетами использования воды на хозяйственно-питьевые и промышленные нужды, а также рыбоводство и хозяйственно-питьевые нужды.

Как правило, дифференциация объемов водозабора и приоритетов водопользования на уровне районов определяется численностью населения, степенью развития отраслей материального производства и их потребностью в водных ресурсах.

Полученные результаты исследования могут учитываться при разработке планов водопользования, направленных на оптимизацию и повышение эффективности использования водных ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальная экологическая перспектива: ГЕО 4 окружающая среда для развития. – ЮНЕП, 2007. – 572 с.
2. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек [и др.]. – Брест : Альтернатива, 2017. – 239 с.
3. Волчек, А. А. Динамика распределения водных ресурсов Беларуси между секторами экономики / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестн. БрГТУ. Водохозяйств. стр-во, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 6–9.

4. Волчек, А. А. Использование водных ресурсов в Республике Беларусь / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестн. БрГТУ. Водохозяйств. стр-во, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2. – С. 29–33.
5. Гертман, Л. Н. Формирование элементов водного баланса бассейна Немана / Л. Н. Гертман // Природ. ресурсы. – 2011. – № 2. – С. 45–50.
6. Кудельский, А. В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 271 с.
7. Курило, К. А. Ресурсы и качество подземных вод в Республике Беларусь. Обзорная информация / К. А. Курило. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2002. – 66 с.
8. Пеньковская, А. М. Водохозяйственное районирование и водохозяйственный баланс реки Вилии / А. М. Пеньковская, А. Г. Гриневич, И. А. Булак // Природ. ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 42–50.
9. Плужников, В. Н. Водные ресурсы Беларуси, их использование и охрана / В. Н. Плужников, М. В. Фадеева, В. И. Бучурин // Природ. ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 24–29.
10. Кудельский, А. В. Подземные воды Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. Г. Ясовеев. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 1998. – 260 с.
11. Широков В. М. Водохозяйственный баланс бассейна Днепра / В. М. Широков, А. М. Пеньковская, В. Н. Плужников. – Минск : БГУ, 1980. – 128 с.
12. Ясовеев, М. Г. Водные ресурсы Республики Беларусь (распространение, формирование, проблемы использования и охраны) / М. Г. Ясовеев, О. В. Шершнева, И. И. Кирвель. – Минск : БГПУ, 2005. – 296 с.
13. Государственный водный кадастр. Раздел «Статотчетность водопользователей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://178.172.161.32:8081/watstat/data/>. – Дата доступа: 18.06.2021.
14. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество (за 2019 г.). – Минск : Минприроды Респ. Беларусь, Минздрав Респ. Беларусь, ЦНИИКИВР, 2019. – 221 с.
15. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2013 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2014. – 364 с.

REFERENCES

1. Global'naja ekologichieskaja pierspiektiva: GEO 4 okruzhajushchaja srieda dlja razvitija. YUNEP, 2007. – 572 s.
2. Vodnyje riesursy Bielarusi i ikh prognoz s uchiotom izmienienija klimata / A. A. Volchik [i dr.]. – Brest : Al'ternativa, 2017. – 239 s.
3. Volchik, A. A. Dinamika raspriedielienija vodnykh riesursov Bielarusi miezhdu siektorami ekonomiki / A. A. Volchik, T. Ye. Zubrickaja // Viestn. BrGTU. Vodokhoziajstv. str-vo, tieploenergiatika i gieoekologija, 2019. – № 2. – S. 6–9.
4. Volchik, A. A. Ispol'zovanije vodnykh riesursov v Riespublikie Bielarus' / A. A. Volchik, T. E. Zubrickaja // Viestn. BrGTU. Vodokhoziajstv. str-vo, tieploenergiatika i gieoekologija, 2014. – № 2. – S. 29–33.
5. Gertman, L. N. Formirovanije eliemientov vodnogo balansa bassiejna Niemana / L. N. Gertman // Prirod. riesursy. – 2011. – № 2. – S. 45–50.
6. Kudiel'skij, A. V. Riegiional'naja gidrogeologija i gieokhimija podziemnykh vod Bielarusi / A. V. Kudiel'skij, V. I. Pashkievich. – Minsk : Bielarus. navuka, 2014. – 271 s.
7. Kurilo, K. A. Riesursy i kachiestvo podziemnyh vod v Riespublikie Bielarus'. Obzornaja informacija / K. A. Kurilo. – Minsk : BielNIC «Ekologija», 2002. – 66 s.

8. Pien’kovskaja, A. M. Vodokhoziajstviennoje rajonirovanije i vodokhoziajstviennyj balans rieki Vilii / A. M. Pien’kovskaja, A. G. Grinievich, I. A. Bulak // Prirod. riesursy. – 2011. – № 1. – S. 42–50.
9. Pluzhnikov, V. N. Vodnyje riesursy Bielarusi, ikh ispol’zovanije i okhrana / V. N. Pluzhnikov, M. V. Fadiejeva, V. I. Buchurin // Prirod. riesursy. – 1996. – № 1. – S. 24–29.
10. Kudiel’skij, A. V. Podziemnyje vody Bielarusi / A. V. Kudiel’skij, V. I. Pashkievich, M. G. Yasoviejev. – Minsk : In-t geol. nauk NAN Bielarusi, 1998. – 260 s.
11. Shirokov, V. M. Vodokhoziajstviennyj balans bassiejna Dniepra / V. M. Shirokov, A. M. Pien’kovskaja, V. N. Pluzhnikov. – Minsk : BGU, 1980. – 128 s.
12. Yasoviejev, M. G. Vodnyje riesursy Rjespubliki Bielarus’ (rasprostranienije, formirovanije, problimy ispol’zovanija i okhrany) / M. G. Yasoviejev, O. V. Shershniev, I. I. Kirviel’. – Minsk : BGPU, 2005. – 296 s.
13. Gosudarstviennyj vodnyj kadastr. Razdiel «Statotchiotnost’ vodopol’zovateliej» [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: <http://178.172.161.32:8081/watstat/data/>. – Data dostupa: 18.06.2021.
14. Gosudarstviennyj vodnyj kadastr. Vodnyje riesursy, ikh ispol’zovanije i kachiestvo (za 2018 god). – Minsk : Minprirody Rjesp. Bielarus’, Minzdrav Rjesp. Bielarus’, CNIKIIVR, 2019. – 221 s.
15. Sostojanije prirodnoj sriedy Bielarusi : ekol. biul. 2013 g. / Pod ried. V. F. Loginova. – Minsk, 2014. – 364 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 20.09.2021

Да ведама аўтараў

Рэдкалегія часопіса разглядае рукапісы толькі тых артыкулаў, якія адпавядаюць навуковаму профілю выдання, нідзе не апублікаваныя і не перададзеныя ў іншыя рэдакцыі.

Матэрыялы прадстаўляюцца на беларускай, рускай ці англійскай мове ў адным экзэмпляры аб'ёмам ад 0,35 да 0,5 друкаванага аркуша (не меней за 14 000 знакаў), у электронным варыянце – у фармаце Microsoft Word for Windows (*.doc, *.docx ці *.rtf) і павінны быць аформлены ў адпаведнасці з наступнымі патрабаваннямі:

- папера фармату А4 (21×29,7 см);
- палі: зверху – 2,8 см, справа, знізу, злева – 2,5 см;
- шрыфт – гарнітура Times New Roman;
- кегль – 12 pt.;
- міжрадковы інтэрвал – адзінарны;
- двукоссе парнае «...»;
- абзац: водступ першага радка 1,25 см;
- выраўноўванне тэксту па шырыні.

Максімальныя лінейныя памеры табліц і малюнкаў не павінны перавышаць 15×23 або 23×15 см. Усе графічныя аб'екты, якія ўваходзяць у склад аднаго малюнка, павінны быць згрупаваны паміж сабой. Усе малюнкi і фотаздымкі павінны быць толькі ў чорна-белым выкананні. Размернасць усіх велічынь, якія выкарыстоўваюцца ў тэксце, павінна адпавядаць Міжнароднай сістэме адзінак вымярэння (СВ). Пажадана пазбягаць скарачэнняў слоў, акрамя агульнапрынятых. Спіс літаратуры павінен быць аформлены паводле Узораў афармлення бібліяграфічнага апісання ў спісе крыніц, якія прыводзяцца ў дысертацыі і аўтарэфераце, зацверджаных загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 25.06.2014 № 159 (у рэдакцыі загада ад 08.09.2016 № 206). Спасылкі на крыніцы ў артыкуле нумаруюцца адпаведна парадку цытавання. Парадкавыя нумары спасылак падаюцца ў квадратных дужках ([1–4], [1; 3], [1, с. 32], [2, с. 52–54], [3, л. 5], [4, л. боб.]). Не дапускаецца выкарыстанне канцавых зносака.

Матэрыял уключае наступныя элементы па парадку:

- індэкс УДК;
- імя, імя па бацьку, прозвішча аўтара/аўтараў (аўтараў не больш, чым 5) на мове артыкула;
- звесткі пра аўтара/аўтараў (навуковая ступень, званне, пасада, месца працы/вучобы) на мове артыкула;
- імя, імя па бацьку, прозвішча аўтара/аўтараў на англійскай мове;
- звесткі пра аўтара/аўтараў на англійскай мове;
- e-mail аўтара/аўтараў;
- назва артыкула на мове артыкула;
- анатацыя ў аб'ёме 100–150 слоў і ключавыя словы на мове артыкула (курсіў, кегль – 10 pt.);
- назва артыкула на англійскай мове;
- анатацыя і ключавыя словы на англійскай мове.

Звесткі аб навуковым кіраўніку (для аспірантаў і саіскальнікаў) указваюцца на першай старонцы ўнізе.

Асноўны тэкст структуравецца ў адпаведнасці з патрабаваннямі Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь да навуковых артыкулаў, якія друкуюцца ў выданнях, уключаных у Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў:

- Уводзіны (пастаноўка мэты і задач даследавання).
- Асноўная частка (матэрыялы і метады даследавання; вынікі і іх абмеркаванне).
- Заклучэнне (фармулююцца асноўныя вынікі даследавання, указваецца іх навізна, магчымасці выкарыстання).
- Спіс выкарыстанай літаратуры; спіс літаратуры павінен уключаць не больш за 20–22 крыніцы і абавязкова ўтрымліваць публікацыі, у тым ліку замежныя, па тэме даследавання за апошнія 10 гадоў.
- References – спіс выкарыстанай літаратуры, які прадубліраваны лацінскім алфавітам (колькасць крыніц, прыведзеных у спісе і ў References, павінна супадаць).

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- выліска з пратакола пасяджэння кафедры, навуковай лабараторыі ці ўстановы адукацыі, дзе працуе (вучыцца) аўтар, завераная пячаткаю, з рэкамендацыяй артыкула да друку;
- рэцэнзія знешняга ў адносінах да аўтара профільнага спецыяліста з вучонай ступенню, завераная пячаткаю;
- экспертнае заключэнне (для аспірантаў і дактарантаў).

Усе артыкулы абавязкова праходзяць «сляпое» рэцэнзаванне. Рукапісы, аформленыя не ў адпаведнасці з выкладзенымі правіламі, рэдкалегія не разглядае і не вяртае. Аўтары нясуць адказнасць за змест прадстаўленага матэрыялу.

Рукапіс артыкула і дакументы дасылаць на адрас: 224016, г. Брэст, бульвар Касманаўтаў, 21, рэдакцыя часопіса «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта», электронны варыянт артыкула накіроўваць на e-mail: chemskorp@yandex.ru.

Карэктары *А. А. Іванюк, Л. М. Калілец*

Камп'ютарнае макетаванне *С. М. Мініч, Г. Ю. Пархац*

Падпісана ў друку 25.11.2021. Фармат 60×84/8. Папера афсетная. Гарнітура Таймс. Рызаграфія.

Ум. друк. арк. 13,72. Ул.-выд. арк. 8,63. Тыраж 100 экз. Заказ № 340.

Выдавец і паліграфічнае выкананне: УА «Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А. С. Пушкіна».

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/55 ад 14.10.2013.

ЛП № 02330/454 ад 30.12.2013.

224016, г. Брэст, вул. Міцкевіча, 28.